

DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.38.11.010

УДК 66.081.63

© И. В. Хорохорина, С. И. Лазарев, О. В. Долгова, А. О. Сухова, О. С. Филимонова, 2023

**И. В. ХОРОХОРИНА**

д-р техн. наук,  
доцент кафедры  
Тамбовский государственный технический университет,  
г. Тамбов  
e-mail: kotelnikovirina@yandex.ru



**С. И. ЛАЗАРЕВ**

д-р техн. наук, профессор,  
заведующий кафедрой  
Тамбовский государственный технический университет,  
г. Тамбов  
e-mail: lazarev.sergey.1962@mail.ru



**О. В. ДОЛГОВА**

канд. техн. наук,  
старший преподаватель  
Тамбовский государственный технический университет,  
г. Тамбов  
e-mail: o.v.dolgova@mail.ru



**А. О. СУХОВА**

канд. техн. наук,  
доцент кафедры  
Тамбовский государственный технический университет,  
г. Тамбов  
e-mail: apil1@yandex.ru



**О. С. ФИЛИМОНОВА**

ассистент кафедры  
Тамбовский государственный технический университет,  
г. Тамбов  
e-mail: filimonovaos2017@mail.ru



## ЭФФЕКТИВНОСТЬ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОКОВ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Проведены исследования эффективности ультрафильтрационной очистки сточных вод нефтеперерабатывающих предприятий от анионных поверхностно-активных веществ (АПАВ). Выбранный процесс показал высокую степень удаления АПАВ из пробы сточных вод в условиях эксперимента (более 95 %). После проведения регенерации гидроксидом натрия*

исследован активный слой мембраны методом сканирующей электронной микроскопии. Отмечено, что структура поверхности регенерированной мембраны не показала больших отличий от новой мембраны. Предложена технологическая схема очистки сточных вод нефтеперерабатывающих предприятий с применением мембранной фильтрации.

Ключевые слова: УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИЯ, ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА, УДЕЛЬНЫЙ ВЫХОДНОЙ ПОТОК, РЕГЕНЕРАЦИЯ МЕМБРАНЫ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА.

Использование воды в наше время быстро увеличивается как из-за непрерывного роста человечества, так и экономики [1–4]. В большинстве форм вода является возобновляемым ресурсом, поскольку ее постоянный поток не зависит от забора или использования. Однако основная часть возобновляемых вод стала не возобновляемой вследствие загрязнения в результате деятельности человека, что делает значительную часть водных ресурсов непригодной для использования из-за промышленного и сельскохозяйственного загрязнения и т.д. [5–8]. Эта проблема была главным вопросом международной повестки дня с 1970-х годов. Необходимость разработки более устойчивых методов управления и эффективного использования водных ресурсов, а также требования по защите экологических экосистем, которые включают эти ресурсы привели к последующему фундаментальному сдвигу в сознании и общественном внимании. Принято считать, что утилизация и очистка канализационных и промышленных стоков стала стратегией эффективного использования водных ресурсов [9, 10].

Сточные воды от переработки нефтепродуктов содержат высокие концентрации анионных поверхностно-активных веществ (АПАВ), которые трудно поддаются очистке традиционными методами. Кроме того, операции по обезвреживанию могут вызвать ряд проблем, что не только способно вывести из строя оборудование и потенциально засорить резервуар, но и привести к образованию отходов. Шлам от очистки таких сточных вод содержит значительное количество сырой нефти и органических загрязнителей, которые могут вызвать серьезное загрязнение окружающей среды. Механические методы с комбинацией физических, биологических

и химических процессов стали широко использоваться для очистки сточных вод, среди которых важную роль играет мембранная фильтрация [11–13].

Авторами работы [14] исследовано применение обратного осмоса (RO) для концентрирования спиртовых растворов. Изучено влияние различных типов мембран, параметров давления обработки и объемной концентрации с различными спиртами с использованием модельных растворов спиртов на работу обратного осмоса. Газовыделения, содержащие гидрофобные летучие органические соединения, могут быть извлечены абсорбцией, при этом отработанный растворитель возможно регенерировать для повторного использования в процессе абсорбции. В работе [15, 16] описали возможность извлечения фенола из потоков сточных вод с помощью мембраны, полученной на заводе по производству фенольных смол. Авторы [17] исследовали извлечение фенола из водных растворов с помощью полых волокон и сообщили об экспериментальных результатах с использованием жидких мембран. В литературе [18] исследовали синтезированные водорастворимые и новые шитые полимерные мембраны на основе N-виниламидов, которые применимы для извлечения и разделения токсичных фенолов из водных сред. Установлено, что максимальная степень извлечения мононитрофенолов достигается в области  $\text{pH} < 3$ , что свидетельствует о том, что они извлекаются в молекулярной форме. Авторами работы [19] исследовалась возможность концентрирования органических веществ в сточных водах с помощью ультрафильтрации. Исследованы структурные и кинетические характеристики мембран в процессе разделения технологических растворов, содержащих

поверхностно-активные вещества. В работе [20] сообщили, что для повышения степени очистки нефтесодержащих сточных вод могут быть использованы электрокоагуляторы и гальванокоагуляторы. Предложен новый способ обессоливания природных и сточных вод с помощью электродиализатора с многослойной жидкой мембраной.

Основываясь на представленных научных работах и особенностях нефтесодержащих сточных вод, мы исследовали возможность их очистки с использованием операции ультрафильтрации (УФ). В этой работе исследовано УФ разделение лабораторно подготовленных сточных вод.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Реагенты лабораторной чистоты, используемые в экспериментах: соляная кислота (HCl), гидроксид натрия (NaOH), додецилсульфат натрия ч.д.а. Для приготовления эмульгированных нефтесодержащих сточных вод использовали деионизированную воду лабораторного производства.

Значения pH образцов измеряли рН-метром-иономером «Эксперт 001.-3.0.1» (Россия). pH синтезированных нефтесодержащих сточных вод составил 6,30. Эффективность удаления R органических соединений при ультрафильтрации оценивали по формуле (1), в которой  $C_f$  и  $C_p$  представляют концентрации исходного раствора и пермеата соответственно. Кроме того, профили поверхности

мембраны исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа SUPRA 60VP фирмы CarlZeiss.

$$R = (C_f - C_p) / C_f \times 100, \quad (1)$$

Схема работающей в лабораторном масштабе системы ультрафильтрации показана на рис. 1.

Все эксперименты проводились на рулонных мембранах марки ЭРУ-100/1016, производство ЗАО «Владипор», г. Владимир. Мембрана была предварительно обработана перед испытанием. Ее промывали в течение 2 часов деионизированной водой при комнатной температуре с последующей химической промывкой в течение 10 минут раствором гидроксида натрия 0,5 М. После этого мембрану замачивали в деионизированной воде на 1 час. Фильтрацию проводили в режиме непрерывного поперечного потока, скорость подачи составляла около 3,0 мл/мин. Все эксперименты по фильтрации проводились при 0,2 МПа. Процесс фильтрации начинался с подачи исходного раствора, содержащегося в емкости 1, как показано на рис. 1. Проба пермеата была собрана в емкости для пермеата 10, а ретентат, полученный в результате фильтрации, был рециркулирован в емкость для подачи 1.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты ультрафильтрационного разделения в непрерывном режиме при комнатной температуре показаны на рис. 2,

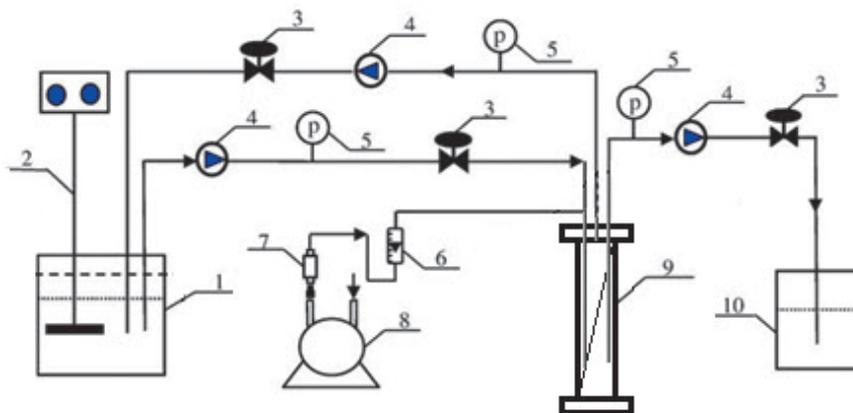


Рис. 1. Схема ультрафильтрационной установки: 1 — емкость с исходным раствором; 2 — уровнемер и термометр; 3 — регулятор давления; 4 — всасывающий насос; 5 — индикатор давления; 6 — расходомер; 7 — очиститель; 8 — насос; 9 — ультрафильтрационный модуль; 10 — емкость пермеата.

где представлены характеристики новой и промытой мембран на синтезированных образцах сточных вод. Установлено, что поток пермеата новой мембраны уменьшался со временем фильтрации в течение первого часа непрерывной фильтрации. После этого поток пермеата достиг стабильного значения. Результаты анализа показали, что концентрация АПАВ в пермеате при заданных условиях эксперимента снизилась более чем на 95%. Загрязнение мембраны увеличивалось со временем фильтрации и снижало ее производительность. Загрязненную мембрану очищали с помощью приготовленных в лаборатории растворов, а затем деионизированной воды. Характеристики промытой мембраны при очистке проб сточных вод также представлены на рис. 2 и указывают на то, что загрязненную мембрану можно восстановить с помощью обычных методов очистки. Очищенная мембрана имела почти такую же эффективность удаления АПАВ, как и свежая мембрана.

На эффективность мембранного разделения при очистке сточных вод влияют эксплуатационные параметры, в основном температура и трансмембранное давление. Повышение давления означает, что операция очистки будет потреблять больше энергии, что обычно нежелательно в промышленности.

Однако температура потока сточных вод может варьироваться в зависимости от условий работы завода, поэтому было исследовано влияние изменения температуры на характеристики УФ. Результаты показаны на рис. 3 и указывают на то, что поток пермеата немного увеличивается с повышением рабочей температуры. Результаты анализа мембранного разделения показали, что эффективность удаления органических соединений изменилась не очень сильно. Результаты данного эксперимента показывают, что работа УФ может использоваться в относительно гибких условиях, что расширяет возможности эксплуатации УФ в промышленных условиях.

Было проведено изучение активного слоя исследуемых мембран до и после регенерации методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Отмечено, что структура поверхности регенерированной мембраны, представленная на рис. 4(б), не показала больших отличий от новой мембраны на рис. 4(а).

Для очистки сточных вод, содержащих АПАВ и остатки нефтепродуктов, была предложена следующая технологическая схема с использованием мембранного оборудования (рис. 5).

Схема, показанная на рис. 5, работает следующим образом. После отделения нефтепродуктов в жиролователе 1 стоки поступают

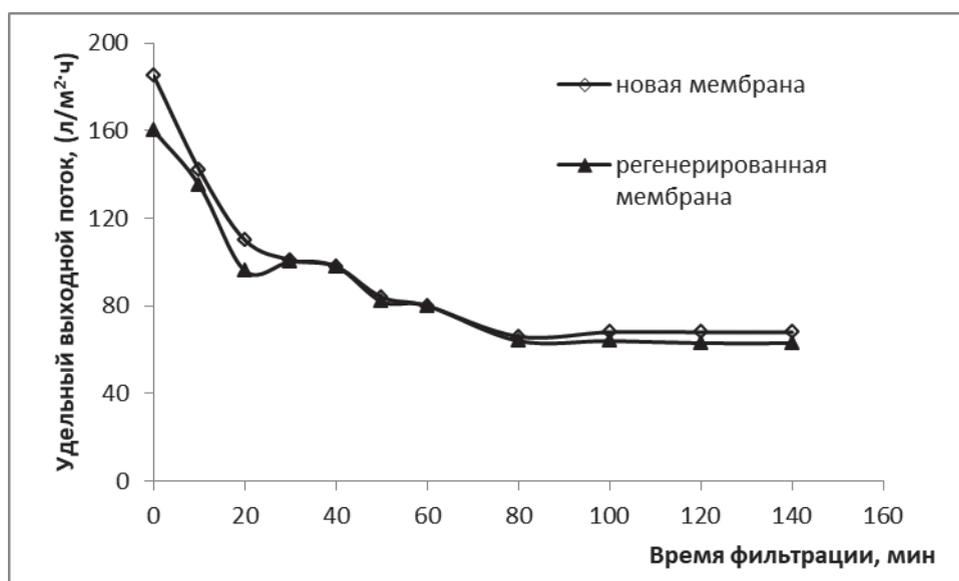


Рис. 2. Зависимость удельного выходного потока от времени

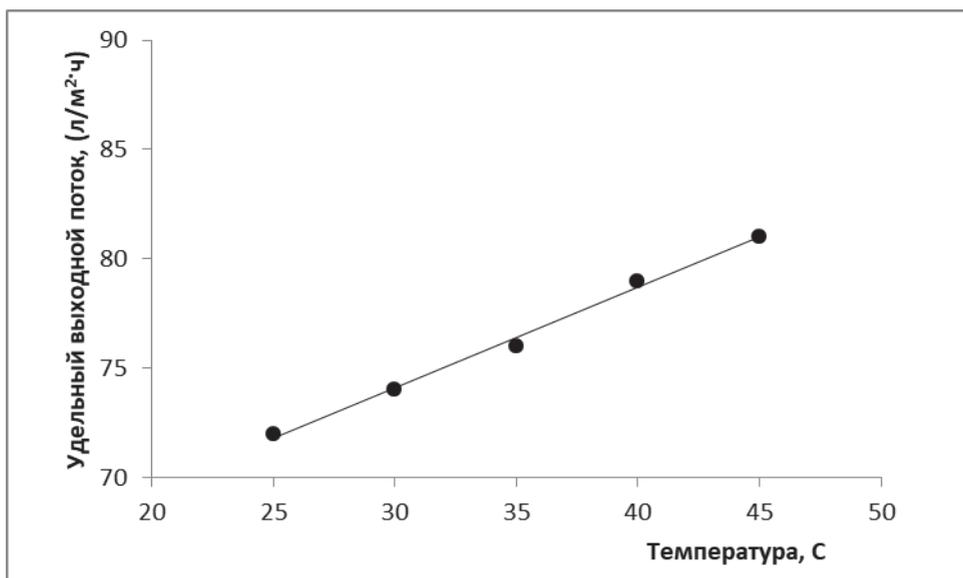


Рис. 3. Зависимость удельного выходного потока от температуры разделяемого раствора

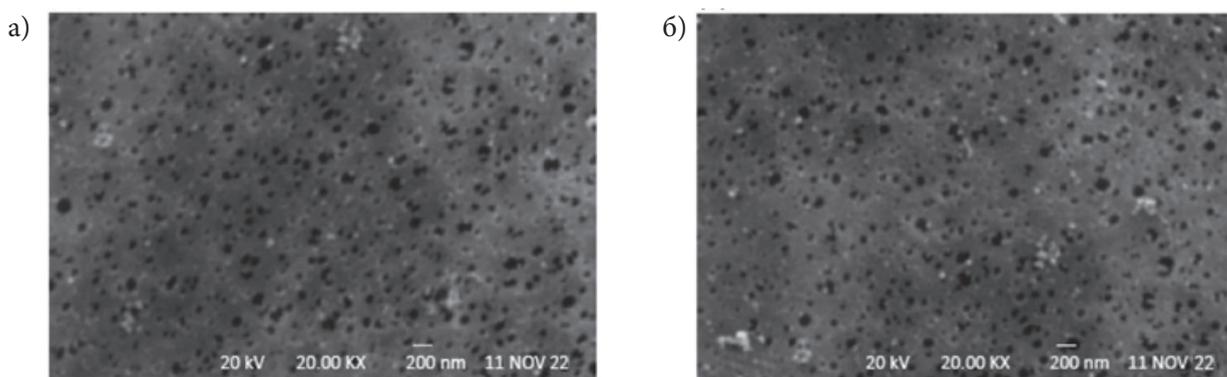


Рис. 4. СЭМ-изображения активного слоя мембраны марки ЭРУ-100/1016:  
а) новый образец; б) регенерированный образец



Рис. 5. Технологическая схема очистки сточных вод от нефтепродуктов и органических соединений (АПАВ) с оборотным водоснабжением: 1 — жиролоуловитель; 2 — усреднитель; 3 — флотатор; 4 — емкости с кислотой и щелочью; 5 — установка обезвоживания осадка; 6 — каскад ультрафильтрационных модулей; 7 — бак с очищенной водой

в усреднитель 2, в котором разбавляются до необходимой концентрации. В реактор–флокулятор 3 подаются реагенты из реагентного хозяйства — флокулянты и коагулянты — из емкостей 4. Под действием реагентов в реакторе идет процесс хлопьеобразования.

Во флотаторе поддерживается постоянная аэрация смеси сточных вод и происходит удаление взвешенных хлопьев, которые отделяются от воды и подаются на установку обезвоживания осадка 5. Здесь хлопья обезвоживаются и направляются на дальнейшую утилизацию.

Осветленная после флотации сточная вода проходит сначала стадию грубой фильтрации, а затем поступает на узел мембранной ультрафильтрации 6. Это основная стадия очистки, на которой происходит мембранное фильтрование и очищение воды.

Вода после стадии тонкой фильтрации (пермеат) является чистой водой высокого

качества и возвращается в оборотное водоснабжение предприятия.

## ВЫВОДЫ

Исследование показало, что операция УФ с использованием мембраны ЭРУ-100/1016 может эффективно удалять АПАВ из лабораторно подготовленных сточных вод. Эффективность удаления АПАВ-соединений из пробы сточных вод в условиях эксперимента составляет более 95%. Экспериментальные результаты показали, что загрязненную мембрану можно восстановить с помощью обычных методов очистки.

Предложена технологическая схема очистки нефтесодержащих сточных вод с применением мембранной фильтрации, которая позволяет организовать на предприятии систему оборотного водоснабжения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернов В. А. Проблемы экологии водных ресурсов и перспективы устойчивого развития // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2020. № 3. С. 98–113.
2. Экология и охрана природных вод: сборник научных трудов. Вып. 122. СПб: Изд. РГГМУ, 2000. 84 с.
3. Попова К. Ю. Водообеспеченность сельского хозяйства: проблемы и перспективы // Сборник «Региональные проблемы устойчивого развития сельской местности. Материалы XV Международной научно-практической конференции». 2018. С. 143–147.
4. Сизенева М. Е., Могилевская Г. И. Очистка воды как проблема экологии человека // Modern Science. 2020. № 11-1. С. 419–422.
5. Потапов И. И., Захарова М. М., Рафикова М. К., Шоркина Т. И. Охрана окружающей среды: ресурсосберегающие методы очистки сточных вод от нефтепродуктов // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2009. № 6. С. 116–120.
6. Сколубович Ю. Л., Цыба А. А. Технология очистки поверхностных сточных вод // Сборник материалов международной конференции «Экологически безопасные технологии природообустройства и водопользования: теория и практика». 2017. С. 172–176.
7. Хорохорина И. В., Лазарев С. И., Абоносимов О. А. Применение электромембранной технологии для очистки сточных вод нефтеперерабатывающих производств: монография. Тамбов: ТГТУ, 2021. 97 с.
8. Кузнецова В. М., Овсянкина А. В. Современный взгляд на методы очистки сточных вод на нефтеперерабатывающих заводах и предприятиях // Молодой ученый. 2017. № 32 (166). С. 4–9.
9. Чернов В. А., Бевза Д. И., Шураев О. П., Чичурин А. Г. Методы очистки нефтесодержащих вод // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2022. № 3. С. 50–59.

- 
10. Старостина И. В., Никитина А. Е., Артебякина Т. А., Иванова В. В., Старостина Ю. Л. Разработка способа утилизация шлама водоочистки, содержащего нефтепродукты // Сборник докладов Международной научно-технической конференции «Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды». 2019. С. 96–100.
11. Хорохорина И. В., Лазарев С. И., Бидуля С. М. Мембранные технологии — экологичные способы очистки сточных вод // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. 2021. № 3 (81). С. 37–43.
12. Абоносимов О. А., Лазарев С. И., Хорохорина И. В. Технологическое оформление процесса электрохимического мембранного разделения промышленных растворов химических производств. Тамбов: ТГТУ, 2019. 108 с.
13. Бурак Л. Ч., Писарик М. И. Эффективность очистки воды мембранной фильтрацией // Научное обозрение. Технические науки. 2023. № 1. С. 37–43.
14. Степыгин В. И., Елфимов С. А. Разделение растворов обратным осмосом // Материалы LV отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2016 год: в 3 частях. Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2017. Ч. 2. С. 177.
15. Смирнова В. С., Худорожкова С. А., Ручкинова О. И. Очистка высококонцентрированных сточных вод промышленных предприятий от фенолов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2017. Т. 8. № 2. С. 52–63.
16. Янгулова Г. А., Будник В. А., Муратшин Р. Р. Современные методы очистки фенолсодержащих сточных вод // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2011. № 8. С. 53–56.
17. Апаликова И. Ю., Сухарев Ю. И., Лебедева И. Ю. и др. Технология очистки и утилизации сточных вод предприятий цветной металлургии // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2010. № 10 (34). С. 18–40.
18. Чурилина Е. В., Суханов П. Т., Шаталов Г. В. и др. Экстракционные и сорбционные способы выделения фенолов из водных сред полимерами на основе N-виниламидов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2012. № 2. С. 101–105.
19. Лазарев С. И., Головин Ю. М., Хорохорина И. В., Ковалев С. В., Левин А. А. Кинетические и структурные характеристики ультрафильтрационных мембран при разделении растворов, содержащих лаурилсульфат натрия // Известия вузов. Химия и химические технологии. 2019. Т. 62. Вып. 10. С. 89–95.
20. Максимов Е. А., Васильев В. И. Инновационные способы и устройства для очистки нефтесодержащих сточных вод // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2015. № 10 (94). С. 28–39.
-

DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.38.11.010

UDC 66.081.63

© I. V. Khorokhorina, S. I. Lazarev, O. V. Dolgova, A. O. Sukhova, O. S. Filimonova, 2023

**I. V. KHOROKHORINA**

Doctor of Engineering Sciences,  
Associate Professor of Department  
Tambov State Technical University, Tambov  
e-mail: kotelnikovirina@yandex.ru

**A. O. SUKHOVA**

Candidate of Engineering Sciences,  
Associate Professor of Department  
Tambov State Technical University, Tambov  
e-mail: apill@yandex.ru

**S. I. LAZAREV**

Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Head of the Department  
Tambov State Technical University, Tambov  
e-mail: lazarev.sergey.1962@mail.ru

**O. S. FILIMONOVA**

Assistant of the Department  
Tambov State Technical University, Tambov  
e-mail: filimonovaos2017@mail.ru

**O. V. DOLGOVA**

Candidate of Engineering Sciences,  
Senior Lecturer  
Tambov State Technical University, Tambov  
e-mail: o.v.dolgova@mail.ru

**EFFICIENCY OF ULTRAFILTRATION TREATMENT OF INDUSTRIAL EFFLUENTS OF OIL REFINERIES**

*Studies of the effectiveness of ultrafiltration treatment of wastewater of oil refineries from anionic surfactants were carried out. The selected process showed a high degree of removal of anionic surfactants from the wastewater sample under experimental conditions (more than 95 %). After regeneration with sodium hydroxide, the active layer of the membrane was examined by scanning electron microscopy. It is noted that the surface structure of the regenerated membrane did not show much difference from the new membrane. The process flow diagram of wastewater treatment of oil refineries using membrane filtration is proposed.*

Keywords: ULTRAFILTRATION, SURFACTANTS, SPECIFIC OUTLET FLOW, MEMBRANE REGENERATION, PROCESS FLOW DIAGRAM.

**REFERENCES**

1. Chernov V. A. Problems of ecology of water resources and prospects of sustainable development // Scientific journal of Research University ITMO. Series: Economics and Environmental Management [Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya: Ekonomika i ekologicheskiy menedzhment]. 2020. No. 3. P. 98–113. [In Russ.].
2. Ecology and protection of natural waters: collection of scientific papers. Issue 122. St. Petersburg: Publishing House of the Russian State University, 2000. 84 p. [In Russ.].
3. Popova K. Yu. Water supply in agriculture: problems and prospects // Collection «Regional problems of sustainable development of rural areas. Materials of the XV International Scientific and Practical Conference» [Sbornik «Regionalnyye problemy ustoychivogo razvitiya selskoy mestnosti. Materialy XV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii»]. 2018. P. 143–147. [In Russ.].
4. Sizeneva M. E., Mogilevskaya G. I. Water purification as a problem of human ecology // Modern Science. 2020. No. 11–1. P. 419–422. [In Russ.].
5. Potapov I. I., Zakharova M. M., Rafikova M. K., Shorkina T. I. Environmental protection: resource-saving methods of wastewater treatment from petroleum products // Problems of the environment and natural resources [Problemy okruzhayushchey sredy i prirodnikh resursov]. 2009. No. 6. P. 116–120. [In Russ.].
6. Skolubovich Yu. L., Tsyba A. A. Technology of surface wastewater treatment // Collection of materials of the international conference «Environmentally safe technologies of environmental

---

management and water use: theory and practice» [Sbornik materialov mezhdunarodnoy konferentsii «Ekologicheski bezopasnyye tekhnologii prirodoobustroystva i vodopolzovaniya: teoriya i praktika»]. 2017. P. 172–176. [In Russ.].

7. Khorokhorina I. V., Lazarev S. I., Abonosimov O. A. Application of electromembrane technology for wastewater treatment of oil refining industries: monograph. Tambov: TSTU, 2021. 97 p. [In Russ.].

8. Kuznetsova V. M., Ovsyankina A. V. A modern view of wastewater treatment methods at oil refineries and enterprises // Young Scientist [Molodoy uchenyy]. 2017. No. 32 (166). P. 4–9. [In Russ.].

9. Chernov V. A., Bevza D. I., Shuraev O. P., Chichurin A. G. Methods of purification of oily waters // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technology [Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya]. 2022. No. 3. P. 50–59. [In Russ.].

10. Starostina I. V., Nikitina A. E., Artebyakina T. A., Ivanova V. V., Starostina Yu. L. Development of a method for disposal of water treatment sludge containing petroleum products // Collection of reports of the International Scientific and Technical Conference «Innovative approaches in solving modern problems of rational use of natural resources and environmental protection» [Sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Innovatsionnyye podkhody v reshenii sovremennykh problem ratsionalnogo ispolzovaniya prirodnikh resursov i okhrany okruzhayushchey sredy»]. 2019. P. 96–100. [In Russ.].

11. Khorokhorina I. V., Lazarev S. I., Bidulya S. M. Membrane technologies — eco-friendly methods of wastewater treatment // Issues of modern science and practice. V. I. Vernadsky University [Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo]. 2021. No. 3 (81). P. 37–43. [In Russ.].

12. Abonosimov O. A., Lazarev S. I., Khorokhorina I. V. Technological design of the process of electrochemical membrane separation of industrial solutions of chemical industries. Tambov: TSTU, 2019. 108 p. [In Russ.].

13. Burak L. Ch., Pisarik M. I. Efficiency of water purification by membrane filtration // Scientific review. Technical sciences [Nauchnoye obozreniye. Tekhnicheskkiye nauki]. 2023. No. 1. P. 37–43. [In Russ.].

14. Stepygin V. I., Elfimov S. A. Separation of solutions by reverse osmosis // Materials of the LV reporting scientific conference of VSUIT teachers and researchers for 2016: in 3 parts [Materialy LV otchetnoy nauchnoy konferentsii prepodavateley i nauchnykh sotrudnikov VGUIT za 2016 god: v 3 chastyakh]. Voronezh: Voronezh State University of Engineering Technologies, 2017. Part 2. P. 177. [In Russ.].

15. Smirnov V. S., Khudorozhkova S. A., Ruchkinova O. I. Purification of highly concentrated industrial wastewater from phenols // Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture [Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura]. 2017. Vol. 8. No. 2. P. 52–63. [In Russ.].

16. Yangulova G. A., Budnik V. A., Muratshin R. R. Modern methods of purification of phenol-containing wastewater // Oil refining and petrochemistry. Scientific and technical achievements and best practices [Neftepererabotka i neftekhiymiya. Nauchno-tekhnicheskkiye dostizheniya i peredovoy opyt]. 2011. No. 8. P. 53–56. [In Russ.].

17. Apalikova I. Yu., Sukharev Yu. I., Lebedeva I. Yu., etc. Technology of wastewater treatment and disposal of non-ferrous metallurgy enterprises // Water treatment. Water treatment. Water supply [Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzheniye]. 2010. No. 10 (34). P. 18–40. [In Russ.].

18. Churilina E. V., Sukhanov P. T., Shatalov G. V. et al. Extraction and sorption methods for isolating phenols from aqueous media by polymers based on N-vinylamides // Bulletin of the Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy [Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya]. 2012. No. 2. P. 101–105. [In Russ.].

19. Lazarev S. I., Golovin Yu. M., Khorokhorina I. V., Kovalev S. V., Levin A. A. Kinetic and structural characteristics of ultrafiltration membranes in the separation of solutions containing sodium lauryl sulfate // News of universities. Chemistry and chemical technology [News from universities. Chemistry and chemical technology]. 2019. Vol. 62. Issue 10. P. 89–95. [In Russ.].

20. Maksimov E. A., Vasiliev V. I. Innovative methods and devices for the purification of oily wastewater // Water treatment. Water treatment. Water supply [Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzheniye]. 2015. No. 10 (94). P. 28–39. [In Russ.].