

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>  
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2025, Том 12, № 2 / 2025, Vol. 12, Iss. 2 <https://resources.today/issue-2-2025.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/02NZOR225.pdf>

DOI: 10.15862/02NZOR225 (<https://doi.org/10.15862/02NZOR225>)

1.6.21. Геоэкология (технические науки)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Гудзь, А. С. Применение керамических мембран в процессе регенерации отработанных масел / А. С. Гудзь, Н. П. Коновалов // Отходы и ресурсы. — 2025. — Т. 12. — № 2. — URL: <https://resources.today/PDF/02NZOR225.pdf>. DOI: 10.15862/02NZOR225.

**For citation:**

Gudz A.S., Konovalov N.P. Application of ceramic membranes in the process of waste oil regeneration. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2025;12(2): 02NZOR225. Available at: <https://resources.today/PDF/02NZOR225.pdf>. DOI: 10.15862/02NZOR225. (In Russ., abstract in Eng.).

**УДК 665.662; 504.054**

**Гудзь Александр Сергеевич**

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Иркутск, Россия  
Аспирант кафедры «Физики»  
E-mail: a.gudz\_89@mail.ru

**Коновалов Николай Петрович**

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Иркутск, Россия  
Заведующий кафедрой «Физики»  
Доктор технических наук, профессор  
E-mail: knp@ex.istu.edu

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=691849](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=691849)

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7003385223>

## **Применение керамических мембран в процессе регенерации отработанных масел**

**Аннотация.** Современные технологии регенерации отработанных масел направлены на повышение эффективности процессов очистки и уменьшение воздействия на окружающую среду. В данной статье исследуется применение мембранных технологий для регенерации отработанных масел, рассматриваются их преимущества и потенциальные возможности для промышленного использования. Основное внимание уделяется характеристике различных типов мембран и их применению в процессах фильтрации и сепарации. Мембранные технологии позволяют эффективно удалять механические примеси, воду, окисленные продукты и другие загрязнители, что значительно улучшает качество конечного продукта. Преимущества использования мембран включают высокую селективность, энергоэффективность и возможность проведения процесса при низких температурах. Особое внимание авторами уделено исследованию влияния различных параметров на эффективность мембранного процесса, таких как давление, температура, концентрация загрязнителей и тип мембранного материала.

Также в статье рассматриваются экономические аспекты применения мембран в процессах регенерации. Анализируются затраты на установку и эксплуатацию мембранных систем, а также их окупаемость и влияние на снижение эксплуатационных расходов в долгосрочной перспективе. Приведены примеры успешного применения мембранных

технологий на различных промышленных предприятиях, что подтверждает их эффективность и потенциал для широкого использования.

Заключение статьи подчеркивает необходимость дальнейших исследований в области разработки новых мембранных материалов и оптимизации процессов регенерации для повышения их эффективности и экологичности. Применение мембранных технологий для регенерации отработанных масел и дизельного топлива представляет собой перспективное направление, способное существенно повысить качество продукции и снизить воздействие на окружающую среду.

**Ключевые слова:** мембранные технологии; регенерация отработанных масел; фильтрация; сепарация; экономическая эффективность; экологическая безопасность

### Актуальность

В последние десятилетия вопросы экологической безопасности и ресурсосбережения становятся все более актуальными. Одной из ключевых проблем является регенерация отработанных моторных и промышленных масел. Традиционные методы фильтрации предполагают использование различных фильтрующих элементов, которые, в свою очередь, создают дополнительные отходы.<sup>1</sup> Новые технологии, такие как использование керамических мембран, позволяют решить эту проблему, обеспечивая эффективную регенерацию без образования вторичных отходов.

Применение мембранной технологии в процессе регенерации отработанных масел открывает новые горизонты для повышения эффективности и экологической безопасности этих процессов. Исходя из этого, конструктивный анализ основных аспектов и преимуществ мембранной фильтрации позволяет сделать ряд выводов, подтверждающих перспективность данного подхода в современной промышленности.

**Для входного контроля отработанных масел и после фильтрации используем методы исследования:** рентгено-флуоресцентная спектрометрия, ИК (инфракрасная) спектроскопия, ЯМР (ядерно-магнитный резонанс)  $C^{13}$ , ЯМР  $H^1$  спектроскопия.

**Целью нашего исследования является:** разработка инновационной технологии регенерации отработанных масел, объединяющей процессы разделения и очистки с применением керамических мембран, что позволит не только получить готовое сырьё для производства товарных масел, но и значительно снизит нагрузку на экологию.

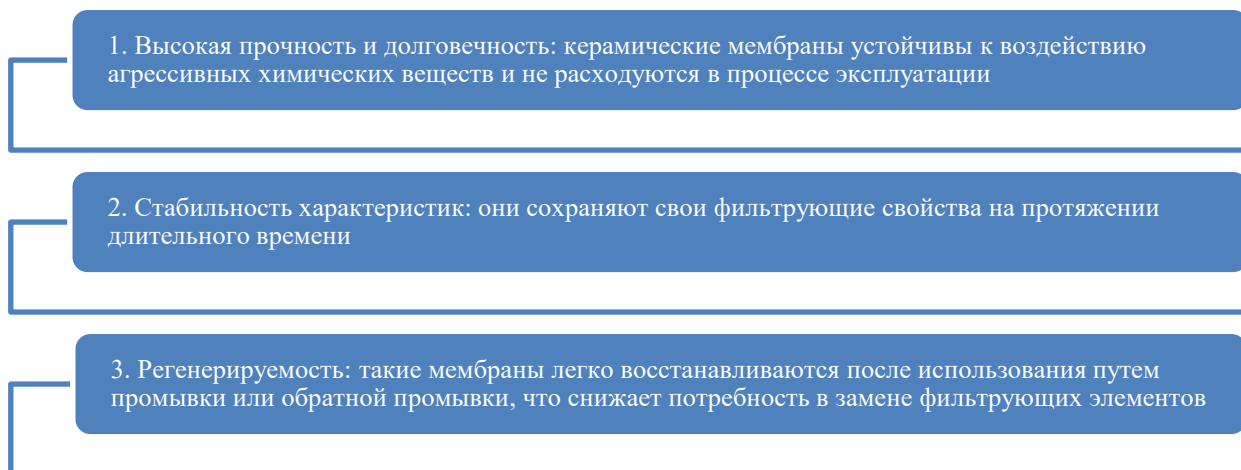
### Результаты и дискуссия

Мембранная фильтрация представляет собой процесс разделения компонентов смеси путем прохождения через полупроницаемую мембрану [1]. Керамические мембраны, благодаря своим уникальным свойствам, имеют ряд преимуществ перед традиционными фильтрами [2] (рис. 1).

Регенерация отработанных масел включает несколько этапов: удаление механических примесей, воды, окисленных продуктов и прочих загрязнителей [3].

---

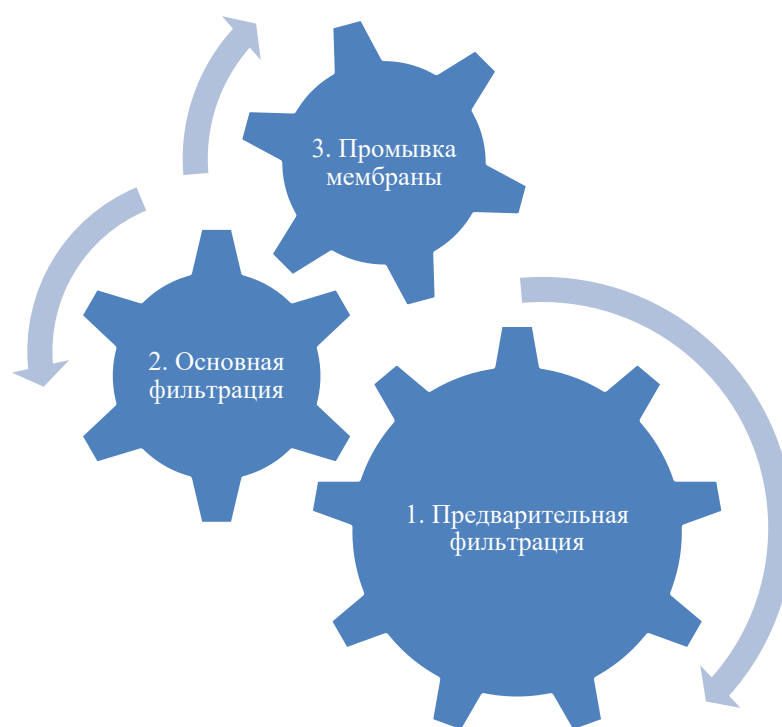
<sup>1</sup> Российская автотранспортная энциклопедия [Текст]. В 3 т. Т. 3. Техническая эксплуатация, обслуживание и ремонт автотранспортных средств: справоч. и науч.-практ. пособ. для специал. отрасли 149 «Автомобильный транспорт», для студентов и науч. сотrud. профильных учеб. заведений, НИИ / Гл. науч. ред. Е. С. Кузнецов — 3-е изд. перераб и доп. — М.: «Просвещение», 2001. — С. 218.



**Рисунок 1.** Преимущества керамических мембран перед традиционными фильтрами (составлено авторами)

Традиционные методы, такие как центрифугирование и адсорбция, требуют значительных энергетических затрат и сопровождаются образованием отходов.

В отличие от них, мембранная фильтрация с использованием керамических мембран позволяет достичь высокого уровня очистки без образования дополнительных отходов (рис. 2).



**Рисунок 2.** Этапы процесса очистки (составлено авторами)

Керамические мембраны обеспечивают эффективное удаление твердых частиц, воды и других примесей, улучшая качество масла и продлевая срок службы технологического оборудования [4] (рис. 3).

Необходимо подчеркнуть, что керамические мембраны в последние годы стали одним из ключевых элементов в различных процессах фильтрации и разделения, применяемых в водоочистке, пищевой промышленности, медицине и других отраслях [5].

Неорганическая мембрана представляет собой пористый тонкий керамический фильтр, который спекается из оксида алюминия или титана, оксида циркония при сверхвысокой температуре. Керамическая мембрана обычно имеет асимметричную структуру с пористым поддерживающим активным мембранным слоем. Макропористая основа обеспечивает механическую устойчивость, в то время как активный слой выполняет функции разделения в диапазоне от микрофльтрации, ультрафльтрации и даже нанофльтрации (от 10 мкм до 1 кДа). Керамическая мембрана всегда работает в режиме кроссфлюу. Исходная жидкость проходит через мембранный слой внутри одноканального или многоканального канала с большой скоростью. Под действием трансмембранного давления (TMP) чистая жидкость с «микромолекулами» проходит через мембранный слой вертикально в сторону проницаемости, твердые и крупные молекулы остаются в ретентате. Таким образом, подаваемая жидкость концентрируется и очищается.

Размеры пор керамической мембраны: 1,2 мкм, 0,8 мкм, 0,5 мкм, 0,2 мкм, 0,1 мкм, 50 нм, 20 нм, 10 нм.

Доступны мембраны с различным диаметром внутреннего канала. Малый канал — диаметр = 3,0/4,0 мм подходит для жидкостей с низким содержанием взвешенных частиц, таких как глютаминовая кислота, экстракт чая, вино, маслянистая вода, большая часть ферментационного бульона. Большой канал — диаметр = 6,0 мм подходит для жидкостей с высоким содержанием взвешенных частиц, вязкостью, таких как L-лизин, 7-АСА.

Длина керамического мембранного элемента может составлять от 1 000 до 1 300 мм, мембраны для лабораторных установок имеют длину 500 мм.

В корпусе может располагаться от 1 до 91 мембраны. В одной установке может быть установлено до 8 корпусов.

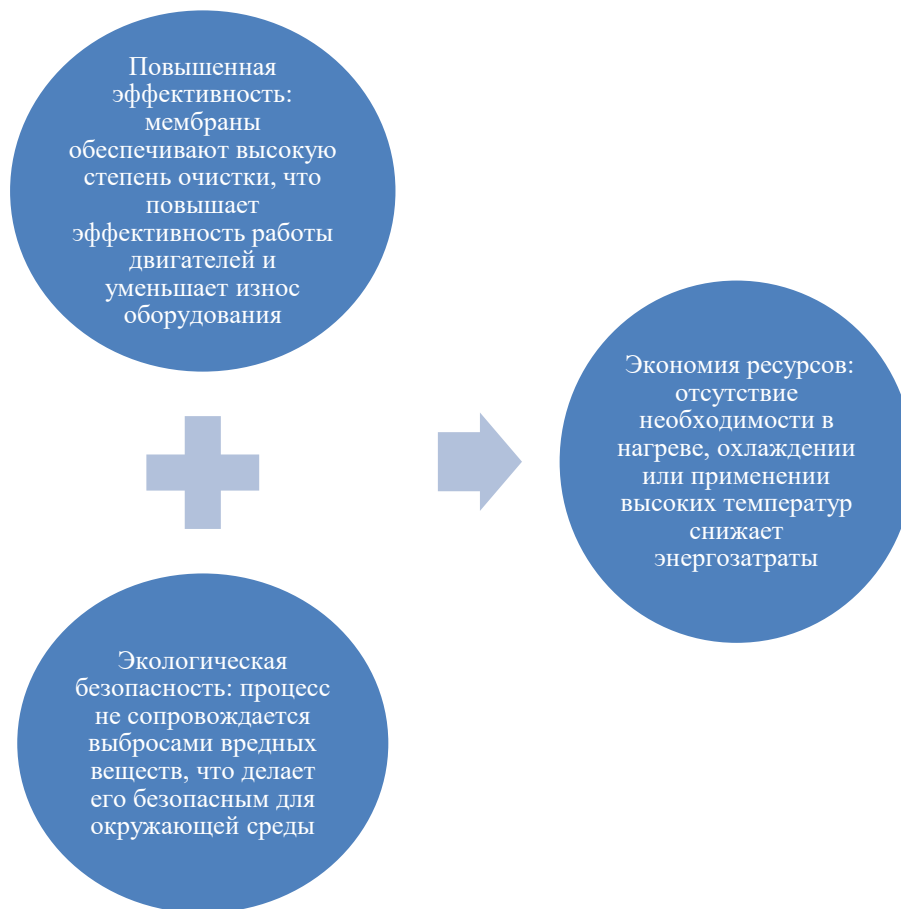
Эффективность керамических мембран значительно превосходит их полимерные аналоги, что обусловлено рядом специфических характеристик [6]. Среди наиболее эффективных керамических мембран можно выделить мембраны из оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ), оксида циркония ( $ZrO_2$ ), и диоксида титана ( $TiO_2$ ) [7]. Наибольшее распространение получили керамические мембраны со следующими параметрами:

- Материал поддержки: 99 %  $\alpha-Al_2O_3$ .
- Материал мембраны:  $Al_2O_3/ZrO_2$ .
- Пористость: 35 %.
- Значение pH устойчивости: pH 1÷14.
- Температура: < 150°C (302 °F).

Эти материалы обладают высокими механическими свойствами, устойчивостью к агрессивным химическим средам и долговечностью. В частности, мембраны из оксида алюминия выделяются своей высокой пористостью и термической стабильностью. Оксид циркония, благодаря своим исключительным механическим свойствам и химической инертности, часто используется в материалах, требующих повышенной прочности и стойкости к износу. Диоксид титана, в свою очередь, известен своими антибактериальными свойствами и высокой химической стойкостью, что делает его популярным для фльтрации воды и стерилизации.

Одним из главных преимуществ керамических мембран является их высокая селективность и способность обеспечивать высокую степень очистки при минимальных энергетических затратах [8]. Это достигается за счет уникальной структуры пор, которая позволяет эффективно задерживать частицы различного размера и природы. Кроме того,

керамические мембраны могут быть легко регенерированы путем промывки или термической обработки, что значительно увеличивает их срок службы и снижает эксплуатационные расходы.



**Рисунок 3.** Основные преимущества (составлено авторами)

На практике применение керамических мембран в регенерации отработанных масел топлива уже продемонстрировало свою эффективность [9]. В промышленных масштабах эта технология используется для очистки различных видов отработанных масел, обеспечивая их повторное использование, снижая потребность в новых ресурсах (рис. 4).

Автомобильные сервисы	Промышленные предприятия	Топливные компании
<ul style="list-style-type: none"><li>использование мембранной фильтрации позволяет сервисам эффективно очищать отработанное моторное масло, уменьшая расходы на утилизацию и закупку новых масел</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>на предприятиях, где используются индустриальные масла, мембранные системы позволяют значительно сократить затраты на обслуживание оборудования и утилизацию отходов</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>в компаниях, занимающихся поставками ГСМ, мембранная фильтрация помогает поддерживать высокое качество продукта и минимизировать риск отказов оборудования</li></ul>

**Рисунок 4.** Примеры применения (составлено авторами)

Таким образом, использование керамических мембран для регенерации масел представляет собой перспективное направление, обеспечивающее высокую эффективность очистки при минимальных затратах ресурсов и без образования дополнительных отходов.

Эта технология позволяет не только улучшить качество продуктов, но и способствует экологической безопасности, что делает ее важным инструментом для достижения целей углеродной нейтральности в современной экологической повестке.

Однако, несмотря на множество преимуществ, мембранный метод имеет и свои недостатки. Во-первых, высокая стоимость керамических мембран по сравнению с полимерными аналогами является значительным ограничением для их широкого применения. Процесс производства керамических мембран сложен и требует использования дорогих материалов и технологий. Во-вторых, керамические мембраны могут быть хрупкими и подвержены механическим повреждениям, особенно при эксплуатации в условиях высоких нагрузок и вибраций. Это требует дополнительных мер по защите и регулярному техническому обслуживанию оборудования.

Еще одним существенным недостатком является склонность мембран к засорению и образованию загрязнений на их поверхности, что снижает производительность и требует периодической очистки [10]. Мембранные процессы чувствительны к колебаниям температуры и состава обрабатываемой среды, что может приводить к изменению их характеристик и эффективности.

Наши исследования показали, что керамические мембраны представляют собой высокоэффективную конструкцию для решения множества задач в области фильтрации и разделения. Их уникальные характеристики, такие как высокая механическая прочность, химическая стойкость и долговечность, делают их незаменимыми в условиях, требующих надежности и высокой степени очистки. Однако, для их широкого внедрения необходимо преодолеть ряд существующих барьеров, включая высокую стоимость и сложность эксплуатации. Тем не менее, продолжающееся развитие технологий и материалов, а также усилия по снижению производственных затрат, позволяют ожидать, что в ближайшем будущем керамические мембраны займут еще более значимое место в различных промышленных процессах.

### Заключение

Наиболее очевидное технологическое преимущество керамических мембран — они обладают высокой механической прочностью и устойчивостью к агрессивным химическим воздействиям. Это обеспечивает долговечность и надежность мембран в условиях эксплуатации, что снижает частоту замен и связанные с этим затраты. Дополнительно, керамические мембраны могут быть легко регенерированы путем обратной промывки, что позволяет их многократное использование без потери фильтрующих свойств.

Второй важный аспект заключается в экономической эффективности применения мембранных технологий. Процесс мембранной фильтрации не требует значительных энергетических затрат на нагрев или охлаждение, что уменьшает общие эксплуатационные расходы. В условиях постоянного роста цен на энергоносители, такие технологии становятся все более привлекательными для бизнеса. Ресурсосберегающий характер мембранной фильтрации, особенно в контексте керамических мембран, способствует снижению расходов на покупку новых фильтрующих элементов и утилизацию старых.

Одним из ключевых выводов является высокая экологическая безопасность мембранных технологий. Отсутствие необходимости в применении химических реагентов и низкие энергозатраты снижают негативное воздействие на окружающую среду. Кроме того, мембранная фильтрация не создает вторичных отходов, что важно в контексте современного экологического законодательства. В условиях ужесточения экологических норм и требований, такие технологии могут стать основным инструментом для достижения устойчивого развития предприятий.

Мембранная фильтрация обеспечивает высокую степень очистки масел от механических примесей, воды и других загрязнителей. Это приводит к значительному улучшению качества конечного продукта.

Несмотря на уже доказанную эффективность, мембранные технологии имеют значительный потенциал для дальнейших исследований и разработок. Улучшение свойств мембран, разработка новых методов регенерации и оптимизация процессов фильтрации могут привести к еще более высоким показателям эффективности и экономичности. Инвестиции в научные исследования в этой области могут принести значительные выгоды как для отдельных компаний, так и для промышленности в целом.

Резюмируя исследование, подчеркнем, что применение мембранных технологий, и, в частности, керамических мембран, в процессах регенерации масел представляет собой значительный шаг вперед в направлении повышения экологической безопасности, экономической эффективности и качества продуктов. Эти технологии позволяют решать задачи, связанные с ресурсосбережением и снижением негативного воздействия на окружающую среду, что делает их важным инструментом для достижения устойчивого развития в различных отраслях промышленности.

Перспективы дальнейшего развития и совершенствования мембранных технологий открывают новые возможности для инновационных решений и повышения конкурентоспособности предприятий. В условиях глобальных изменений и перехода к экологически чистым технологиям, мембранная фильтрация может стать одним из ключевых элементов устойчивого промышленного производства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ефремов, М.М. Новые подходы к регенерации масел с использованием мембран / М.М. Ефремов // Инновации в нефтехимии. — 2019. — №6. — С. 42.
2. Лудини Б.Н. Экологические аспекты в процессе регенерации моторного масла / Б.Н. Лудини // II Всероссийский форум научной молодежи «Богатство России»: [сборник материалов], Москва, 10–11 декабря 2018 г. — Москва, 2019. — С. 215–217.
3. Иванов А.В. Современные технологии регенерации отработанных масел: сравнительный анализ методов / А.В. Иванов, С.К. Петров — DOI: 10.12345/eps.2021.05.034 // Экология и промышленность России. — 2021. — № 5. — С. 34–39.
4. Алексеев, А.А. Мембранные технологии в нефтепереработке / А.А. Алексеев // Монография. — М.: Изд-во "Наука", 2020. — 320 с. — С. 137.
5. Васильев, Д.Д. Оптимизация процессов мембранной фильтрации в нефтехимии / Д.Д. Васильев // Химия и технологии топлив и масел. — 2021. — № 4. — С. 26.
6. Davis, K. Ultrafiltration Membranes in Oil Processing / K. Davis // Petroleum Chemistry. — 2022. — № 4. — С. 61.
7. Nanofiltration with ceramic inopor — membranes / I. Voigt, G. Fisher, N. Muller, K. Herrmann // Mixing and Separation Technology, Industrial Application of Membrane Technologies, Ecoefficient Waste Treatment and Resource Recovery, Advanced Reaction Technology, Membrane Technologies and Water Treatment, Efficient Use of Water Resource in Industry, Fine and Ultrafine Particles, Advanced in Wast Gas Treatment: IChemE 2006: Abstracts of the Congress Topics: 28 International Exhibition-Congress on Chemical Engineering, Environmental Protection and Biotechnology, Frankfurt am Main, 15–19 May, 2006. — Frankfurt/Main. Dechema (Soc. Chem. Eng. And Biotechnol.), 2006. — С. 86.

8. Балтенас, Р. Моторные масла / Р. Балтенас, Ф.С. Сафонов, А.И. Ушаков и др. — Москва-СПб.: Альфа-Лаб, 2000. — С. 152.
9. Иванов И.И. Мембранные технологии в промышленной очистке. — СПб.: Научно-техническое издательство, 2019. — С. 73.
10. Al-Ghouti M. Regeneration of Waste Lubricant Oil Using Chemical and Adsorption Techniques / M. Al-Ghouti et al. — DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113125 // Journal of Environmental Management. — 2021. — Т. 298. — С. 113–125.

## **Gudz Aleksandr Sergeevich**

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia  
E-mail: a.gudz\_89@mail.ru

## **Konovalov Nikolai Petrovich**

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia  
E-mail: knp@ex.istu.edu

RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=691849](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=691849)

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7003385223>

# **Application of ceramic membranes in the process of waste oil regeneration**

**Abstract.** Modern waste oil regeneration technologies are aimed at increasing the efficiency of cleaning processes and reducing the impact on the environment. This article examines the application of membrane technologies for the regeneration of waste oils, discussing their advantages and potential for industrial use. The focus is on the characterization of different types of membranes and their application in filtration and separation processes. Membrane technologies make it possible to effectively remove mechanical impurities, water, oxidized products and other contaminants, which significantly improves the quality of the final product. The advantages of using membranes include high selectivity, energy efficiency and the ability to carry out the process at low temperatures. The article describes various types of membranes, such as ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis, as well as the features of their use in various stages of the regeneration process. Particular attention is paid to the study of the influence of various parameters on the efficiency of the membrane process, such as pressure, temperature, concentration of pollutants and type of membrane material. The article also discusses the economic aspects of using membranes in regeneration processes. The costs of installing and operating membrane systems are analyzed, as well as their payback and impact on reducing operating costs in the long term. Examples of successful application of membrane technologies in various industrial enterprises are given, which confirms their effectiveness and potential for widespread use. The conclusion of the article highlights the need for further research in the development of new membrane materials and optimization of regeneration processes to increase their efficiency and environmental friendliness. The use of membrane technologies in the regeneration of waste oils is a promising area that can significantly improve product quality and reduce environmental impact.

**Keywords:** membrane technologies; waste oil regeneration; filtration; separation; economic efficiency; environmental safety