

Тип статьи: научная

УДК 662.75

DOI: 10.35887/2305-2538-2024-5-129-138

## МЕМБРАННАЯ ОЧИСТКА ОБВОДНЕННОГО ТОПЛИВА

Юлия Владимировна Мещерякова<sup>1</sup>, Александр Геннадьевич Мещеряков<sup>2</sup>,  
Игорь Вячеславович Бусин<sup>3</sup>, Алексей Юрьевич Корнев<sup>4</sup>, Станислав Александрович Нагорнов<sup>5</sup>

<sup>1,3,4,5</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и  
нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Российская Федерация

<sup>1</sup> Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация

<sup>2</sup> Ростовский государственный университет путей сообщения,

г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

<sup>4</sup> Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I,

г. Воронеж, Российская Федерация

<sup>1</sup> yulya-belova@yandex.ru, <sup>2</sup> alex-mec@bk.ru, <sup>3,4</sup> vniitinlab7@yandex.ru, <sup>5</sup> snagornov@yandex.ru

Автор ответственный за переписку: Юлия Владимировна Мещерякова, yulya-belova@yandex.ru

Corresponding author: Yulia Meshcheryakova, yulya-belova@yandex.ru

**Реферат.** Перспективным способом решения проблемы обводненности моторного топлива может стать использование современных фильтровальных материалов. Широкое применение в различных технологических процессах нашли различные мембранные фильтры. Они способны работать длительное время, достаточно прочные и химически стойкие. Исследована возможность использования мембранных материалов для очистки искусственно обводненного дизельного топлива. Установка, позволяющая прокачивать топливо через исследуемый материал при разном давлении, которое создается за счет сжатого воздуха от компрессорной установки, сконструирована с этой целью. В качестве фильтровального материала использовались плоские синтетические мембраны фирмы «Владипор» марки МФФК-3, МФФК-3Г и обводненное дизельное топливо с содержанием в нем воды 0,5 %, 1 %, 3 % и 5 % (объем исходного образца топлива составил 1 л). Определение содержания воды в исходном дизельном топливе проводили согласно методу Дина-Старка. Установлено в результате проведенных исследований, что с увеличением давления степень очистки обводненного топлива гидрофобной мембраной МФФК-3 повышается (улучшается на 45-70 %), в случае гидрофильной мембраны МФФК-3Г снижается на 10-14 %. Гидрофобная мембрана при минимальной обводненности (0,5 %) позволила снизить содержание воды в исходном образце топлива с 5 мл до 0,25 мл (на 95 %), гидрофильная с 5 мл до 4,25 мл (на 15 %). Остаток воды в пермеате после гидрофильной мембраны значительно выше. Таким образом, исследуемые мембраны марок МФФК-3 и МФФК-3Г способны очистить дизельное топливо от воды при использовании их в качестве фильтра тонкой очистки.

**Ключевые слова:** вода, дизельное топливо, мембрана, очистка, фильтрование.

## MEMBRANE PURIFICATION OF WATERED FUEL

Yulia Meshcheryakova<sup>1</sup>, Alexander Meshcheryakov<sup>2</sup>, Igor Busin<sup>3</sup>, Alexey Kornev<sup>4</sup>  
Stanislav Nagornov<sup>5</sup>

<sup>1,3,4,5</sup> All-russian research institute for use of machinery and petroleum products in agriculture,  
Tambov, Russian Federation

<sup>1</sup> Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation

<sup>2</sup> Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russian Federation

<sup>4</sup> Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great,  
Voronezh, Russian Federation

<sup>1</sup> yulya-belova@yandex.ru, <sup>2</sup> alex-mec@bk.ru, <sup>3,4</sup> vniitinlab7@yandex.ru, <sup>5</sup> snagornov@yandex.ru

**Abstract.** A promising way to solve the problem of waterlogging of motor fuel may be the use of modern filter materials. Membrane filters are widely used in various technological processes. They are capable of working for a long time, are quite durable and chemically resistant. The possibility of using membrane materials in the purification of artificially watered diesel fuel has been investigated. For the analysis of membranes, an installation has been designed that allows fuel to be pumped through the test material at different pressures. The pressure is created without using a pump, but due to compressed air from the compressor unit. As a filter material, Vladipor flat synthetic membranes of the MFFK-3, MFFK-3G brands and watered diesel fuel with a water content of 0.5%, 1%, 3% and 5% were used (the volume of the initial fuel sample was 1 liter). The water content in the initial diesel fuel was calculated according to the Dean-Stark method. It was found that with increasing pressure, the degree of purification of the watered fuel by the hydrophobic membrane MFFK-3 increases (improves by 45-70%), in the case of the hydrophilic membrane MFFK-3G decreases (10-14%). The hydrophobic membrane with minimal water content (0.5%) allowed to reduce the water content in the initial fuel sample from 5 ml to 0.25 ml (by 95%), hydrophilic from 5 ml to 4.25 ml (by 15%). The water residue in the permeate after the hydrophilic membrane is significantly higher. The studied membranes of the MFFK-3 and MFFK-3G brands are capable of purifying diesel fuel from water when used as a fine filter.

**Keywords:** water, membrane, diesel fuel, filtration, purification.

**Для цитирования:** Мещерякова Ю.В., Мещеряков А.Г., Бусин И.В., Корнев А.Ю., Нагорнов С.А. Мембранная очистка обводненного топлива// Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 71, № 5. С. 129-138. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-5-129-138>.

**For citation:** Meshcheryakova Yu., Meshcheryakov A., Busin I., Kornev A., Nagornov S. Membrane purification of a watered fuel. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2024; 71(5): 129-138. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-5-129-138>.

**Введение.** Производимое на крупных нефтеперерабатывающих заводах моторное топливо, как правило, соответствует всем установленным отечественным стандартам качества. Однако жалобы со стороны конечного потребителя, как крупных аграрных товаропроизводителей, так и небольших фермерских хозяйств на качество используемого топлива встречаются повсеместно. Такая ситуация складывается из-за ухудшения качества топлива на пути от НПЗ до конечного потребителя – на стадиях транспортировки и хранения, при перекачке и отпуске на заправочных станциях. Поломка или отказ топливной аппаратуры дизельного двигателя непосредственно связана с увеличением содержания механических примесей и воды в моторном топливе.

Наиболее известным и распространённым методом очистки топлива является фильтрование. Метод заключается в пропускании моторного топлива через пористую перегородку (фильтровальный элемент), которая задерживает примеси. В зависимости от конструкции и материала фильтровального элемента степень очистки топлива варьируется [1-5].

Применение предлагаемых в мировом двигателестроении фильтровальных материалов способствует значительному повышению надежности топливной аппаратуры в условиях рядовой эксплуатации. Однако применение типовых фильтровальных элементов и материалов, не защищает топливную аппаратуру от воды находящейся в мелкодисперсном состоянии (обратная эмульсия).

В современном мире широкое применение в различных технологических процессах нашли мембранные фильтры [6-8]. Они способны работать длительное время, достаточно прочные и химически стойкие. Мембранные фильтры не требуют особого обращения с ними, их можно изготавливать одним и тем же способом при точно контролируемых условиях [9]. Разнообразен выбор материала, из которого они изготовлены и как следствие разнообразны их механические, химические и структурно-морфологические свойства. Оптимальное сочетание требуемой проницаемости и селективности позволяет задерживать частицы размерами порядка размеров бактерий и меньше.

В связи с этим, целью настоящей работы является установление возможности использования мембранных материалов при очистке обводненного топлива.

**Материалы и методы.** Для анализа современных фильтровальных материалов была сконструирована установка, фото представлено на рисунке 1.

Установка позволяет прокачивать топливо через исследуемый материал при постоянном давлении и разных фиксированных перепадах давления. Давление создается без использования насоса, а за счет сжатого воздуха от компрессорной установки. Фильтр воздушный с манометром 1 позволяет поддерживать или регулировать давление в каждой серии экспериментов.

Установка состоит из емкости 3 для исследуемого моторного топлива (в качестве моторного топлива выступает дизельное топливо, бензин, биодизельное топливо, дизельное смесевое топливо).

Под действием сжатого воздуха моторное топливо с помощью крана 2 из емкости 3 подается в фильтровальный патрон 4, в котором закреплен фильтровальный материал на армированной сетке (рисунок 2). Армированная сетка предназначена для испытания фильтровальных материалов при высоком давлении (до 1 МПа). В патроне также установлена зажимная гайка и уплотнительное кольцо из стойкого к нефтепродуктам материала. Полученный фильтрат собирается в мерном цилиндре для дальнейшего исследования на наличие примесей.

В качестве фильтровального материала использовались плоские синтетические мембраны фирмы «Владипор» марки МФФК-3 и МФФК-3Г. Они представляют собой пористый пленочный материал на основе фторопласта Ф-42Л, нанесенного на нетканую подложку из термоскрепленных полиэфирных волокон. Мембраны выпускаются с разным размером пор от 0,05 до 1,5 мкм.

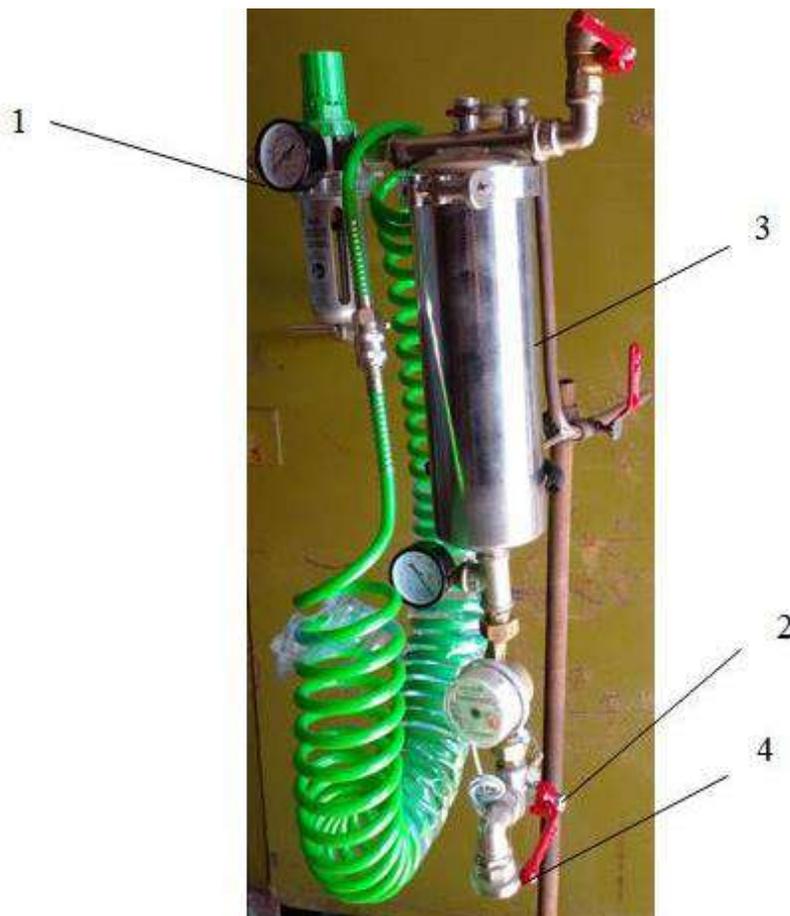


Рисунок 1 – Фото установки для исследований фильтровальных материалов



а) армированная сетка в патроне



б) патрон с фильтровальным элементом внутри

Рисунок 2 – Фильтровальный патрон

Использовалось обводненное дизельное топливо с содержанием воды в нем 0,5 %, 1 %, 3 % и 5 % (объем исходного образца топлива составил 1 л). Содержание воды в исходном дизельном топливе определяли согласно ГОСТ 2477–65 «Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды» (Метод Дина-Старка). Сущность метода состоит в нагревании пробы дизельного топлива с нерастворимым в воде растворителем и измерении объема сконденсированной воды.

**Результаты и их обсуждение.** На рисунках 3 – 8 представлены результаты очистки обводненного дизельного топлива от воды с помощью мембран МФФК- 3.

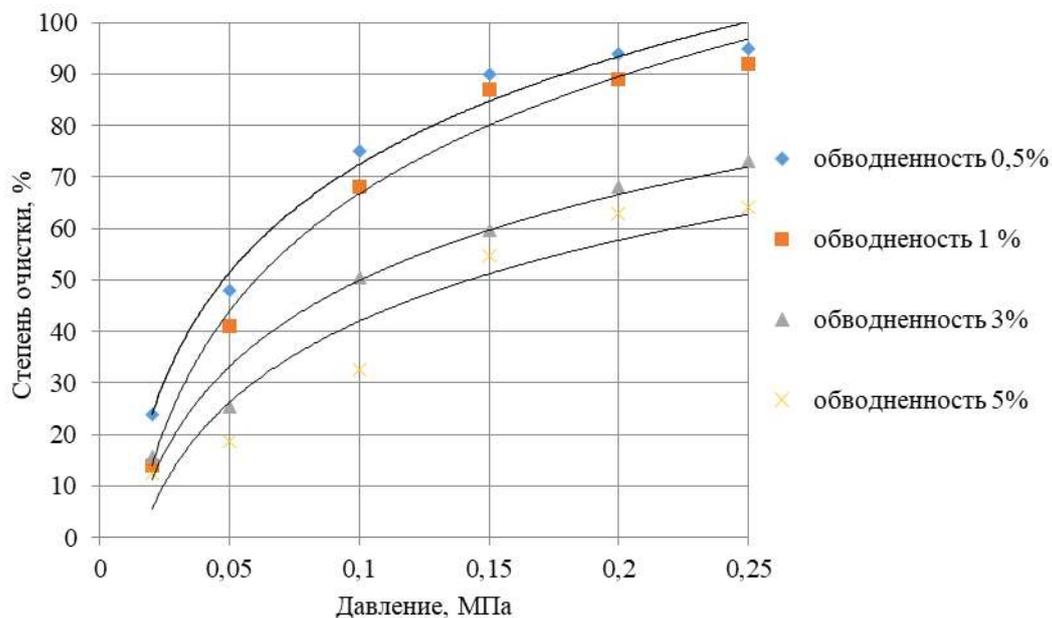


Рисунок 3 – Степень очистки дизельного топлива в зависимости от давления

С увеличением давления степень очистки обводненного топлива повышается (улучшается на 45 – 70 %) (рисунок 3). Чем меньше воды в исходном топливе, тем степень очистки выше (улучшается на 30 %) через данную марку мембраны. Уменьшение степени очистки с повышением обводненности топлива вероятнее всего связано с закупоркой пор гидрофобной мембраны, что подтверждается результатами эксперимента на рисунке 4.

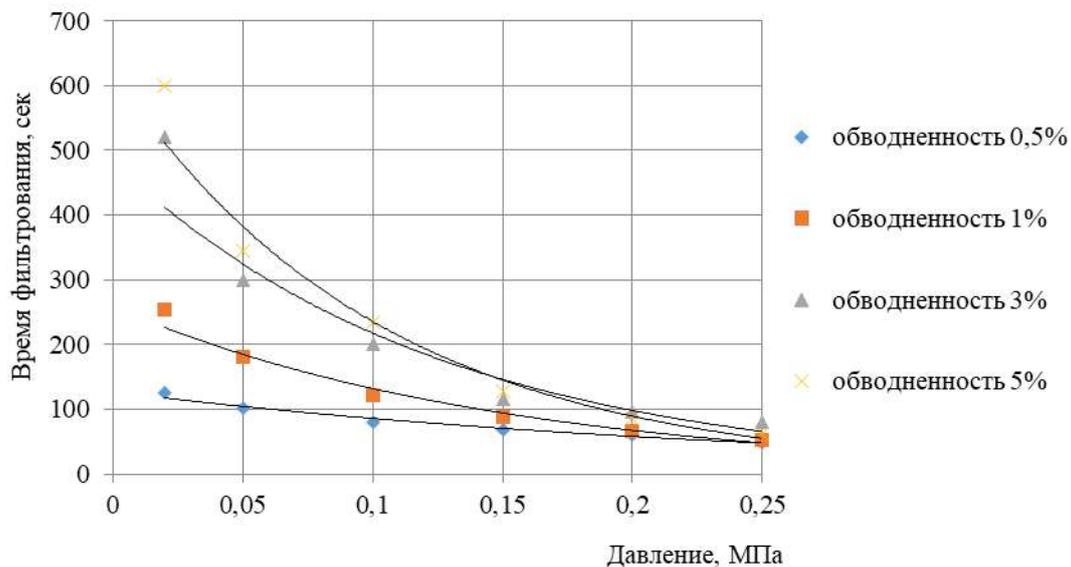


Рисунок 4 – Время фильтрации топлива в зависимости от давления

С повышением давления время фильтрации снижается. Время фильтрации для обводненного топлива 5% выше на 575 сек (600-62 сек), чем для 0,5% обводненного топлива (125 - 48 сек). Также уменьшение степени очистки с повышением обводненности топлива может быть связано с частичным просачиванием воды через зажимную гайку, так как степень обжатия влияет на концентрацию воды в пермеате.

Ниже (рисунок 5-8) представлены результаты по остаточному содержанию воды в пермеате при различной степени обводненности топлива. Остаток воды в пермеате по мере фильтрации увеличивается. С увеличением давления время фильтрации возрастает.

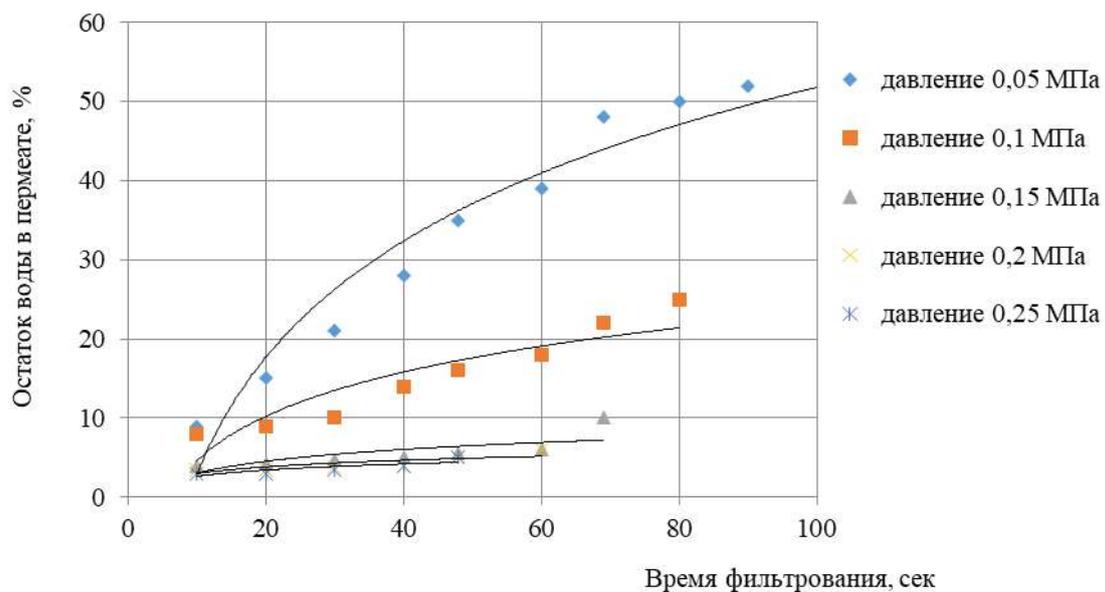


Рисунок 5 – Остаточное содержание воды в пермеате в зависимости от давления при обводненности топлива 0,5%

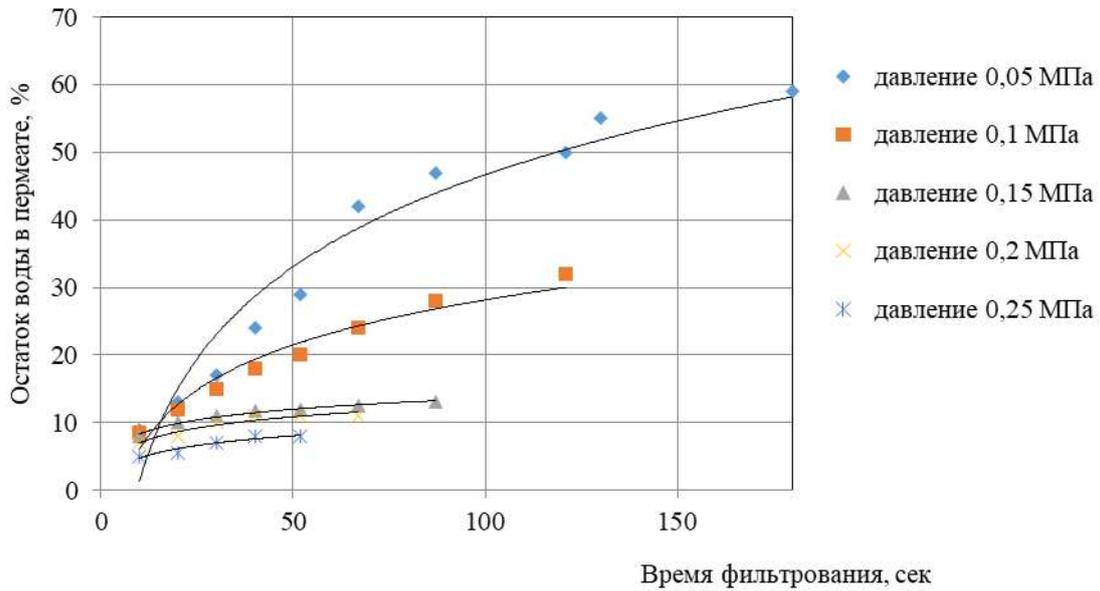


Рисунок 6 – Остаточное содержание воды в пермеате в зависимости от давления при обводненности топлива 1%

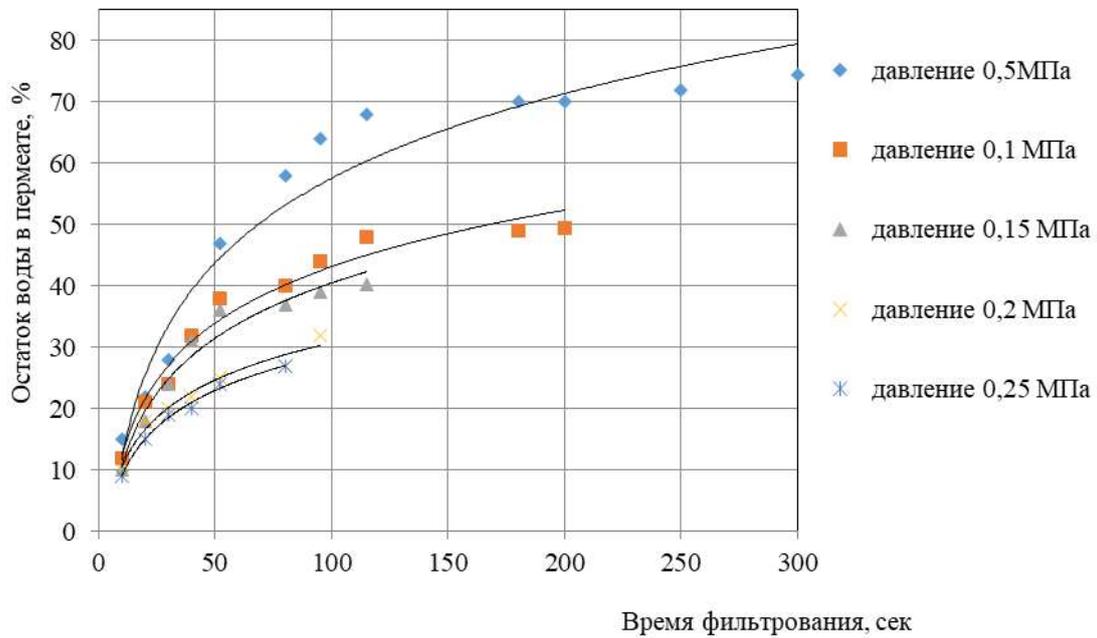


Рисунок 7 – Остаточное содержание воды в пермеате в зависимости от давления при обводненности топлива 3%

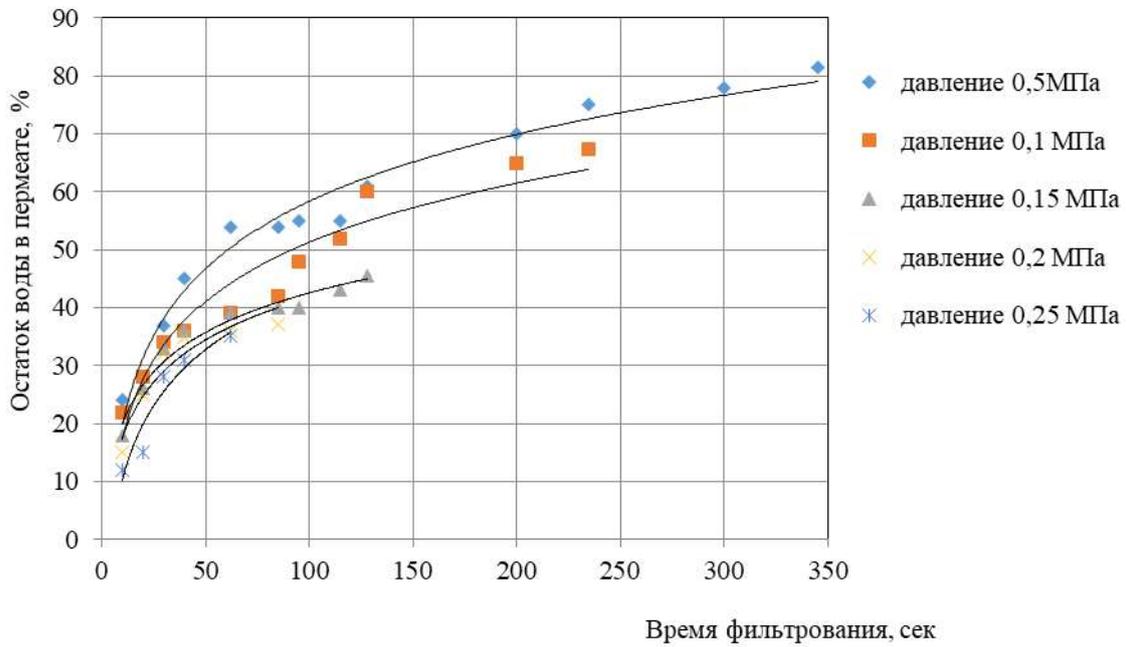


Рисунок 8 – Остаточное содержание воды в пермеате в зависимости от давления при обводненности топлива 5%

На рисунках 9-11 представлены результаты очистки дизельного топлива от воды с помощью мембран МФФК- 3Г.

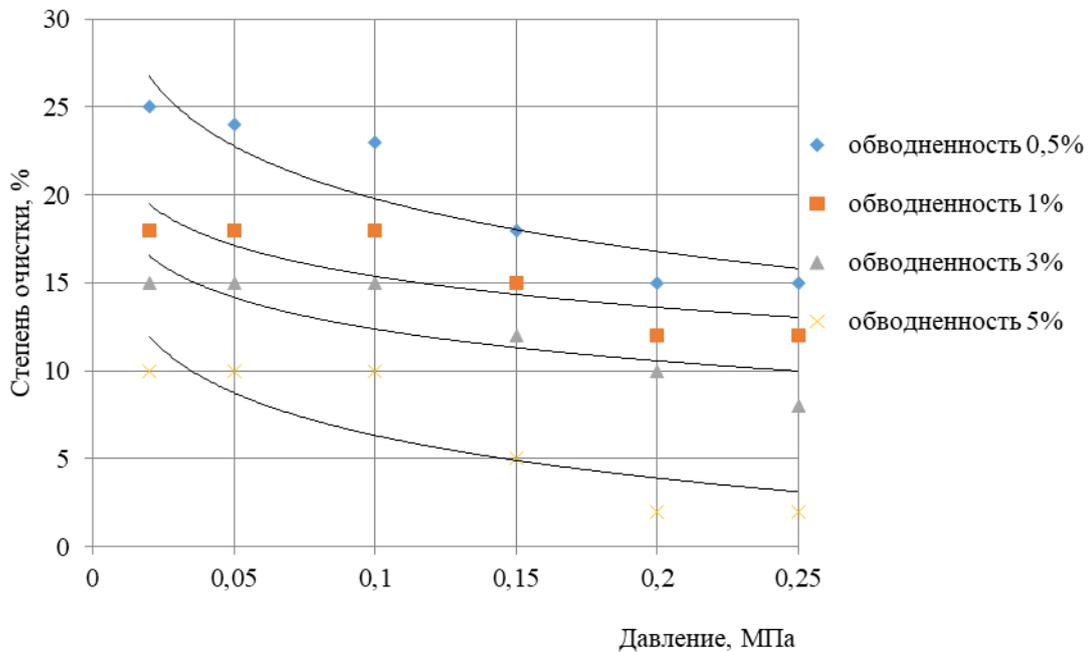


Рисунок 9 – Степень очистки дизельного топлива в зависимости от давления

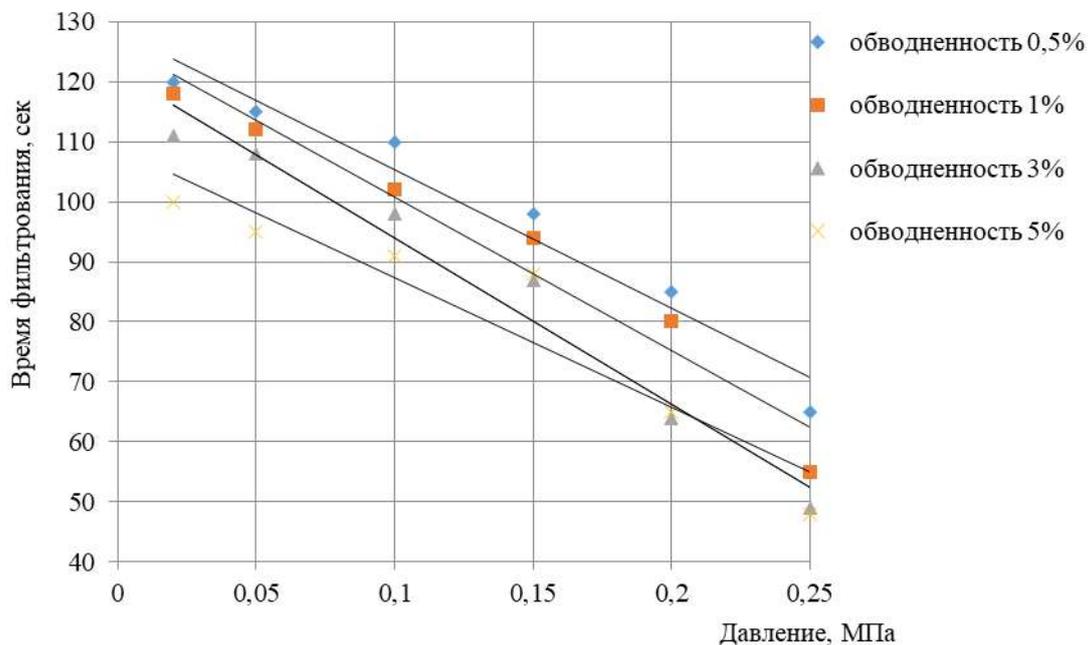


Рисунок 10 – Время фильтрования топлива в зависимости от давления

При давлении до 1 атм степень очистки топлива примерно одинаковая и значительно ниже, чем при использовании гидрофобной мембраны МФФК-3. С увеличением давления степень очистки топлива от воды снижается, вероятнее всего это связано с тем, что активный слой гидрофильной мембраны вступает во взаимодействие с молекулами воды и под действием подаваемого давления пропускает через себя воду с топливом. Так же и с увеличением обводненности топлива степень очистки снижается. По сравнению с гидрофобной мембраной, остаток воды в пермеате после гидрофильной мембраны значительно выше, как в случае с 0,5% образцом, так и с 5%.

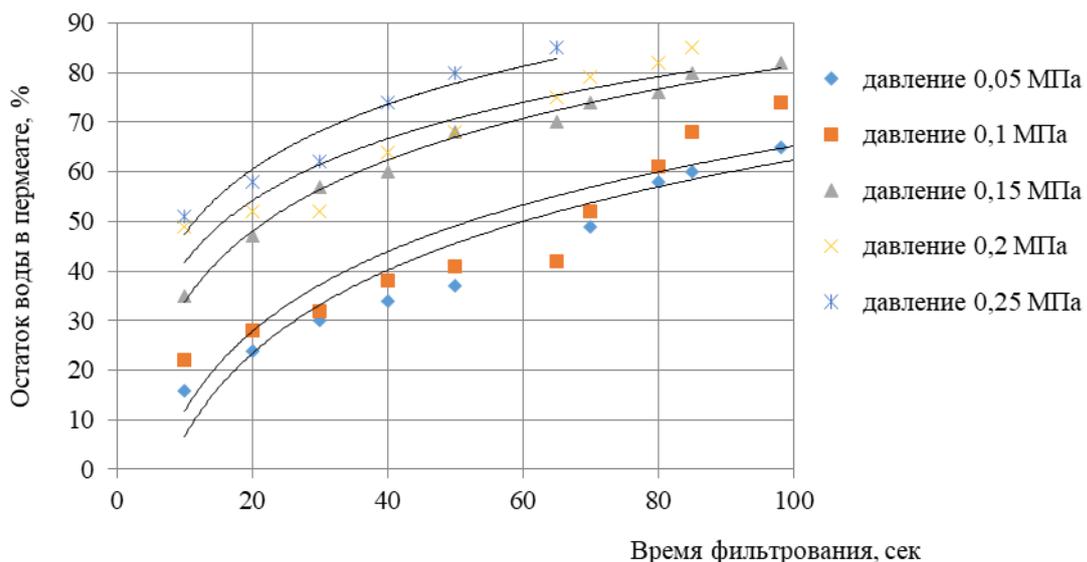


Рисунок 11 – Остаточное содержание воды в пермеате в зависимости от давления при обводненности топлива 0,5%

Малый процент остатка воды в пермеате на ранних стадиях фильтрования (до 20 сек) объясняется постепенным отстаиванием воды в топливе. По мере отстаивания, гидрофильная мембрана активно пропускает молекулы воды с топливом, практически ее не задерживая.

**Заключение.** Исследуемые мембраны марок МФФК-3 и МФФК-3Г способны очистить дизельное топливо от воды при использовании их в качестве фильтра тонкой очистки. Установлено, что гидрофобная мембрана при минимальной обводненности (0,5 %) позволила снизить содержание воды в исходном образце топлива с 5 мл до 0,25 мл (на 95 %), гидрофильная с 5 мл до 4,25 мл (на 15 %). Остаток воды в пермеате после гидрофильной мембраны значительно выше. Так же на остаточное содержание воды в пермеате дизельного топлива влияет давление. С увеличением давления степень очистки обводненного топлива улучшается на 45 – 70 % в случае гидрофобной мембраны, а в случае гидрофильной снижается на 10 – 14 %.

#### Список источников

1. Коваленко В.П. Очистка дизельного топлива от механических примесей, эмульсионной воды и продуктов окисления с применением пористых наноматериалов / В.П. Коваленко, Е.А. Улюкина, В.В. Коновалов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2013. - №16. - т.4 – С. 233-235.
2. Загородских, Б. П. Снижение обводнённости дизельного топлива при эксплуатации автотракторной техники / Б. П. Загородских, С. В. Абрамов, Д. С. Маяков // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 3(43). – С. 192-196.
3. Улюкина, Е. А. Экспериментальное исследование эффективности гидродинамического фильтрования дизельного топлива / Е. А. Улюкина, А. В. Орешенков, Ф. Е. Шарыкин // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 2. – С. 34-40.
4. Удлер, Э.И. Фильтрация углеводородных топлив / Э. И. Удлер. - Томск: Том. ун-т., 1981. - 152 с.
5. Рыбаков, К.В. Фильтрация авиационных топлив / К.В. Рыбаков, - М: Транспорт, 1973. - 164 с.
6. Спектроскопические и кинетические исследования проницаемости поверхностных слоев мембран в процессе микрофильтрационного разделения водно-органических растворов / Д. Н. Коновалов, И. В. Хорохорина, С. И. Лазарев [и др.] // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2023. – № 3. – С. 98-104.
7. Spectroscopic and Kinetic Studies of the Permeability of Membrane Surface Layers during the Microfiltration Separation of Aqueous-Organic Solutions / D. N. Konovalov, I. V. Khorokhorina, S. I. Lazarev [et al.] // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2023. – Vol. 17, No. 2. – P. 401-407.
8. Новопашин Л.А., Использование устройства для обезвоживания дизельного топлива и дизельного смесового топлива в системе питания дизельных двигателей / Л.А. Новопашин, Ю.Б. Котлюба, А.А. Садов // Вестник биотехнологии. – 2018. – №: 2 (16) – С.9
9. Брок, Т. Мембранная фильтрация / Т. Брок – М.: Мир, 1987. – 640 с.

#### References

1. Kovalenko V.P. Purification of diesel fuel from mechanical impurities, emulsion water and oxidation products using porous nanomaterials / V.P. Kovalenko, E.A. Ulyukina, V.V. Konovalov // Proceedings of the International Academy of Agrarian Education. - 2013. - No.16. - vol. 4 – pp. 233-235.
2. Zagorodskikh, B. P. Reduction of diesel fuel flooding during operation of automotive equipment / B. P. Zagorodskikh, S. V. Abramov, D. S. Mayakov // Izvestiya Nizhnevolzhsky agrouniversitetskiy complex: Science and higher professional education. – 2016. – № 3 (43). – Pp. 192-196.
3. Ulyukina, E. A. Experimental study of the efficiency of hydrodynamic filtration of diesel fuel / E. A. Ulyukina, A.V. Oreshenkov, F. E. Sharykin // Agroengineering. - 2023. – Vol. 25, No. 2. – pp. 34-40.
4. Udler, E.I. Filtration of hydrocarbon fuels / E. I. Udler. - Tomsk: Tom. UN-t, 1981. - 152 p.
5. Rybakov, K.V. Filtration of aviation fuels / K.V. Rybakov, Moscow: Transport, 1973. - 164 p.

6. Spectroscopic and kinetic studies of the permeability of the surface layers of membranes in the process of microfiltration separation of aqueous organic solutions / D. N. Konovalov, I. V. Khorokhorina, S. I. Lazarev [et al.] // Surface. X-ray, synchrotron and neutron studies. - 2023. – No. 3. – pp. 98-104.

7. Spectroscopic and Kinetic Studies of the Permeability of Membrane Surface Layers during the Microfiltration Separation of Aquatic-Organic Solutions / D. N. Konovalov, I. V. Khorokhorina, S. I. Lazarev [et al.] // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2023. – Vol 17, No. 2. – P. 401-407.

8. Novopashin L.A., The use of a device for dewatering diesel fuel and diesel mixed fuel in the power supply system of diesel engines / L.A. Novopashin, Yu.B. Kotlyuba, A.A. Sadov // Bulletin of Biotechnology. – 2018. – №: 2 (16) – P.9

9. Brock, T. Membrane filtration / T. Brock – М.: Mir, 1987. – 640 p.

#### **Информация об авторах**

Ю.В. Мещерякова - кандидат технических наук, доцент; А.Г. Мещеряков - кандидат технических наук; И.В. Бусин - кандидат технических наук; А.Ю. Корнев - кандидат технических наук; С.А. Нагорнов - доктор технических наук, профессор.

#### **Information about the authors**

Yu. Meshcheryakova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; A. Meshcheryakov – Candidate of Technical Sciences; I. Busin – Candidate of Technical Sciences; A. Kornev - Candidate of Technical Sciences; S. Nagornov - Doctor of Technical Sciences, Professor.

**Вклад авторов** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**Contribution of the authors:** all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

**The authors declare no conflict of interest.**

Поступила в редакцию (Received): 21.09.2024      Принята к публикации (Accepted): 22.10.2024