УДК 665.6

В. И. Жолнеркевич, А. О. Шрубок
Белорусский государственный технологический университет

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАННОГО МАСЛА МЕТОДОМ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Рассмотрена проблема определения содержания механических примесей и других загрязнителей в отработанных маслах. Показано, что существующие способы определения механических примесей (ГОСТ 20684–75 «Масла моторные отработанные. Метод определения нерастворимых осадков» и ГОСТ 6370–2018 «Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей») затратны по времени и не позволяют учесть частицы размером меньше 8–12 мкм. Продемонстрирована возможность оценки степени загрязнения масла продуктами окисления и эффективности очистки отработанных масел оптическим методом. Определена зависимость изменения оптической плотности отработанного масла и очищенных масел, полученных в процессе коагуляции, от состава коагулянта. Установлено, что наименьшая оптическая плотность очищенного масла наблюдается в случае очистки при температуре 55°С системой, содержащей 15 мас. % неонола (0,1489). Применение оптической спектроскопии позволяет оценить загрязненность масла продуктами окисления, полиароматическими углеводородами и другими соединениями. Определены размер и количество частиц механических примесей с помощью оптической микроскопии. Показано, что применение системы, содержащей 15 мас. % неонола в коагулянте, для очистки масла позволяет снизить число частиц в 4,5 раза по сравнению с отработанным маслом. Установлено, что оптимальным составом коагулянта для снижения содержания продуктов окисления и механических примесей является система, содержащая 15 мас. % неонола и 5 мас. % сульфата натрия.

Ключевые слова: оптическая плотность, размер частиц, отработанное масло, чистота масел.

Для цитирования: Жолнеркевич В. И., Шрубок А. О. Оценка эффективности очистки отработанного масла методом оптической спектроскопии // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2025. № 2 (295). С. 43–49.
DOI: 10.52065/2520-2669-2025-295-6.

V. I. Zholnerkevich, A. O. Shrubok
Belarusian State Technological University

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF WASTE OIL PURIFICATION BY OPTICAL SPECTROSCOPY

The problem of determining the content of mechanical impurities and other pollutants in waste oils is considered. It is shown that the existing methods for determining mechanical impurities (GOST 20684–75 “Used engine oils. Method for the determination of insoluble sediments” and GOST 6370–2018 “Oil, petroleum products and additives. Method of determination of mechanical impurities”) are time-consuming and do not allow taking into account parts smaller than 8–12 microns. The possibility of assessing the degree of oil contamination by oxidation products and the effectiveness of waste oil purification by the optical method is shown. The dependence of changes in the optical density of used oil and purified oils obtained during coagulation on the composition of the coagulant is determined. It is established that the lowest optical density of purified oil is observed in the case of purification at a temperature of 55°C with a system containing 15 wt.% neonol (0.1489). The use of optical spectroscopy makes it possible to assess oil contamination by oxidation products, aromatic hydrocarbons, and other contaminants. The size and number of particles of mechanical impurities were determined using an optical microscope. It is shown that the use of a system containing 15 wt. The % neonol in the coagulant used for oil purification reduces the number of particles by 4.5 times compared to used oil. It has been established that the optimal coagulant composition for reducing the content of oxidation products and mechanical impurities is a system containing 15% by weight.% neonol and 5 wt.% sodium sulfate.

Keywords: optical density, particle size, waste oil, purity of oil.

For citation: Zholnerkevich V. I., Shrubok A. O. Evaluation of the efficiency of waste oil purification by optical spectroscopy. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2025, no. 2 (295), pp. 43–49 (In Russian).
DOI: 10.52065/2520-2669-2025-295-6.

Введение. В настоящее время одной из экологических проблем в мире является накопление отходов потребления смазочных материалов, т. е. отработанных масел. В процессе эксплуатации масла происходят такие процессы, как окисление углеводородов, обводнение, образование сажи за счет неполного сгорания топлива. Кроме того, присадки начинают разлагаться и, как следствие, перестают нейтрализовывать кислоты, образующиеся в процессе окисления, из-за чего развивается коррозия и наблюдается износ узлов трения [1–3]. Загрязненное масло не может эффективно смазывать и защищать материалы двигателя. Все это приводит к необходимости замены масла. Производители масел рекомендуют осуществлять его замену при определенном пробеге машины (от 7000 до 15 000 км) [4–6]. Однако такой подход не учитывает индивидуальных условий эксплуатации автомобиля и замена масла может быть преждевременной. В результате в отработанное масло попадают нефтепродукты, обладающие некоторым запасом эксплуатационных свойств, которые могли бы еще использоваться. Одним из способов рационального применения нефтепродуктов является промежуточный контроль качественных характеристик масел и оценка их возможного дальнейшего использования. В случае необходимости отработанные масла подвергают полной или частичной регенерации для восстановления качественных характеристик. Процесс регенерации отработанных масел до исходных эксплуатационных показателей многостадийный и экономически не всегда оправдан, поэтому постоянный контроль состояния поможет увеличить срок службы масла и снизить затраты на процесс регенерации.

Актуальным вопросом при оценке качества отработанных масел является определение содержания загрязняющих компонентов, к которым относят механические примеси и продукты окисления, образующиеся в процессе эксплуатации. Существуют два стандартных способа определения содержания механических примесей. Первый метод (ГОСТ 20684) предполагает разбавление масла растворителем (петролейный эфир или нефрас) в 10-кратном избытке с последующим центрифугированием в течение 1 ч, после чего раствор масла декантируют, а выделенный осадок промывают растворителем и вновь центрифугируют 20 мин. Промывку осадка и центрифугирование осуществляют до тех пор, пока капля растворителя, помещенная на фильтровальную бумагу, не будет оставлять пятна загрязнения, после чего фиксируют массу осадка. Недостатком данного способа является продолжительность процесса. Второй метод (ГОСТ 6370) заключается в растворении образца масла в толуоле, нагретом до 80°С с последующим фильтрованием через бумажный фильтр марки «Белая лента» (размер пор 8–12 мкм). После испарения растворителя фиксируется масса нерастворимого осадка. Недостатком такого способа является невозможность уловить частицы менее 8–12 мкм. В связи с этим рассмотрение возможности использования других способов оценки содержания механических примесей в отработанных маслах остается актуальной задачей. Для оценки образующихся продуктов окисления в масле применяют такие показатели, как кислотное число (ГОСТ 11362–96 «Нефтепродукты и смазочные материалы. Число нейтрализации. Метод потенциометрического титрования») и щелочное число (ГОСТ 30050–93 «Нефтепродукты. Общее щелочное число. Метод потенциометрического титрования хлорной кислотой»). Данные показатели определяются потенциометрическим титрованием навески масла в растворителе. Недостатками таких методов являются длительность процесса и применение специфических реагентов. В ряде работ показано, что для быстрого и точного определения продуктов окисления в отработанном масле можно использовать спектрофотометрический метод [7–12]. Продукты окисления, находящиеся в масле, поглощают свет, тем самым повышая оптическую плотность раствора, что позволяет оценить степень загрязнения масла [13].

Основная часть. Цель работы – установить возможность использования оптических методов исследования для оценки эффективности очистки отработанного масла.

В качестве объектов исследования выбрано отработанное полусинтетическое моторное масло Mannol Diesel Extra 10W-40, а также продукты его очистки. Очистку отработанного масла осуществляли следующим образом: в колбу с обратным холодильником помещали отработанное масло и нагревали до исследуемой температуры (40, 55 и 60°С), после чего вводили водный раствор сульфата натрия заданной концентрации и выдерживали в течение 50 мин при перемешивании. По истечении времени выдержки в систему вводили неонол АФ 9-6 и перемешивали в течение 10 мин. Закончив отстаивание в делительной воронке, образовавшийся осадок отделяли от очищенного масла. Содержание неонола и сульфата натрия варьировалось от 0 до 20 мас. % в коагулянте. Суммарное количество неонола АФ 9-6 и сульфата натрия в коагулянте не превышало 20 мас. %, а количество воды во всех случаях постоянное и составляет 80 мас. %. Коагуляционную очистку проводили при расходе коагулянта 10 мас. % на сырье. Соотношение компонентов коагуляционной системы представлено в табл. 1.

Оптические спектры записывались при комнатной температуре (25 ± 2°С) в кюветах толщиной 1,06 мм на спектрофотометре СФ-2000 в диапазоне длин волн от 400 до 800 нм.

Таблица 1

Соотношение компонентов коагуляционной системы вода – неонол – сульфат натрия для очистки отработанного масла, мас. %

Компонент	№ системы			
	1	2	3	4
Неонол АФ 9-6	0	10	15	20
Сульфат натрия	20	10	5	0
Вода	80			
Расход на сырье, мас. %	10			

Поскольку оптическая плотность отработанного масла больше единицы (рекомендуемые значения оптической плотности составляют 0,2–0,7 [14]), готовили разбавленный раствор (4 мас. %) отработанного масла в гексане (длина волны максимума поглощения λ = 200 нм), после чего записывали спектры. В состав масла входят три основные группы углеводородов: парафиновые, нафтеновые и ароматические. Парафиновые углеводороды поглощают в области спектра до 250 нм, нафтеновые – в области спектра до 300 нм [15]. Парафиновые и нафтеновые компоненты масла не дают максимум поглощения в области 300–700 нм, и наблюдаемые полосы поглощения обусловлены наличием полициклических ароматических компонентов и продуктов окисления. Соответственно, вклад этих соединений в оптическую плотность характеризует чистоту масла, и изучение спектра в видимой области позволяет дать оценку эффективности очистки отработанного масла. В диапазоне 400–800 нм для исследуемого масла наблюдаются полосы поглощения при длинах волн 577, 640 и 720 нм, в связи с этим изменение оптической плотности образцов контролировали по наиболее интенсивному пику (577 нм).

Сопоставление оптических плотностей отработанного и очищенных при различных температурах масел осуществлялось при концентрации масла в гексане, равной 4 мас. %. Зависимость оптической плотности очищенного масла от состава коагулирующей системы (содержание неонола АФ 9-6 и сульфата натрия) представлена на рис. 1. Установлено, что с увеличением содержания неонола АФ 9-6 до 15 мас. % в коагулирующей системе наблюдается снижение оптической плотности очищенных масел независимо от температуры проведения очистки.

Показано, что в случае очистки только водным раствором соли оптическая плотность практически не меняется и составляет 1,2405, 1,2378 и 1,2315 при температурах очистки 40, 55 и 60°С, соответственно. Это свидетельствует о низкой эффективности процесса очистки отработанного масла коагулирующими системами без использования неонола. Наибольшее снижение оптической плотности наблюдается в случае очистки масла системой, содержащей неонол АФ 9-6 в количестве 15 мас. %, при температуре очистки 55°С (снижается с 1,3587 до 0,1489).

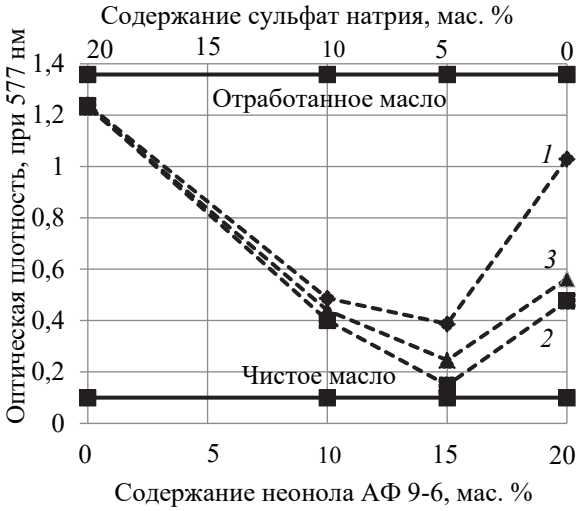

Рис. 1. Зависимость оптической плотности очищенных масел от дозировки коагулирующих компонентов при температурах очистки 40°С (*1*), 55°С (*2*) и 60°С (*3*)

Степень очистки отработанного масла оценивали как отношение разности оптических плотностей отработанного масла до и после очисти к оптической плотности исходного отработанного масла по следующей формуле:

$$K = \frac{D_{\text{о. м}} - D_{\text{ч. м}}}{D_{\text{о. м}}} \cdot 100, \qquad (1)$$

где K – степень очистки, %; $D_{\text{о. м}}$ – оптическая плотность отработанного масла; $D_{\text{ч. м}}$ – оптическая плотность очищенного масла.

Зависимость степени очистки масла от состава коагулянта представлена на рис. 2. В случае применения коагулирующей системы *1*, содержащей только водный раствор сульфата натрия, оптическая плотность и степень очистки отработанного масла практически не меняются при изменении температуры очистки (8,70; 8,90 и 9,36%, соответственно при 40, 55 и 60°С). Это свидетельствует о низкой эффективности процесса очистки. В случае очистки масла системой *2*, содержащей 10 мас. % неонола и 10 мас. % сульфата натрия, наибольшая степень очистки наблюдается при температуре 55°С (70,49%).

Степень очистки отработанного масла указанной системой при температурах 40 и 60°С ниже, чем при температуре очистки 55°С и составляет 64,17 и 67,62%, соответственно. Повышение концентрации неонола до 15 мас. % в коагулирующей системе *3* приводит к увеличению степени очистки до 89,04% при температуре очистки 55°С. При применении коагулирующей системы, содержащей 15 мас. % неонола и 5 мас. % сульфата

натрия, достигается наибольшая степень очистки вне зависимости от температуры процесса, по сравнению с другими коагулирующими системами. Увеличение концентрации неонола до 20 мас. % в коагулирующей системе *4* приводит к снижению степени очистки отработанного масла до 24,19, 64,90 и 58,56% при температурах процесса 40, 55 и 60°С, соответственно.

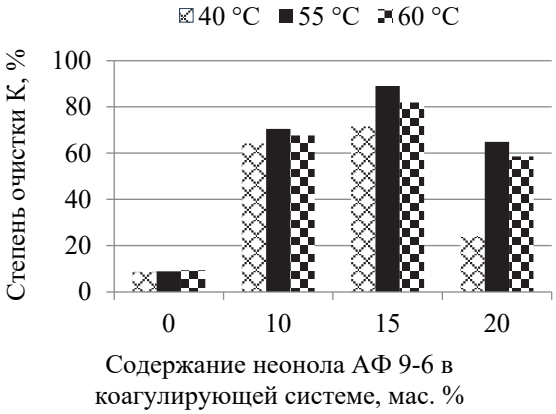

Рис. 2. Зависимость степени очистки отработанного масла от содержания неонола в коагулянте

Механические примеси, содержащиеся в масле, рассеивают свет в видимой области спектра. Для оценки рассеивания в интервале длин волн от 400 до 550 нм проводили аппроксимацию спектров формулой [16]:

$$I = k \cdot \lambda^{-m}, \qquad (2)$$

где k – коэффициент, зависящий от материала частиц, их количества, формы и размера; m – показатель, зависящий только от размера частиц.

Результаты сравнения показателя m, определенного по спектрам, и среднего диаметра частиц механических примесей представлены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика частиц механических примесей в отработанном и очищенных маслах

Образец	m	Средний диаметр, мкм
Чистое масло	8,02	4,55
Отработанное масло	1,32	14,90
Очищенное масло, полученное в результате очистки коагулянтом, содержащим:		
10 мас. % неонола	1,39	14,41
15 мас. % неонола	2,15	12,07
20 мас. % неонола	1,44	14,17

Для сопоставительного анализа в отработанном и очищенных маслах анализировали диаметр частиц механических примесей микроскопическим методом по ГОСТ ИСО 4407–2006 «Чистота промышленная. Определение загрязненности жидкости методом счета частиц с помощью оптического микроскопа». Суть метода заключается в определении степени загрязненности твердыми частицами масел путем подсчета частиц на поверхности мембранного фильтра. В качестве фильтрующего элемента использовали мембранный фильтр FilterBio PTFE Membrane Filer с размером пор 0,45 мкм. Равные объемы масел разбавляли 20-кратным избытком гексана и фильтровали. После испарения растворителя изучали поверхность фильтра на равномерность распределения частиц без перекрытия. В случае перекрытия частиц друг другом проводили дополнительное разбавление исходной пробы. Изучали не менее 10 областей фильтра равного размера (1,27 мм × 0,97 мм), после чего подсчитывали количество и размер частиц в каждой области. Рассчитывали средний диаметр частиц по следующей формуле [17]:

$$d_{\text{ср}} = \frac{\sum d}{n}, \qquad (3)$$

где $d_{\text{ср}}$ – средний диаметр частиц, мкм; $\sum d$ – сумма диаметров частиц, мкм; n – число частиц.

В табл. 2 представлен средний диаметр частиц исследуемых образцов, полученных в результате очистки отработанного масла при температуре 55°С и коагулирующими системами *2*, *3* и *4*.

Масло до эксплуатации имеет средний диаметр частиц около 5 мкм и показатель m, характеризующий размер частиц, составляет 8,02. После эксплуатации масла, т. е. в отработанном масле, увеличивается средний диаметр (14,90) частиц по сравнению с маслом до эксплуатации и, соответственно, показатель m уменьшается до 1,32. В очищенном масле, полученном в результате очистки коагулянтом, содержащим 10 и 20 мас. % неонола АФ 9-6 (системы *2* и *4*), средний диаметр частиц снижается (до 14,41 и 14,17 мкм) незначительно по сравнению с отработанным маслом, соответственно, показатель m увеличивается не сильно (1,39 и 1,44). В случае применения системы *3*, содержащей 15 мас. % неонола, средний диаметр частиц составляет 12,07 мкм и показатель m возрастает до 2,15. Для оценки эффективности коагуляции было проанализировано распределение частиц по количеству и их размерам (рис. 3). В отработанном масле преобладают частицы механических примесей размером до 15 мкм. При коагуляционной очистке масел независимо от состава коагулирующей системы средний размер механических примесей не меняется, но наблюдается снижение их числа.

Применение коагулирующей системы *2* приводит к уменьшению числа частиц в 1,7 раза по сравнению с отработанным маслом. В случае применения системы *3* число частиц снижается в 4,5 раза

по сравнению с отработанным маслом. Повышение содержания неонола до 20 мас. % в системе *4* приводит к уменьшению числа частиц в 1,2 раза.

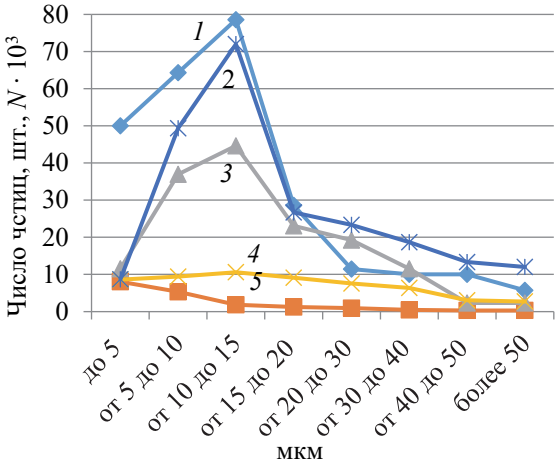

Рис. 3. Распределение частиц механических примесей по размерам в маслах:
1 – отработанное масло; *5* – чистое масло, при температуре очистки 55°С и содержании неонола в коагулянте: *2* – 20 мас. %; *3* – 10 мас. %; *4* – 15 мас. %

Заключение. Показано, что для оценки эффективности очистки масла могут использоваться оптические методы исследования. Установлено, что содержание загрязнителей (продуктов окисления, полиароматических углеводородов) можно оценить по видимому спектру отработанного масла. Показано, что в процессе очистки отработанного масла методом оптической спектроскопии снижается содержание продуктов окисления, что подтверждается снижением оптической плотности. Определено, что наибольшей эффективностью обладает коагулирующая система, содержащая 15 мас. % неонола и 5 мас. % сульфата натрия, вне зависимости от температуры очистки. Наименьшая оптическая плотность очищенного масла наблюдается в случае использования коагулянта, содержащего неонол АФ 9-6 в количестве 15 мас. %, при температуре 55°С (0,1489). Предложен способ оценки степени очистки отработанного масла по изменению оптической плотности до и после очистки. Показано, что применение коагулянта, содержащего 15 мас. % неонола, приводит к наибольшему снижению числа частиц механических примесей по сравнению с отработанным маслом. Установлено, что наибольшее снижение содержания продуктов окисления и механических примесей наблюдается в случае применения коагулянта, содержащего 15 мас. % неонола и 5 мас. % сульфата натрия.

Список литературы

1. Шилин Б. И. Причины обводнения моторного масла при эксплуатации двигателей транспортно-технологических машин лесного комплекса // Механика и машиностроение. 2017. № 48. С. 20–23.

2. Храмцов Н. В., Королев А. Е. Старение моторного масла // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. Вып. 4. С. 134–138.

3. Методы выявления возможных причин потери моторным маслом рабочих характеристик / М. Е. Федосова [и др.] // Труды НГТУ имени Р. Е. Алексеева. 2014. № 4. С. 267–272.

4. Булавка Ю. А., Мелешко А. В. Анализ эффективности экспресс-тестов для определения срока замены отработанного моторного масла // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. 2023. № 1. С. 100–107. DOI: 10.52928/2070-1616-2023-47-1-100-107.

5. Пресняков В. А., Каминский Н. С., Петренко С. С. Обоснование периодичности замены моторных масел при эксплуатации автомобиля // Успехи современной науки и образования. 2016. Т. 3, № 6. С. 115–117.

6. Суфиянов Р. Ш. Периодичность замены моторных масел // Colloquium-Journal. 2019. № 6–2 (30). С. 62–63.

7. Контроль процессов старения моторных масел по изменению их оптических свойств / Б. И. Ковальский [и др.] // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2019. Т. 85, № 11. С. 41–44.

8. Муратаева Г. А., Козлов В. К., Туранов А. Н. О влиянии дисперсионно-коллоидных процессов на спектры видимого диапазона трансформаторного масла // Проблемы энергетики. 2010. № 9–10. С. 66–71.

9. Корнева И. П., Синявский Н. Я., Кострикова Н. А. Исследование судовых моторных масел с продуктами износа оптическими методами // Морские интеллектуальные технологии. 2022. № 4, ч. 3. С. 72–78.

10. Зеер В. А., Биянов С. Д., Павин А. Ю. Результаты исследования отработанных частично синтетических и синтетических моторных масел // Фундаментальные исследования. 2016. № 12. С. 971–979.

11. Синявский Н. Я., Корнева И. П., Кострикова Н. А. Спектры отражения видимого диапазона и колориметрия судовых моторных масел // Морские интеллектуальные технологии. 2024. № 3, ч. 1. С. 131–137. DOI: 10.37220/MIT.2024.65.3.033.

12. Кизеветтер Д. В., Резник А. С. Метод измерения спектральных характеристик технических масел // Оптический журнал. 2016. Т. 83, № 5. С. 36–42.

13. Фотометрическое определение концентрации примесей в отработанной масле / И. В. Морозов [и др.] // Аграрный вестник Верхневолжья. 2016. № 1 (14). С. 61–65.

14. Долгов В. В., Ованесов Е. Н., Щетникович К. А. Фотометрия в лабораторной практике. М.: РМАПО, 2004. 142 с.

15. Инновационное развитие науки: фундаментальные и прикладные проблемы / А. С. Анацкая [и др.]. Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2021. 412 с.

16. Влияние молекулярного поглощения и дисперсно-коллоидного рассеяния на спектры видимого диапазона трансформаторных масел / В. К. Козлов [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. 2025. № 2 (152). С. 1–9.

17. Домкин К. И., Трусов В. А., Гусев А. М. Физические основы измерения размера частиц // Надежность и качество: труды Междунар. симпоз. 2011. Т. 2. С. 256–259.

References

1. Shilin B. I. The reasons for the watering of engine oil during the operation of engines of transport and technological machines of the forest complex. *Mekhanika i mashinostroyeniye* [Mechanics and mechanical engineering], 2017, no. 48, pp. 20–23 (In Russian).

2. Hramcov N. V., Korolev A. E. Aging of engine oil. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskiye nauki* [News of TulSU. Technical sciences], 2014, vol. 4, pp. 134–138 (In Russian).

3. Fedosova M. E., Fedosov A. E., Berdnikov L. A., Il'yanov S. V., Gorbunov K. A., Shishkin A. I. Methods for identifying possible causes of loss of performance characteristics by engine oil. *Trudy NGTU imen. R. E. Alekseyeva* [Proceedings of the NSTU named after R. E. Alekseev], 2014, no. 4, pp. 267–272 (In Russian).

4. Bulavka Yu. A., Meleshko A. V. Analysis of the effectiveness of rapid tests to determine the replacement period of used engine oil. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Polotsk State University], series B, 2023, no. 1, pp. 100–107. DOI: 10.52928/2070-1616-2023-47-1-100-107 (In Russian).

5. Presnyakov V. A., Kaminskij N. S., Petrenko S. S. Justification of the frequency of engine oil replacement during vehicle operation. *Uspekhi sovremennoy nauki i obrazovaniya* [The successes of modern science and education], 2016, vol. 3, no. 6, pp. 115–117 (In Russian).

6. Sufiyanov R. Sh. Frequency of engine oil replacement. *Colloquium-Journal*, 2019, no. 6–2 (30), pp. 62–63 (In Russian).

7. Kovalsky B. I., Vereshchagin V. I., Shram V. G., Bezborodov Yu. N., Sokolnikov A. N. Monitoring of aging processes in motor oils by changing their optical properties. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov* [Industrial laboratory. Diagnostics of materials], 2019, vol. 85, no. 11, pp. 41–44. DOI: 10.26896/1028-6861-2019-85-11-41-44 (In Russian).

8. Murataeva G. A., Kozlov V. K., Turanov A. N. On the effect of dispersion-colloidal processes on the spectra of the visible range of transformer oil. *Problemy energetiki* [Energy problems], 2010, no. 9–10, pp. 66–71 (In Russian).

9. Korneva I. P., Sinyavskij N. Ya., Kostrikova N. A. Investigation of marine engine oils with wear products by optical methods. *Morskiye intellektual'nyye tekhnologii* [Marine intelligent technologies], 2022, no. 4 (3), pp. 72–78 (In Russian).

10. Zeer V. A., Biyanov S. D., Pavin A. Yu. The results of the study of used partially synthetic and synthetic motor oils. *Fundamental'nyye issledovaniya* [Basic research], 2016, no. 12, pp. 971–979 (In Russian).

11. Sinyavskij N. Ya., Korneva I. P., Kostrikova N. A. Visible range reflection spectra and colorimetry of marine engine oils. *Morskiye intellektual'nyye tekhnologii* [Marine intelligent technologies], 2024, no. 3 (1), pp. 131–137. DOI: 10.37220/MIT.2024.65.3.033 (In Russian).

12. Kizevetter D. V., Reznik A. S. Method of measuring the spectral characteristics of technical oils. *Opticheskiy zhurnal* [Optical Journal], 2016, vol. 83, no. 5, pp. 36–42 (In Russian).

13. Morozov I. V., Pahotin N. E., Osadchaya T. Yu., Osadchij Yu. P., Markelov A. E. Photometric de-termination of the concentration of impurities in waste oil. *Agrarnyy vestnik Verkhnevolzh'ya* [Agrarian Bulletin of the Upper Volga region], 2016, vol. 83, no. 1 (14), pp. 61–65 (In Russian).

14. Dolgov V. V., Ovanesov E. N., Shchetnikovich K. A. *Fotometriya v laboratornoy praktike* [Photometry in laboratory practice]. Moscow, RMAPO Publ., 2004. 142 p. (In Russian).

15. Anatskaya A. S., Arganchieva D. B., Akhmedov A. T., Bardin V. S., Belousov O. N., Valiullina D. M., Velichko A. I., Giniatullin R. A., Dadayan E. V., Dotsenko Yu. V., Dudenkova N. A., Egorov B. D., Zhdanova Yu. S., Zhigailova L. V., Zagoruiko I. Yu., Ilyasova Yu. K., Kakhkhorov A., Kozlov V. K., Kotova E. G., Kuzmenko V. A., Kurochkina A. V., Lineva E. A., Malozemov O. Yu., Megrikyan I. G., Nefedov A. R., Nefedova Yu. V., Ovchinnikova I. V., Ovchinnikova M. V., Ponikarova V. N., Pchelintswva E. V., Remezova I. P., Romanova T. A., Saakova K. R., Savelyeva E. B., Safaraliev N. E., Storozheva A. N., Terekhova O. N., Tikhonova I. V., Turmova E. P., Chagina E. A., Chistyakova O. V., Shubina O. S., Shumilo V. D., Glushchenko V. V. *Innovatsionnoye razvitiye nauki: fundamental'nyye i prikladnyye problemy* [Innovative development of science: fundamental and applied problems]. Petrozavodsk, MTsNP "Novaya nauka" Publ., 2021. 412 p. (In Russian).

16. Kozlov V. K., Valiullina D. M., Giniatullin R. A., Minegaliev I. M. Influence of molecular absorption and disperse-colloidal scattering on the visible range spectra of transformer oil. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Scientific Research Journal], 2025, vol. 2 (152), pp. 1–9 (In Russian).

17. Domkin K. I., Trusov V. A., Gusev A. M. The physical basis of particle size measurement. *Nadezhnost' i kachestvo: trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma* [Reliability and Quality: proceedings of the International symposium], 2011, vol. 2, pp. 256–259 (In Russian).

Информация об авторах

Жолнеркевич Вероника Игоревна – аспирант кафедры нефтегазопереработки и нефтехимии. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: zholnerkevichv@mail.ru

Шрубок Александра Олеговна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры нефтегазопереработки и нефтехимии. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: shrubok@belstu.by

Information about the authors

Zholnerkevich Veronika Igorevna – PhD student, the Department of Oil and Gas Processing and Petrochemistry. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: zholnerkevichv@mail.ru

Shrubok Aliaksandra Olegovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Oil and Gas Processing and Petrochemistry. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shrubok@belstu.by

Поступила 01.04.2025