

# Изменение диэлектрических характеристик моторного масла в процессе эксплуатации

А.М. Науменко<sup>а</sup>, Д.А. Темкин

Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь

E-mail: <sup>а</sup>andrew.navumenka@gmail.com

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследования относительной диэлектрической проницаемости и тангенса диэлектрических потерь, кинематической вязкости моторного масла. В качестве объекта исследования использованы образцы моторных масел Eni i-Sint MS 5W-30, Elf Evolution 900 SXR 5W-40, Лукойл Люкс 10W-40 SL/CF. Для исследования диэлектрических свойств материалов разработан и изготовлен измерительный конденсатор с открытой областью пространства. Установлено, что в результате эксплуатации кинематическая вязкость изменилась на 10,1–21,9 %, относительная диэлектрическая проницаемость увеличилась на 5,9–16,7 %, тангенс диэлектрических потерь уменьшился на 23,7–45,3 %. Полученные рекомендации используются для реализации диэлектрического метода диагностики степени износа моторного масла.

**Ключевые слова:** электроемкостной преобразователь, относительная диэлектрическая проницаемость, тангенс диэлектрических потерь, моторное масло, кинематическая вязкость.

## Changing the Dielectric Characteristics of the Engine Oil During Operation

A. Navumenka<sup>а</sup>, D. Tsiomkin

Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus

E-mail: <sup>а</sup>andrew.navumenka@gmail.com

**Annotation.** The article presents the results of a study of the relative dielectric constant and the dielectric loss tangent, the kinematic viscosity of engine oil. The samples of Eni i-Sint MS 5W-30, Elf Evolution 900 SXR 5W-40, Lukoil Lux 10W-40 SL/CF engine oils were used as the object of research. The measuring capacitor with an open area of space has been developed and manufactured. As a result of operation, the kinematic viscosity changed by 10,1 – 21,9 %, the relative dielectric constant increased by 5,9 – 16,7 %, the dielectric loss tangent decreased by 23,7 – 45,3 %. The recommendations obtained were used to implement a dielectric method for diagnosing the condition of engine oil.

**Key words:** electric capacity converter, dielectric constant, dielectric loss tangent, engine oil, kinematic viscosity.

### ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения правильной работы, долговечности и надежности современного промышленного оборудования используются смазочные и технологические масла, смазочно-охлаждающие жидкости.

Все эти продукты должны быть максимально качественными и правильно подобранными для устройств, в том числе по параметрам вязкости. Задачей производителей данного вида ассортимента является улучшение свойств смазочных материалов. Это необходимое действие в связи с постоянным повышением требований современных технологий, а также международных норм и стандартов.

В процессе эксплуатации двигателя внутренне-го сгорания условия работы смазки в его различных узлах и сопряжениях неодинаковы. Моторное масло

постоянно подвергается перепадам тепловых и механических нагрузок. Давление на масляную пленку между стенкой цилиндра и поршневыми кольцами может меняться в пределах от 0,15 до 1,3 МПа, при этом скорость поршня достигает 15 м/с. В механизме газораспределения давление на масляную пленку может достигать более 2,0 МПа [1].

Температура масляной пленки на рабочих поверхностях цилиндра достигает 300 °С, в подшипниках коленчатого вала – 120 °С, а в картере – 100 °С. Все это способствует интенсификации процессов механической, гидродинамической, гидромеханической, термодинамической и химической деструкции в моторном масле, а, следовательно, приведет к срабатыванию присадок в нем и разрушению масляной основы. В связи с этим обеспечение

рациональной периодичности смены масла в ДВС имеет большое экономическое значение, что делает этот вопрос актуальным как для науки, так и производства [1].

Целью данной работы является исследование изменения относительной диэлектрической проницаемости, тангенса диэлектрических потерь, кинематической вязкости моторного масла в процессе эксплуатации. Полученные зависимости позволят повысить точность диагностики степени износа моторного масла.

Вопросу изменения рабочих параметров моторного масла в процессе эксплуатации транспортных средств посвящено множество научных работ.

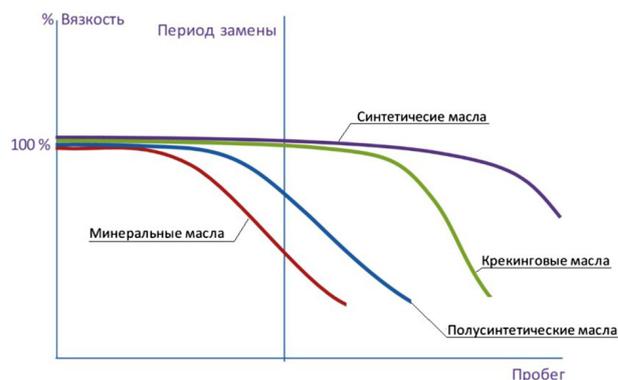
В работе [2] рассмотрен вопрос влияния изменения вязкостных свойств моторных масел на работу деталей двигателя. Высокий износ поршневых колец автомобильного двигателя наблюдался при вязкости масла меньше  $12,5 \text{ мм}^2/\text{с}$ . Для обеспечения минимального износа деталей двигателя рекомендовано использовать масла большей вязкости за счет применения вязкостных присадок. Вязкостными присадками называются такие вещества, которые при смешении с маловязкими маслами значительно увеличивают их вязкость при положительных температурах и не оказывают существенного влияния при отрицательных.

В работе [3] исследовано изменение вязкости моторного масла при одновременном накоплении примесей, смешивании масла с дизельным топливом. При разжижении масла топливом вязкость начинает понижаться, повышение содержания смолы, сажи в масле увеличивают ее вязкость. Для оценки технического состояния двигателя внутреннего сгорания рекомендовано контролировать изменение вязкости и температуры вспышки масла.

В работе [4] экспериментально установлено, что при окислении моторных масел на минеральной и частично синтетической основах в начале процесса индекс вязкости увеличивается, а с увеличением концентрации продуктов окисления он подвержен колебаниям с сохранением тенденции увеличения.

На рисунке 1 показана теоретическая зависимость изменения вязкости моторного масла от пробега транспортного средства. Критическая потеря рабочих свойств у синтетического масла наступает при значительно большем пробеге.

В работе [5] исследование проб моторного масла Kixx 5W-30 показало, что при достижении пробега 7000 км вязкость уменьшилась более чем на 20 %, температура вспышки уменьшилась на  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  при 5000 км пробега, кислотное число при 10000 км пробега увеличилось в 2 раза. Проведенные исследования моторных масел показали, что их эксплуатационные свойства ухудшились раньше, чем гарантируют производители. Поэтому для увеличения надежности двигателя необходимо контролировать состояние качества масел, и на основании этого корректировать сроки его замены.



**Рисунок 1 – Теоретическая зависимость изменения вязкости моторного масла от пробега транспортного средства**

В работе [6] показано, что регистрация изменений диэлектрической проницаемости позволяет проводить постоянный мониторинг за изменением состояния автомобильного масла в процессе эксплуатации автомобиля, своевременно осуществлять его замену.

В работе [7] разработана конструкция портативного измерителя импеданса на базе микросхем AD5933 и ESP32. Установлено, что относительная диэлектрическая проницаемость образцов отработанного масла на 1,5–4,5 % больше данного показателя нового масла. Экспериментально подтверждена целесообразность применения разработанного измерителя импеданса для диагностики состояния моторных масел.

Таким образом, совершенствование методов и средств диагностики состояния моторных масел является актуальным направлением повышения эффективности эксплуатации транспортных средств.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования использованы образцы моторных масел:

1. Eni i-Sint MS 5W-30 – синтетическое моторное масло класса «Mid SAPS» для бензиновых и дизельных двигателей автомобилей со спецификацией ACEA C2.
2. Elf Evolution 900 SXR 5W-40 – синтетическое моторное масло для бензиновых и дизельных двигателей автомобилей со спецификацией ACEA A3/B3.
3. Лукойл Люкс 10W-40 SL/CF – всесезонное полусинтетическое моторное масло для современных высокофорсированных бензиновых и дизельных двигателей с наддувом автомобилей со спецификацией ACEA A3/B3.

Характеристики масел представлены в таблице 1.

В работе проведено исследование образцов нового и отработанного моторного масла. Отбор проб отработанного моторного масла Eni i-Sint MS 5W-30, Elf Evolution 900 SXR 5W-40 осуществлялся при

достижении пробега 7000 км, Лукойл Люкс 10W-40 SL/CF – 15000 км.

Для исследования диэлектрических свойств материалов сотрудниками кафедры автоматизации производственных процессов Витебского государственного технологического университета разработан и изготовлен измерительный конденсатор с открытой областью пространства, чертеж которого

представлен на рисунке 2. Черным цветом указаны не металлизированные области сенсора, размеры указаны в мм. Конденсатор находится в экранированном корпусе (экран Фарадея) для исключения погрешности, вызванной внешним электромагнитным полем. Электроды вытравливали на одностороннем фольгированном СТФ толщиной 0,8 мм. Толщина медного покрытия составляет 35 мкм.

Таблица 1 – Характеристики исследуемых масел

Характеристика	Eni i-Sint MS 5W-30	Elf Evolution 900 SXR 5W-40	Лукойл Люкс 10W-40 SL/CF
Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	854,0	855,0	873
Вязкость при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с	68,8	90,0	95,0
Вязкость при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с	12,1	14,7	14,2
Индекс вязкости	170,0	172,0	157,0
Температура застывания, °С	-33,0	-42,0	-34,0
Температура вспышки, °С	240,0	230,0	223,0
Щелочное число, мгКОН/г	7,0	10,0	8,1

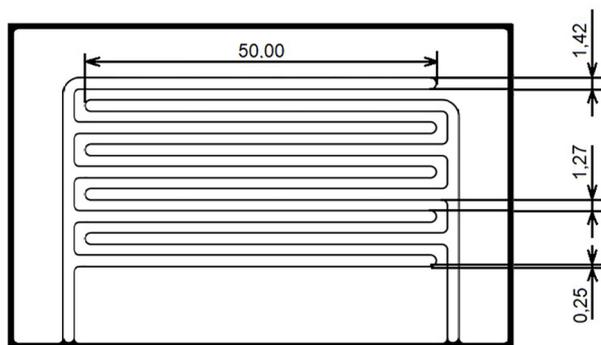


Рисунок 2 – Чертеж измерительного конденсатора

Измерения проводились с помощью лабораторного измерителя иммитанса E7-20 производства ОАО «МНИПИ» (Республика Беларусь) в диапазоне частот от 500 Гц до 200 кГц. Характеристики измерителя иммитанса E7-20: диапазон измерения емкости 10–15 – 1 Ф, тангенс диэлектрических потерь 0,0001 – 1, погрешность измерения ± 0,1 %, рабочие частоты 25 Гц – 1 МГц. Объем пробы образца составляет 100 мл. Проведено исследование 10 проб для каждого образца. Значение тангенса диэлектрических потерь образца измеряется непосредственно измерителем иммитанса E7-20. Относительная диэлектрическая проницаемость рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon = C_i / C_0, \quad (1)$$

где  $C_i$  – емкость измерительного конденсатора, погруженного в исследуемую среду, пФ;  $C_0 = 0,835$  пФ – емкость измерительного конденсатора в воздухе.

Для измерения вязкости использовался ротационный вискозиметр RM100 PLUS с программированием скорости, поддержкой различных типов измерительных систем и устройств термостатирования. Характеристики ротационного вискозиметра RM100 PLUS: диапазон измерения вязкости от 1 до 780\*106 мПа\*с, погрешность измерения ± 1 %, повторяемость результатов ± 0,2 %. Продолжительность одного испытания составляет 120 с. Для испытаний применялся мерный цилиндр МК-SV421, совместимая камера MB-SV13R. Объем пробы образца составляет 13 мл. Проведено испытание 15 проб для каждого образца.

**АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ**

Результаты измерения диэлектрических свойств образцов моторного масла представлены на рисунках 3, 4.

Получена зависимость относительной диэлектрической проницаемости образцов моторного масла от частоты электрического поля. Установлено:

- значение относительной диэлектрической проницаемости уменьшается с ростом частоты электрического поля. На частоте 500 Гц значение относительной диэлектрической проницаемости больше на 3,8–6,2 %, чем на частоте 200 кГц;
- значение относительной диэлектрической проницаемости образцов отработанного моторного масла больше, чем у образцов нового моторного масла. Для образцов масла Eni 5W-30 больше в среднем на 5,9 %, Elf 5W-40 – на 7,4 %, Лукойл 10W-40 – на 16,7 %. Более высокое значение относительной диэлектрической проницаемости образцов отработанного моторного масла Лукойл 10W-40 связано с

более длительным сроком эксплуатации.

Получена зависимость тангенса диэлектрических потерь образцов моторного масла от частоты электрического поля. Установлено:

– значение тангенса диэлектрических потерь значительно уменьшается с ростом частоты электрического поля. На частоте 500 Гц значение относительной диэлектрической проницаемости образцов нового масла больше в 23,7–11,9 раз, чем на частоте

200 кГц, образцов отработанного масла – больше в 12,0–7,8 раз.

– значение тангенса диэлектрических потерь образцов отработанного моторного масла меньше, чем у образцов нового моторного масла. Для образцов масла Eni 5W-30 меньше в среднем на 45,3 %, Elf 5W-40 – на 31,8 %, Лукойл 10W-40 – на 23,7 %.

Результаты измерения вязкости представлены в таблице 2.

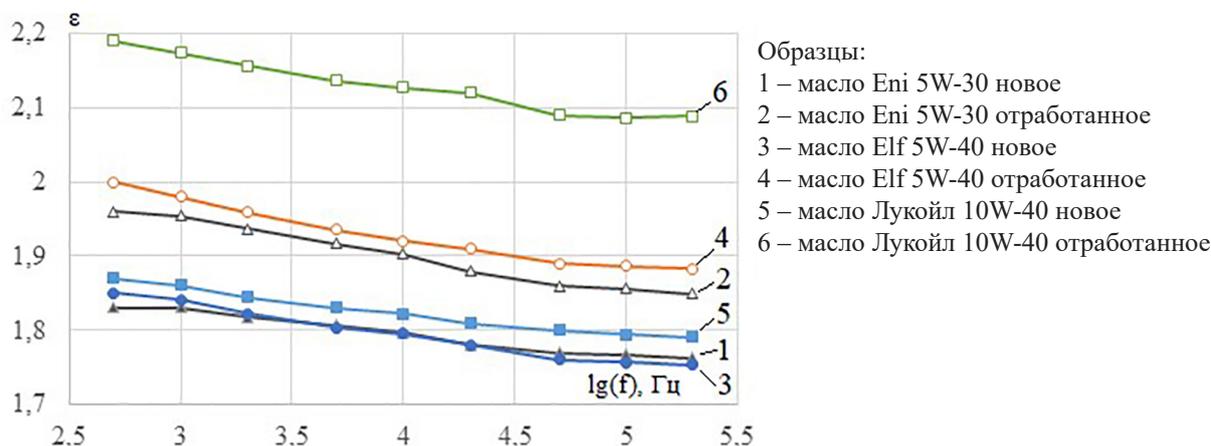


Рисунок 3 – Зависимость относительной диэлектрической проницаемости образцов моторного масла от частоты электрического поля

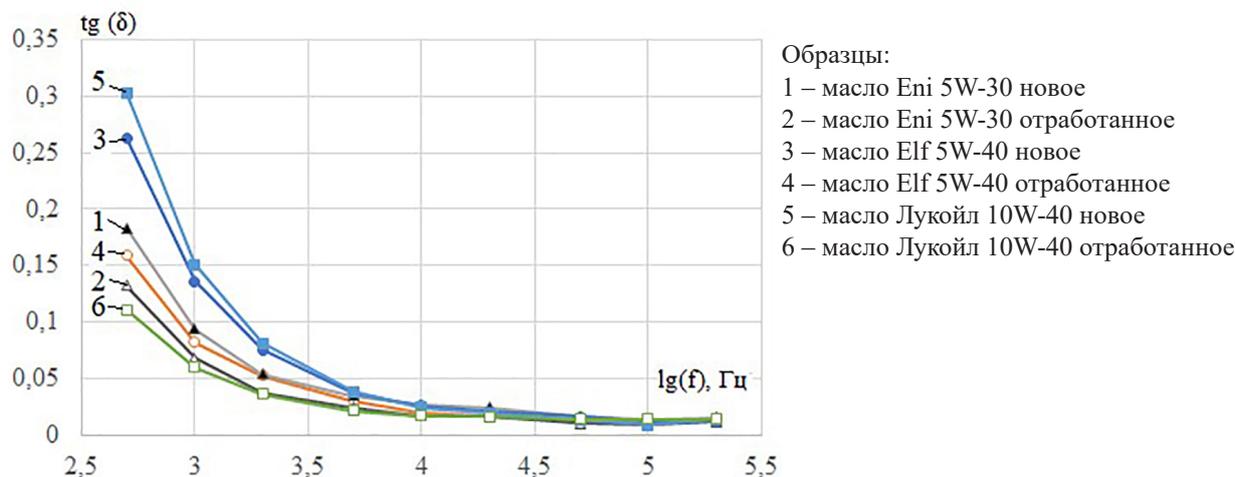


Рисунок 4 – Зависимость тангенса диэлектрических потерь образцов моторного масла от частоты электрического поля

Таблица 2 – Результаты измерения кинематической вязкости исследуемых масел

Наименование образца	Eni i-Sint MS 5W-30	Elf Evolution 900 SXR 5W-40	Лукойл Люкс 10W-40 SL/CF
Новое масло, мПа*с	61,68 ± 2,53	74,19 ± 1,91	81,07 ± 3,9
Отработанное масло, мПа*с	70,48 ± 2,96	60,86 ± 1,82	89,25 ± 2,8

Установлено, что в результате эксплуатации кинематическая вязкость моторного масла Eni 5W-30 уве-

личилась на 14,3 %, масла Elf 5W-40 уменьшилась на 21,9 %, масла Лукойл 10W-40 увеличилась на 10,1 %.

**ВЫВОДЫ**

Проведенные исследования показали, что при длительной эксплуатации ухудшаются вязкостно-температурные свойства масла, что в свою очередь может привести к износу рабочих деталей, ухудшить технико-экономические показатели транспортного средства.

Моторное масло по причине естественных химических и физических возрастных тенденций более предрасположено к росту вязкости (образцы Еп1 5W-30, Лукойл 10W-40). Значительно реже наблюдается снижение вязкости масла (образец Elf 5W-40), что связано с явлением, называемым «термическим крекингом». Если в процессе полимеризации происходит склеивание друг с другом многих подобных органических компонентов, в результате которого в моторном масле возникает новый компонент с более высокой вязкостью, то сутью термического крекинга моторного масла в двигателе автомобиля является процесс разрушения

некоторых компонентов моторного масла на более мелкие части. Образующиеся части имеют более низкую вязкость.

Изменение кинематической вязкости эксплуатируемого масла не должно превышать 20 % от вязкости нового масла.

Значение относительной диэлектрической проницаемости увеличивается при увеличении срока эксплуатации моторного масла. При увеличении относительной диэлектрической проницаемости на 10 % от исходного значения, необходимо провести замену моторного масла.

Значение тангенса диэлектрических потерь уменьшается при увеличении срока эксплуатации моторного масла. При уменьшении тангенса диэлектрических потерь на 25 % от исходного значения, необходимо провести замену моторного масла.

Полученные рекомендации используются для реализации диэлектрического метода диагностики степени износа моторного масла.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Долгова, Л. А. Обеспечение рационального ресурса моторного масла в двигателях / Л. А. Долгова, В. В. Салмин // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. – 2012. – № 2 (74). – С. 46–56.
2. Алимова, З. Х. Влияние изменения вязкостных показателей моторных масел на работу деталей двигателя / З. Х. Алимова, Х. И. Даулетбаева // E Conference Zone. – Нью-Йорк, 2022. – С. 37–40.
3. Изменение вязкости моторного масла как показатель технического состояния двигателя внутреннего сгорания и свойств смазочного материала / Остриков В. В. [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12. – №. 3. – С. 54–61.
4. Метод контроля влияния процессов окисления и температурной деструкции на изменение индекса вязкости моторных масел / Б. И. Ковальский [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2015. – №. 8. – Ч. 2. – С. 109–115.
5. Вишняков А. В. Результаты исследования изменения эксплуатационных характеристик моторных масел на бензиновых двигателях / А. В. Вишняков, Л. А. Бердников // Современная техника и технологии. – 2015. – №. 10. – С. 33–37.
6. Электрофизический метод контроля параметров автомобильных масел / И. А. Карпович [и др.] // Материалы 11-ой Международной научно-технической конференции «Приборостроение – 2018», 14–16 ноября 2018 года, Минск, Республика Беларусь / редкол.: О.К. Гусев (председатель) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 199–201.
7. Исследование относительной диэлектрической проницаемости моторного масла с использованием портативного измерителя импеданса / А. А. Джежора [и др.] // Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2022) = International conference on textile and apparel innovation (ICTAI 2022) : материалы докладов международной научно-технической конференции, 23–24 ноября 2022, Витебск, Республика Беларусь / – Витебск: ВГТУ, 2022. – С. 109–112.

**REFERENCES**

1. Dolgova, L. A. Providing Rational Resource of Engine Oil in Engines / L. A. Dolgova, V. V. Salmin // Bulletin of the Chuvash State Pedagogical University named after I. Yakovleva. – 2012. – № 2 (74). – P. 46–56.
2. Alimova, Z. H. The Influence of Changes in the Viscosity Parameters of Motor Oils on the Performance of Engine Parts / Z. H. Alimova, H. I. Dauletbaeva // E Conference Zone. – New York, 2022. – P. 37–40.
3. Engine Oil Viscosity Fluctuations as an Indicator of Technical Condition of Internal Combustion Engine and Lubricant Properties / V. V. Ostrikov [et al.] // Bulletin of Voronezh State Agrarian University. – 2019. – Vol. 12, № 3. – P. 54–61.

4. Method for Monitoring the Influence of Oxidation Processes and Temperature Destruction on Changes in the Viscosity Index of Motor Oils / B. I. Kowalski [et al.] // News of Tula State University. Technical science. – 2015. – Iss. 8, part 2. – P. 109–115.
5. Vishniakov, A. V. Results of Research of Change of Operating Descriptions of Motor Oils on Petrol Engines / A. V. Vishniakov, L. A. Berdnikov // Modern equipment and technologies. – 2015. – № 10. – P. 33–37.
6. Electrophysical Method for Monitoring the Parameters of Automotive Oils / I. A. Karpovich [et al.] // Materials of the 11th International Scientific and Technical Conference "Instrument Engineering – 2018", 14–16 november 2018, Minsk, The Republic of Belarus / editorial board: O. K. Gusev (chairman) [et al.]. – Minsk : BSTU, 2018. – P. 199–201.
7. Investigation of the Relative Permittivity of Engine Oil Using a Portable Impedance Meter / A. A. Dzhezhora [et al.] // International conference on textile and apparel innovation (ICTAI 2022) : materials of the reports of the international scientific and technical conference, 23–24 november 2022, Vitebsk, The Republic of Belarus. – Vitebsk : VSTU, 2022. – P. 109–112.

#### SPISOK LITERATURY

1. Dolgova, L. A. Obespechenie racional'nogo resursa motornogo masla v dvigatelyah / L. A. Dolgova, V. V. Salmin // Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. I. YA. YAKovleva. – 2012. – № 2 (74). – S. 46–56.
2. Alimova, Z. H., Vliyanie izmeneniya vyazkostnykh pokazatelej motornykh masel na rabotu detalej dvigatelya / Z. H. Alimova, H. I. Dauletbaeva // E Conference Zone. – N'yu-Jork, 2022. – S. 37–40.
3. Izmenenie vyazkosti motornogo masla kak pokazatel' tekhnicheskogo sostoyaniya dvigatelya vnutrennego sgoraniya i svoystv smazochnogo materiala / V. V. Ostrikov [i dr.] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2019. – T. 12, № 3. – S. 54–61.
4. Metod kontrolya vliyaniya processov okisleniya i temperaturnoj destrukcii na izmenenie indeksa vyazkosti motornykh masel / B. I. Koval'skij [i dr.] // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2015. – Vyp. 8, ch. 2. – S. 109–115.
5. Vishnyakov, A. V. Rezul'taty issledovaniya izmeneniya ekspluatatsionnykh harakteristik motornykh masel na benzinovykh dvigatelyah / A. V. Vishnyakov, L. A. Berdnikov // Sovremennaya tekhnika i tekhnologii. – 2015. – № 10. – S. 33–37.
6. Elektrofizicheskij metod kontrolya parametrov avtomobil'nykh masel / I. A. Karpovich [i dr.] // Materialy 11-oj Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii «Priborostroenie – 2018», 14–16 noyabrya 2018 g., Minsk, Respublika Belarus / redkol.: O. K. Gusev (predsedatel') [i dr.]. – Minsk : BNTU, 2018. – S. 199–201.
7. Issledovanie odnositel'noj dielektricheskoy pronicaemosti motornogo masla s ispol'zovaniem portativnogo izmeritelya impedansa / A. A. Dzhezhora [i dr.] // Innovacii v tekstile, odezhde, obuvi (ICTAI-2022) = International conference on textile and apparel innovation (ICTAI-2022) : materialy dokladov mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, 23–24 noyabrya 2022, Vitebsk, Respublika Belarus. – Vitebsk : VGTU, 2022. – S. 109–112.

Статья поступила в редакцию 17.01.2024.