

Изменение диэлектрических характеристик моторного масла в процессе эксплуатации

А.М. Науменко^а, Д.А. Темкин

Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь

E-mail: ^аandrew.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^а, D. Tsiomkin

Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus

E-mail: ^аandrew.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.

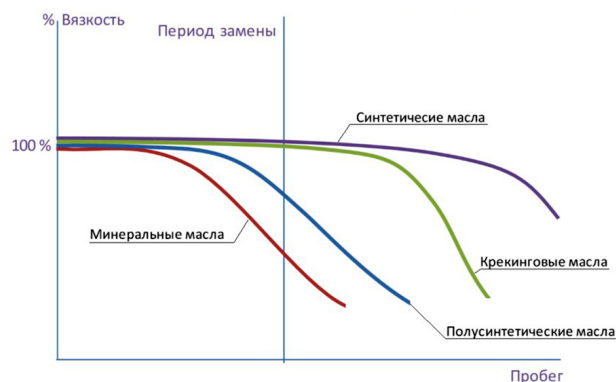


Рисунок 1 – Теоретическая зависимость изменения вязкости моторного масла от пробега транспортного средства

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 ³	854,0	855,0	873
Вязкость при 40 °С, мм ² /с	68,8	90,0	95,0
Вязкость при 100 °С, мм ² /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

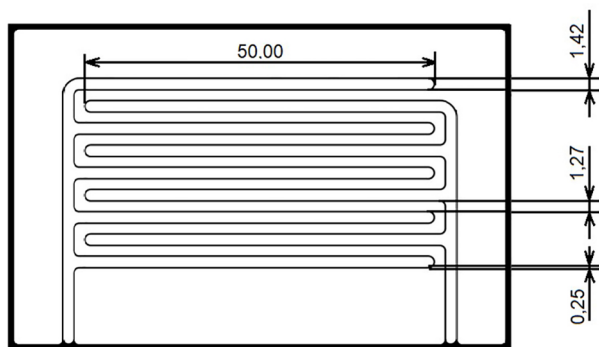


Рисунок 2 – Чертеж измерительного конденсатора

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:

$$\varepsilon = C_i / C_0, \tag{1}$$

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.

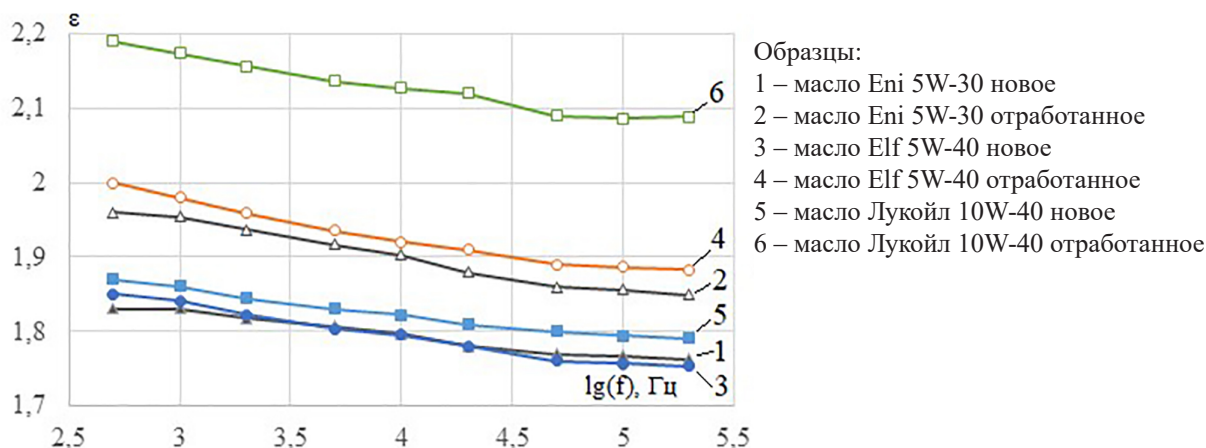


Рисунок 3 – Зависимость относительной диэлектрической проницаемости образцов моторного масла от частоты электрического поля

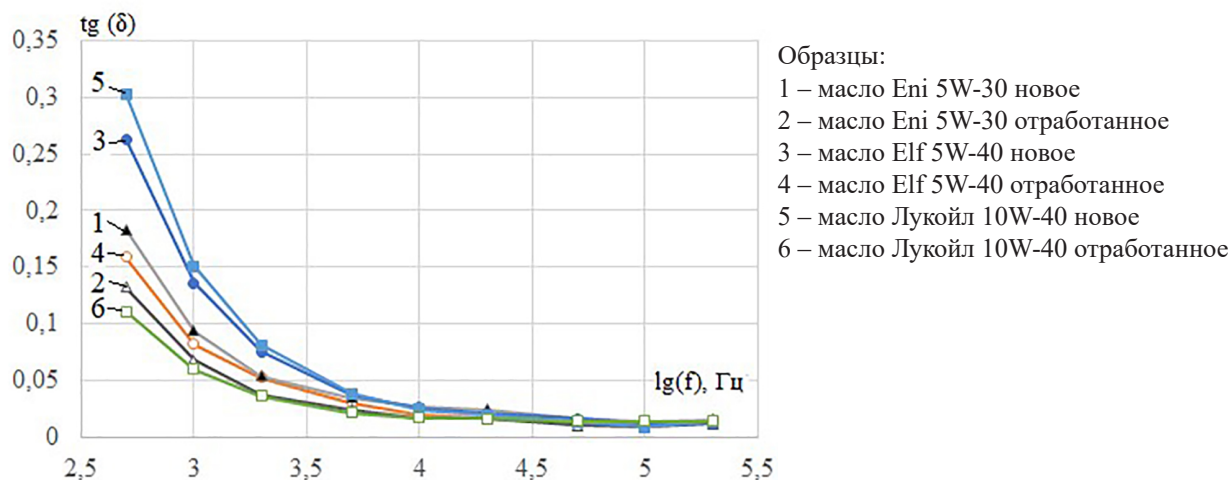


Рисунок 4 – Зависимость тангенса диэлектрических потерь образцов моторного масла от частоты электрического поля

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.