

Вестник БарГУ

Ежеквартальный научно-практический журнал

Издаётся с марта 2013 года
Выходит 2 раза в год

№ 1 (9), июнь, 2021

Серия «Технические науки»

Учредитель: учреждение образования
«Барановичский государственный университет».

Адрес редакции:
ул. Войкова, 21, 225404 г. Барановичи.
Телефон: +375 (163) 64 34 77.
E-mail: vestnik@barsu.by .

Подписные индексы: 00993 — для индивидуальных
подписчиков; 009932 — для организаций.
Свидетельство о регистрации средств массовой
информации № 1533 от 30.07.2012, выданное
Министерством информации Республики Беларусь.

В соответствии с приказом Высшей аттестационной
комиссии Республики Беларусь от 21 января 2015 г.
№ 16 научно-практический журнал «Вестник БарГУ»
серия «Технические науки» включён в Перечень
научных изданий Республики Беларусь для опублико-
вания результатов диссертационных исследований
по техническим наукам.

Научно-практический журнал «Вестник БарГУ»
включен в РИНЦ (Российский индекс научного
цитирования), лицензионный договор № 06-01/2016.

Выходит на русском и английском языках.
Распространяется на территории
Республики Беларусь.

Исполняющий обязанности заведующего
редакционно-издательской группой Н. Н. Колодко
Технический редактор Л. Н. Щербук
Компьютерная вёрстка С. М. Глушак
Корректор Н. Н. Колодко

Подписано в печать 31.05.2021. Формат 60 × 84 1/8.
Бумага ксероксная. Печать цифровая.
Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 10,75. Уч.-изд. л. 6,60.
Тираж 100 экз. Заказ . Цена свободная.

Полиграфическое исполнение: Гродненское
областное унитарное полиграфическое предприятие
«Слонимская типография». Свидетельство
о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/203 от 07.03.2014, № 2 от 25.02.2014.
Адрес: ул. Хлюпина, 16, 231800 г. Слоним,
Гродненская обл.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Кочурко В. И. (*гл. ред. журн.*), доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
академик Белорусской инженерной академии, академик Международной
академии технического образования, академик Международной академии наук
педагогического образования, академик Академии экономических наук Украины,
ректор учреждения образования «Барановичский государственный университет»
(Барановичи, Республика Беларусь).

Климук В. В. (*зам. гл. ред. журн.*), кандидат экономических наук, доцент,
проректор по научной работе учреждения образования «Барановичский
государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Алифанов А. В. (*гл. ред. сер.*), лауреат Государственной премии Республики
Беларусь в области науки и техники, доктор технических наук, профессор
(Барановичи, Республика Беларусь); Горбач Ю. Е. (*отв. секретарь сер.*)
(Барановичи, Республика Беларусь).

Леон О. В. (*ред. текстов на англ. яз.*), кандидат филологических наук
(Барановичи, Республика Беларусь).

Богданович И. А. (*отв. за направление «Машиностроение и машиноведение»*),
кандидат технических наук, доцент (Барановичи, Республика Беларусь);
Дубень И. В. (*отв. за направление «Процессы и машины агроинженерных
систем»*), кандидат технических наук (Барановичи, Республика Беларусь).

Анискович Г. И., кандидат технических наук, доцент (Минск, Республика
Беларусь); Белый А. В., член-корреспондент Национальной академии наук
Беларуси, доктор технических наук, профессор (Минск, Республика Бела-
русь); Гавриленя А. К., кандидат технических наук, доцент (Барановичи,
Республика Беларусь); Девойно О. Г., доктор технических наук, профессор
(Минск, Республика Беларусь); Дремук В. А., кандидат технических наук
(Барановичи, Республика Беларусь); Ивашко В. С., доктор технических наук,
профессор (Минск, Республика Беларусь); Калугин Ю. К., кандидат
технических наук, доцент (Гродно, Республика Беларусь); Карташевич А. Н.,
доктор технических наук, профессор (Горки, Республика Беларусь);
Клочков А. В., доктор технических наук, профессор (Горки, Республика
Беларусь); Клубович В. В., доктор технических наук, академик
Национальной академии наук Беларуси, профессор (Минск, Республика
Беларусь); Сиваченко Л. А., доктор технических наук, профессор (Могилев,
Республика Беларусь); Томило В. А., доктор технических наук, профессор
(Минск, Республика Беларусь); Шелег В. К., член-корреспондент
Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук,
профессор (Минск, Республика Беларусь).

BarSU Herald

A quarterly scientific and practical journal

Published since March 2013
It is published 2 times a year

1 (9), March, 2021

Engineering Series

Promoter: educational institution "Baranovichy State University".

Editorial address:
21 Voykova Str., 225404 Baranovichy.
Phone: +375 (163) 45 46 28.
E-mail: vestnik@barsu.by .

Subscription indices: 00993 — for individual subscribers;
009932 — for companies.
The certificate of the registration of mass media № 1533
of 30.07.2012 issued by the Ministry of Information
of Belarus.

In compliance with the order of the Higher Attestation
Commission of the Republic of Belarus from January 21,
2015 № 16 the scientific and practical journal "BarSU
Herald. Engineering Series" is included into the List of
scientific publications of the Republic of Belarus for
publishing the results of theses research on engineering
sciences (mechanical engineering and machines,
processes and machines of agroengineering systems).

Scientific-and-practical journal "BarSU Herald"
is included into RSCI (Russian Science Citation Index),
license agreement № 06-01/2016.

Issued in Russian and English. The journal is distributed
on the territory of the Republic of Belarus.

Interim managing editor N. N. Kolodko
Technical editor L. N. Scherbuk
Desktop Publishing S. M. Glushak
Proofreader N. N. Kolodko

Signed print 31.05.2021. Format 60 × 84 1/8. Paper xerox.
Digital printing. Headset Times. Conv. pr. s. l. 10,75.
Acc.-pub. s. l. 6,60. Circulation of 100 copies.
Order Free price.

Printing performance: Grodno Regional Printing Unitary
Enterprise "Slonim printing establishment". The state
registration certificate of the publisher, manufacturer and
publications distributor № 1/203 of 07.03.2014, № 2
of 25.02.2014. Address: 16 Hlyupin St., 231800 Slonim,
Grodno region.

EDITORIAL BOARD

Kochurko V. I. (*Editor-in-Chief*), Doctor of Agriculture, Professor, Member of the Belarusian Academy of Engineering, Member of the International Academy of Technical Education, Member of the International Academy of Pedagogical Education, Member of the Academy of Economic Sciences of Ukraine, Distinguished educator of the Republic of Belarus (Baranovichy, the Republic of Belarus).

Klimuk V. V. (*Deputy Editor-in-Chief*), Ph. D. in Economic Sciences, Associate Professor, (Baranovichy, the Republic of Belarus).

Alifanov A. V. (*Executive Editor of the Issue*), State-Prize Winner of the Republic of Belarus in Science and Technology, Doctor of Technical Sciences, Professor (Baranovichy, the Republic of Belarus).

Leon O. V., Ph. D in Philological Science (Baranovichy, the Republic of Belarus).

Bogdanovich I. A. (*in charge of the heading "Machine Building and Engineering Science"*), Ph. D of Technical Science, Associate Professor (Baranovichy, the Republic of Belarus); Duben I. V. (*in charge of the heading "Processes and Machines of Agro-engineering Systems"*), Ph. D. in Technical Sciences (Baranovichy, the Republic of Belarus).

Aniskovich G. I., Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Belarusian State Agrarian Technical University (Minsk, the Republic of Belarus); Bely A. V., A. M. of the National Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus); Gavrilena A. K., Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor (Baranovichy, the Republic of Belarus); Devoino O. G., Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus); Dremuk V. A., Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor (Baranovichy, the Republic of Belarus); Ivashko V. S., Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus); Kalugin Y. K., Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor (Grodno, the Republic of Belarus); Kartashevich A. N., Doctor of Technical Sciences, Professor (Gorki, the Republic of Belarus); Klochkov A. V., Doctor of Technical Sciences, Professor (Gorki, the Republic of Belarus); Klubovich V. V., Doctor of Technical Sciences, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Professor (Minsk, the Republic of Belarus); Sivachenko L. A., Doctor of Technical Sciences, Professor (Mogilev, the Republic of Belarus); Tomilo V. A., Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus); Sheleh V. K., A. M. of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

- Дударев В. А., Михальков А. Д., Михальков В. С., Сиваченко Л. А.** Исследование работы вертикальной вибрационной мельницы для измельчения строительных материалов
- Клочков А. В., Емельяненко А. А., Федосов К. С.** Параметры индукции при объемном расположении магнитов
- Милукова А. М., Матяс А. Н., Лях А. А., Горчанин А. И., Толкачева О. А., Хан Цзинь.** Исследование физико-механических свойств титанового сплава после магнитно-импульсной обработки
- Попок Н. Н., Портянко С. А., Тихон Е. М., Анисимов В. С.** Моделирование и регулирование стружкообразования и потоков смазочно-охлаждающей технологической среды при фрезеровании
- Потапов В. А., Сиваченко Л. А., Дремук В. А.** Исследование влияния режимов работы цепного агрегата на показатели процесса измельчения мела в технологии производства извести
- Романчук И. А., Голубев В. С., Веера И. И.** Особенности формирования упрочняющих покрытий при комплексной лазерной и плазменно-порошковой наплавке

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

- Бурдейко В. А., Ловкис В. Б.** Расчет щеток машины для сбора колорадского жука
- Зяц П. В., Казакевич П. П.** Результаты экспериментальных исследований машины для сбора колорадского жука
- Пивоварчик А. А., Гавриленя А. К., Заболотный О. Д.** Исследование вязкостно-температурных показателей полусинтетических моторных масел, используемых в бензиновых двигателях механических транспортных средств
- Пивоварчик А. А., Гавриленя А. К., Заболотный О. Д.** Исследование эксплуатационных показателей полусинтетических моторных масел марки SAE 10W40, используемых в бензиновых двигателях

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

- 4 Dudarev V. A., Mikhalkov A. D., Mikhalkov V. S., Sivachenko L. A.** Investigation of the operation of a vertical vibration mill for grinding building materials
- 10 Klochkov A. V., Emelianenko A. A., Fedosov K. S.** Induction parameters by the three-dimensional arrangement of magnets
- 18 Milyukova A. M., Matyas A. N., Liakh A. A., Gorchanin A. I., Tolkacheva O. A., Han Jin.** Improvement of physical and mechanical properties of titanium alloy by magnetic-pulse treatment
- 27 Popok N. N., Partsianka S. A., Tikhon E. M., Anisimov V. S.** Modeling and regulation of chip formation and flows of the lubricating and cooling process medium during milling
- 37 Potapov V. A., Sivachenko L. A., Dremuk V. A.** Research of the influence of the operating modes of the chain unit on the indicators of the process of grinding chalk in the technology of lime production
- 44 Romanchuk I. A., Golubev V. S., Vegera I. I.** Features of forming of consolidating coverages at complex laser and plasma-powder surfacing

PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS

- 53 Burdejko V. A., Lovkis V. B.** Calculation of the brushes of the colorado beetle harvesting machine
- 59 Zayats P. V., Kazakevich P. P.** Results of experimental studies colorado beetle harvesting machines
- 70 Pivovarchik A. A., Gavrilenia A. K., Zabolotny O. D.** Study of viscosity-temperature indices of semi-synthetic engine oils used in gasoline engines of power-driven vehicles
- 77 Pivovarchik A. A., Gavrilenia A. K., Zabolotny O. D.** Performance study of semi-synthetic SAE 10W40 engine oils used in gasoline engines

УДК 621.89.097.2

А. А. Пивоварчик¹, А. К. Гавриленя², О. Д. Заболотный¹

¹Учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы»,
Министерство образования Республики Беларусь, ул. Ожешко, 22, 230021 Гродно, Республика Беларусь,
+375 (29) 876 68 24, Pivovarchik_AA@grsu.by

²Учреждение образования «Барановичский государственный университет»,
Министерство образования Республики Беларусь, ул. Войкова, 21, 225404 Барановичи,
Республика Беларусь, +375 (29) 22 259 33, AndrejGavrilena@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЛУСИНТЕТИЧЕСКИХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ МАРКИ SAE 10W40, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Целью настоящей работы является исследование изменения эксплуатационных показателей полусинтетических моторных масел в процессе эксплуатации механических транспортных средств для уточнения фактических сроков замены моторного масла.

Научная новизна работы состоит в получении новых экспериментальных данных по изменению плотности моторного масла при 15 °С, содержания механических примесей и воды в полусинтетических моторных маслах марок Shell Helix HX7 10W40, Castrol Magnatec 10W40 и Eni Agip Gas Special 10W40 при изменении величины пробега транспортного средства.

Представлены результаты исследования эксплуатационных показателей марок моторных масел при эксплуатации транспортных средств. В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что при 15 °С и при максимальном значении пробега (15 тыс. км) плотность моторного масла Eni Agip Gas Special 10W40 выше, чем плотность моторных масел марок Shell Helix HX7 10W40 и Castrol Magnatec 10W40, на 1,6 и 1,4 % соответственно. Замену моторного масла марки Castrol Magnatec 10W40 целесообразно проводить после 15 тыс. км пробега, моторных масел марок Shell Helix HX7 10W40 и Eni Agip Gas Special 10W40 — после 10 тыс. км пробега из-за значительного содержания механических примесей.

Ключевые слова: бензиновый двигатель внутреннего сгорания; механические транспортные средства; моторное масло; плотность; механические примеси; содержание воды.

Рис. 2. Табл. 1. Библиогр.: 13 назв.

А. А. Pivovarchik¹, А. К. Gavrilena², О. D. Zabolotny¹

¹Yanka Kupala State University of Grodno, the Ministry of Education of the Republic of Belarus,
22 Ozheshko Str., 230021 Grodno, the Republic of Belarus, +375 (29) 876 68 24, Pivovarchik_AA@grsu.by

²Baranovichi State University, the Ministry of Education of the Republic of Belarus, 21 Voykova Str., 225404
Baranovichi, the Republic of Belarus, +375 (29) 222 59 33, AndrejGavrilena@mail.ru

PERFORMANCE STUDY OF SEMI-SYNTHETIC SAE 10W40 ENGINE OILS USED IN GASOLINE ENGINES

The purpose of this work is to study the change in the performance of semi-synthetic engine oils during the operation of power-driven vehicles in order to clarify the actual timing of replacing the motor oil.

The scientific novelty of the work consists in obtaining new experimental data on the change in the engine oil density at 15 °С, the content of mechanical impurities and water in semi-synthetic engine oils of the Shell Helix HX7 10W40, Castrol Magnatec 10W40 and Eni Agip Gas Special 10W40 brands when changing the vehicle mileage.

The main part of the article presents the results of the study of the performance indices of engine oil brands during the operation of vehicles. As a result of experimental studies, it was found that at 15 °С and at the maximum value of the mileage (15 thousand km), the density of Eni Agip Gas Special 10W40 engine oil is higher than that of Shell Helix HX7 10W40 and Castrol Magnatec 10W40 engine oils by 1.6 and 1.4 %, respectively. It is advisable to replace

Castrol Magnatec 10W40 engine oil after 15 thousand kilometers, Shell Helix HX7 10W40 and Eni Agip Gas Special 10W40 engine oils — after 10 thousand kilometers due to the significant content of mechanical impurities.

Key words: gasoline internal combustion engine; power-driven vehicles; engine oil; density; mechanical impurities; water content.

Fig. 2. Table 1. Ref.: 13 titles.

Введение. Среди важнейших эксплуатационных показателей моторных масел выделяют плотность при 15 °С, содержание механических примесей и воды [1—10]. В настоящее время требования по увеличению работоспособности, надежности и эффективности работы транспортных средств привели к существенному ужесточению эксплуатационных показателей смазочных моторных масел [1; 2; 4]. Авторы научных работ [1—8] отмечают, что конструктивные особенности и условия эксплуатации механических транспортных средств должны соответствовать определенным по составу и свойствам топливу и смазочным материалам. Необоснованный и некорректный выбор марки моторного масла, а также несвоевременная замена моторного масла приводят к существенному сокращению срока службы и надежности работы транспортного средства (до 40 %), повышенному расходу топлива (от 5 до 15 %).

Имеющаяся информация в научной и технической литературе по срокам замены моторных масел в большинстве случаев носит рекомендательный характер. Результаты исследований, опубликованные в работах [1; 4; 6], показывают, что сроки замены полусинтетических моторных масел в бензиновых двигателях внутреннего сгорания (далее — ДВС) различны и варьируются в пределах от 15 до 20 тыс. км пробега, а также в значительной степени зависят от типа двигателя и его технического состояния, условий эксплуатации транспортного средства, количества присадок в моторном масле.

Вопросами замены моторных масел по их фактическому состоянию, а также поддержания работоспособности подвижного состава занимались такие исследователи, как С. В. Корнеев, А. Г. Варакин, И. И. Ширлин, А. М. Лопоткин и др. [1—9]. В научных работах [10—13] утверждается, что систематический контроль работоспособности моторных масел способствует существенной экономии финансовых средств, затрачиваемых на эксплуатацию механических транспортных средств, за счет увеличения срока эксплуатации транспортного средства.

В процессе организации пассажироперевозок транспортными предприятиями используются легковые автомобили различных моделей, в частности, Volkswagen Polo Sedan. В руководстве по эксплуатации и обслуживанию легкового транспортного средства марки Volkswagen Polo Sedan указано, что замену моторного масла следует проводить через один год эксплуатации транспортного средства или 15 тыс. км пробега при нормальных условиях эксплуатации. При тяжелых условиях эксплуатации замену масла рекомендуется проводить через 7,5 тыс. км пробега. В работах [1; 5; 9; 11—13] отмечается, что замена минерального масла производится после 10—15 тыс. км пробега, а синтетического моторного масла — после 20—35 тыс. км пробега.

Согласно нормативно-технической документации (ТКП 248-2010), замена моторного масла для легковых автомобилей проводится при выполнении технического обслуживания (далее — ТО) и технического ремонта, определяется с учетом поправочных коэффициентов, характеризующих условия работы подвижного состава и климатические условия. При этом рекомендуемый срок замены масла составляет 15 тыс. км без указания марки моторного масла.

В работах [1—9] установлено, что значение плотности моторных масел при 15 °С в процессе эксплуатации транспортных средств должно находиться в интервале от 830 до 880 кг / м³. Увеличение плотности свидетельствует о наличии в моторном масле механических примесей и (или) воды, что ведет к снижению срока службы ДВС. В свою очередь, к механическим примесям относятся все твердые вещества органического и неорганического

ского происхождения, находящиеся в моторном масле в виде осадка или во взвешенном состоянии, которые задерживаются фильтром при фильтровании самого нефтепродукта или его бензинового раствора.

Моторные масла в процессе хранения и работы засоряются твердыми примесями, попадающими извне, а также продуктами химического превращения самих масел, работающих при высокой температуре, и продуктами износа деталей. Механические примеси, находясь в масле, вызывают повышенный износ и нагрев поверхностей трения. Они способствуют образованию шлама, который скапливается в маслопроводах и нарушает подвод масла к узлам трения [7; 8]. Также известно, что оптимальное содержание механических примесей в моторном масле в процессе эксплуатации транспортного средства должно находиться в пределах от 0,015 до 0,03 %, а содержание воды не должно превышать значений от 0,03 до 0,05 % [10; 12]. При содержании воды выше допустимых значений рекомендуется заменить масло в ближайшее время.

Материалы и методы исследования. Исследование прошли полусинтетические моторные масла марок Shell Helix HX7 10W40, Castrol Magnatec 10W40 и Eni Agip Gas Special 10W40, используемые в бензиновых ДВС механических транспортных средств. Проведение исследований по определению плотности (ГОСТ 3900-85), содержания механических примесей (ГОСТ 6370-83) и воды (ГОСТ 2477-2017) выполняли в соответствии с требованиями указанных нормативных правовых актов. Выбор вышеуказанных марок моторных масел обусловлен тем, что при осуществлении пассажироперевозок данные моторные масла централизованно закупаются и используются в легковых автомобилях марки Volkswagen Polo Sedan. Завод-изготовитель транспортного средства рекомендует осуществить замену данных моторных масел после 15 тыс. км пробега.

В качестве подвижного состава принят легковой автомобиль марки Volkswagen Polo Sedan, оборудованный бензиновым двигателем (4 цилиндра) с распределенным впрыском топлива объемом 1 598 см³.

В целях получения достоверных результатов исследования все марки моторных масел заливались в каждый из трех автомобилей. За результат исследования принимали среднее арифметическое значение исследуемого показателя, полученное после отбора проб.

Перед проведением исследований проводилось ТО-2 легковых автомобилей, а также их диагностика. Установлено, что двигатели в легковых автомобилях полностью исправны. Также проверено натяжение цепи газораспределительного механизма, отрегулированы тепловые зазоры, исправность стартера, генератора, приборов системы зажигания и питания. На момент начала проведения исследования величина пробега всех механических транспортных средств находилась в диапазоне значений от 60 до 65 тыс. км. Объем залитого масла в ДВС автомобиля составил 3,7 л. Через каждые 5 тыс. км до 15 тыс. км пробега отбиралась проба моторного масла. Для определения содержания воды и механических примесей проба моторного масла отбиралась через каждые 3 тыс. км пробега. После проведения экспериментов по исследованию эксплуатационных показателей моторного масла образец масла обратно заливался в двигатель транспортного средства.

Доливание моторного масла в двигатель не проводилось ввиду того, что перед проведением исследований масло пополнялось до максимального уровня по щупу, что позволило получить более достоверные экспериментальные данные. Перед отбором пробы исследуемого образца и продолжением исследований осуществлялся контроль уровня моторного масла в двигателе. Определение плотности моторного масла при 15 °С, содержания механических примесей и воды проводили по стандартным методикам с использованием специализированного сертифицированного оборудования на базе УП «Белоруснефть-Гроднообнефтепродукт».

Результаты исследования и их обсуждение. На рисунке 1 показано изменение плотности исследуемых моторных масел при 15 °С в зависимости от величины пробега транспортного средства. Установлено, что плотность всех исследуемых моторных масел при увеличении величины пробега возрастает.

Таким образом, результаты исследований показывают, что значение плотности, измеренной при 15 °С, моторного масла Shell Helix HX7 10W40 повышается на 15,2 кг / м³, моторных масел Castrol Magnatec 10W40 и Eni Agip Gas Special 10W40 — на 7,1 и 16,4 кг / м³ соответственно.

По результатам исследования можно утверждать, что в сравнении с моторными маслами марок Shell Helix HX7 10W40 и Eni Agip Gas Special 10W40 наилучшими эксплуатационными свойствами, оцениваемыми по плотности моторного масла, ввиду менее интенсивного изменения данного показателя обладает полусинтетическое моторное масло марки Castrol Magnatec 10W40. Полученный результат связан с тем, что в составе данного полусинтетического масла в качестве добавки используют большее число синтетических добавок (до 40 % от основы). Кроме того, более высокие значения плотности моторных масел марок Shell Helix HX7 10W40 и Eni Agip Gas Special 10W40 связаны с проведением исследования в осенне-зимний период эксплуатации транспортных средств. Известно, что при достаточно сильном охлаждении ДВС (например, в зимний период) возможна конденсация влаги [1; 4; 6]. Это приводит к увеличению количества воды в исследуемых образцах масла и, как следствие, повышению плотности моторного масла.

Кроме того, к повышению плотности моторного масла также могли привести отложения, нагары и осадки, образующиеся в процессе эксплуатации транспортного средства. Отложения образуются в результате превращения углеводородов, которые являются основой моторных масел.

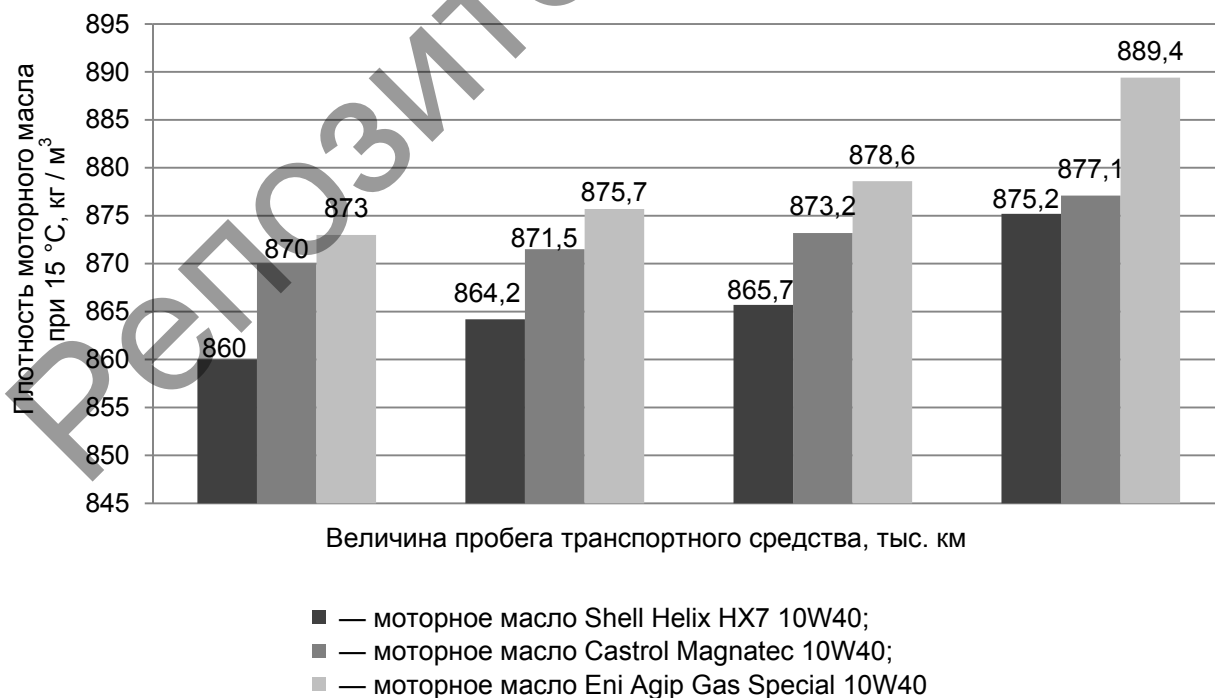


Рисунок 1. — Результаты исследования изменения плотности исследуемых моторных масел при 15 °С

Нагары представляют собой твердые углеродистые вещества, откладывающиеся на стенках камеры сгорания, клапанах, свечах, днище поршня и на верхнем пояске боковой поверхности поршня. Химический состав нагара зависит как от качества масла и топлива, так и от режима работы двигателя, запыленности воздуха, наличия присадок и др. [1; 6; 7—13]. Основную часть нагара составляют карбены и карбоиды (50,0...70,0 %), смолы и масла (15,0...40,0 %), асфальтены и оксикислоты (3,0...6,0 %) и зола (1,0...10,0 %). Количество образующегося нагара зависит от качества масла и его расхода, а также от качества применяемого топлива. Толщина слоя нагара зависит от теплового режима работы двигателя: чем ниже температура стенок камеры сгорания, тем больший слой нагара на них образуется. В летний период эксплуатации транспортного средства нагар образуется меньше, чем в зимний [1; 7—13]. Осадки откладываются на стенках поддона картера, крышке головки блока цилиндров, шейках коленчатого вала и других деталях ДВС, а также в фильтрах и маслопроводах. Осадки состоят из масла (50,0...85,0 %), воды (5,0...35,0 %) и продуктов их окисления: оксикислот (2,0...15,0 %), карбенов и карбоидов (2,0...10,0 %), асфальтенов (0,1...15,0 %) [4; 6—8; 10].

Экспериментально установлено, что наиболее интенсивное изменение значения плотности, измеренной при 15 °С, отмечено при пробеге транспортным средством более 10 тыс. км, что объяснимо практически полной потерей моторным маслом своих эксплуатационных показателей вследствие вышеназванных причин и так называемого «естественного старения», вызванного воздействием высоких температур и давлений в рабочей зоне ДВС при эксплуатации механического транспортного средства.

Содержание механических примесей в исследуемых образцах полусинтетических моторных масел марок Castrol Magnatec 10W40, Shell Helix HX7 10W40 и Eni Agip Gas Special 10W40 при увеличении пробега транспортного средства возрастает у всех моторных масел (рисунок 2). При пробеге автомобиля до 10 тыс. км в исследуемых моторных маслах содержание механических примесей не превышает допустимой величины, равной 0,03 % [3—9]. Следует отметить, что в работах [12; 13] к содержанию механических примесей в моторных маслах предъявляются более жесткие требования (от 0,015 до 0,02 %).

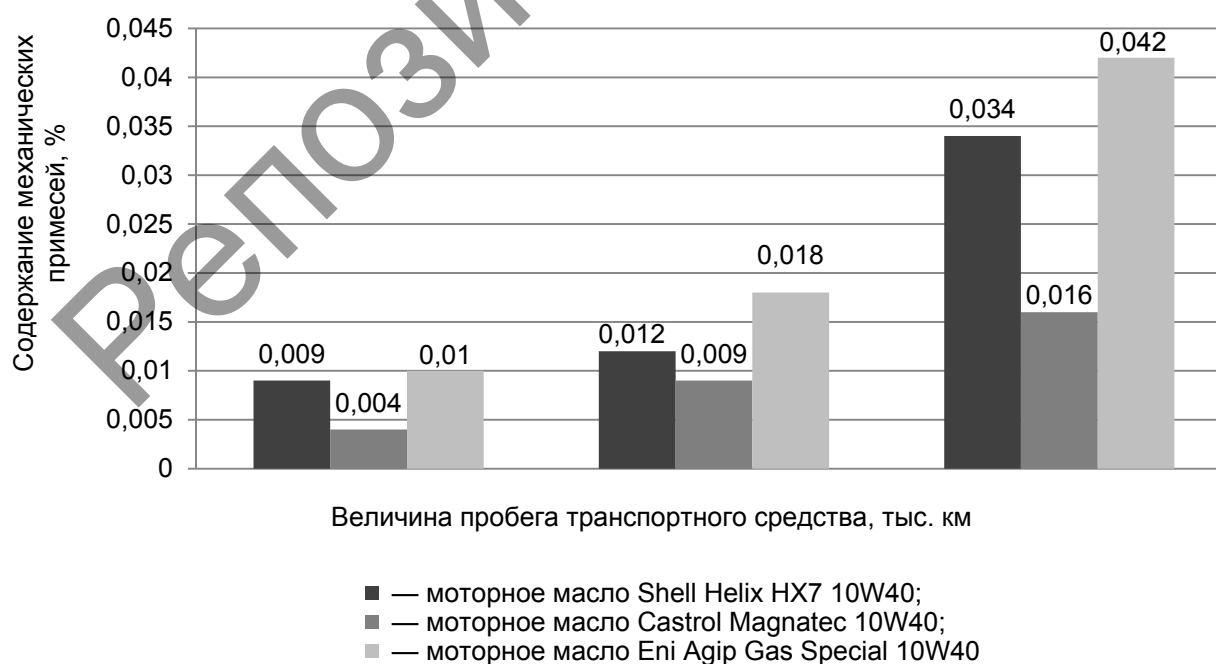


Рисунок 2. — Результаты исследований по определению содержания механических примесей в исследуемых образцах моторных масел

Наименьшее содержание примесей получено при использовании полусинтетического моторного масла марки Castrol Magnatec 10W40 (см. рисунок 2). При пробеге транспортным средством 15 тыс. км содержание механических примесей увеличилось до 0,016 %, что свидетельствует о высоком качестве данного моторного масла. Наибольшее количество механических примесей наблюдается при использовании моторного масла марки Eni Agip Gas Special 10W40 (0,042 %), что в 2,6 раза выше, чем при использовании моторного масла марки Castrol Magnatec 10W40. Промежуточный результат получен при исследовании моторного масла марки Shell Helix HX7 10W40, однако окончательное содержание механических примесей в данном моторном масле после 15 тыс. км пробега в 2,1 раза выше, чем в моторном масле марки Castrol Magnatec 10W40.

Установлено, что превышение нормативного значения содержания механических примесей наблюдается для моторных масел марок Shell Helix HX7 10W40 и Eni Agip Gas Special 10W40 при пробеге транспортным средством более 10 тыс. км. При величине пробега 15 тыс. км содержание механических примесей в данных моторных маслах превышает максимально допустимое значение на 0,004 и 0,012 п. п. соответственно.

Увеличение содержания механических примесей в исследуемых марках моторных масел обусловлено механическим износом элементов цилиндропоршневой группы двигателя вследствие увеличения коэффициента трения и потери технологических свойств противоударных присадок, входящих в состав исследуемых образцов полусинтетических моторных масел [9—13].

В таблице 1 представлены результаты исследования моторных масел по определению объемной доли воды при эксплуатации легкового транспортного средства.

Установлено, что следы воды присутствуют во всех исследуемых образцах моторных масел. При этом лучший результат наблюдается при использовании моторного масла марки Shell Helix HX7 10W40, так как вода появилась в масле после 9 тыс. км пробега (см. таблицу 1). В то же время в моторных маслах марок Castrol Magnatec 10W40 и Eni Agip Gas Special 10W40 вода появляется после 6 тыс. км пробега. Дальнейшие исследования показывают, что наибольшее увеличение объемной доли воды наблюдается при пробеге транспортным средством более 12 тыс. км. Определено, что после 15 тыс. км пробега объемная доля воды в моторном масле марки Shell Helix HX7 10W40 составляет большее значение (0,019 %) в сравнении с другими марками исследуемых моторных масел. Причиной появления воды в моторных маслах исследуемых марок также может быть попадание топлива в масло и негерметичность охлаждающей системы ДВС [5; 9—13].

Т а б л и ц а 1. — Результаты определения объемной доли воды в исследуемых марках полусинтетических моторных масел

Пробег транспортного средства, тыс. км	Объемная доля воды в исследуемом моторном масле, %		
	Shell Helix HX7 10W40	Castrol Magnatec 10W40	Eni Agip Gas Special 10W40
Исходное значение	Следы	Следы	Следы
3	Следы	Следы	Следы
6	Следы	Следы	Следы
9	Следы	0,002	0,001
12	0,006	0,007	0,006
15	0,019	0,014	0,017

По результатам исследования можно утверждать, что лучшими эксплуатационными свойствами, оцениваемыми по объемной доле воды в масле, в сравнении с моторными маслами марок Shell Helix HX7 10W40 и Eni Agip Gas Special 10W40 обладает полусинтетическое моторное масло марки Castrol Magnatec 10W40. Все полученные значения объемной доли воды в образцах моторного масла находятся в допустимом диапазоне, который для моторного масла, используемого в бензиновых ДВС, составляет от 0,03 до 0,05 % [6—13].

Следует также отметить, что в первоначальный период эксплуатации транспортного средства (до 12 тыс. км пробега) лучший показатель по объемной доле воды наблюдался у моторного масла марки Shell Helix HX7 10W40. Полученный результат связан с тем, что в составе данного полусинтетического масла присутствует большее число присадок и добавок, отвечающих за возможное появление воды в составе моторного масла. Однако при дальнейшем увеличении пробега транспортного средства объемная доля воды в данном моторном масле превысила аналогичный показатель при исследовании других марок моторных масел, что обусловлено потерей присадками своего функционального назначения.

Заключение. В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что при максимальном значении пробега (15 тыс. км) плотность при 15 °С масла марки Eni Agip Gas Special 10W40 выше, чем плотность моторных масел марок Shell Helix HX7 10W40 и Castrol Magnatec 10W40, на 1,6 и 1,4 % соответственно.

Показано, что содержание механических примесей при пробеге 10 тыс. км у исследуемых марок масел находится в допустимых пределах. При пробеге 15 тыс. км допустимое содержание механических примесей отмечено только в моторном масле марки Castrol Magnatec 10W40.

Проведенные эксперименты показывают, что содержание объемной доли воды в исследуемых пробах полусинтетических моторных масел марок Shell Helix HX7 10W40, Castrol Magnatec 10W40 и Eni Agip Gas Special 10W40 при пробеге транспортным средством 15 тыс. км не превышают максимально допустимое значение 0,03 %, установленное нормативно-технической документацией.

Таким образом, выполненные исследования показали, что полусинтетическое моторное масло марки Castrol Magnatec 10W40 обладает более высокими эксплуатационными свойствами по исследуемым показателям в сравнении с моторными маслами марок Shell Helix HX7 10W40 и Eni Agip Gas Special 10W40. Замену моторного масла марки Castrol Magnatec 10W40 целесообразно проводить после 15 тыс. км пробега, моторных масел марок Shell Helix HX7 10W40 и Eni Agip Gas Special 10W40 — после 10 тыс. км пробега из-за значительного содержания механических примесей.

Список цитированных источников

1. Корнеев, С. В. О работоспособности моторных масел / С. В. Корнеев // Двигателестроение. — 2004. — № 4. — С. 36—38.
2. Liehpao, O. F. AshlessAntiwear and Extreme-Pressure Additives / O. F. Liehpao // Lubricant additives: chemistry and applications / ed. L. R. Rudnick. — New York, 2009. — P. 3, ch. 8. — P. 214—257.
3. Исследования характеристик моторных масел 5w40 и 10w40 / Е. Б. Ахметбай [др.] // Эпоха науки. Технические науки. — 2018. — № 16. — С. 159—163.
4. Варакин, А. Г. Сравнительный тест полусинтетических моторных масел / А. Г. Варакин, А. М. Лопоткин, А. Е. Хохлов // Вестн. Нижегород. гос. инженер.-экон. ун-та. — 2014. — № 10 (41). — С. 17—22.
5. Пивоварчик, А. А. Исследование эксплуатационных свойств полусинтетических моторных масел, используемых в дизельных двигателях внутреннего сгорания / А. А. Пивоварчик, А. К. Гавриленя, А. И. Сергей // Вестн. БарГУ. Сер. «Технические науки». — 2020. — № 8. — С. 111—118.
6. Долгова, Л. А. Обеспечение рационального ресурса моторного масла в двигателях / Л. А. Долгова, В. В. Салмин // Вестн. Чуваш. гос. пед. ун-та им. И. Я. Яковлева. — 2012. — № 2 (74). — С. 146—156.
7. Корнеев, С. В. Изменение характеристик моторных масел в газопоршневых двигателях большой мощности / С. В. Корнеев // Вестн. Сиб. гос. автомобил.-дорож. акад. — 2017. — Вып. 4—5 (56—57). — С. 37—41.

8. *Корнеев, С. В.* Оценка достоверности прогнозирования периодичности смены моторного масла в двигателях / С. В. Корнеев, А. П. Серков // Ом. науч. вестн. — 2014. — № 1. — С. 62—65.
9. *Пивоварчик, А. А.* Исследование температурно-вязкостных показателей полусинтетических моторных масел, используемых в дизельных двигателях механических транспортных средств / А. А. Пивоварчик, А. И. Сергей // Весн. Гродз. дзярж. ун-та імя Янкі Купалы. Сер. 6 : Тэхніка. — 2019. — Т. 9, № 1. — С. 78—87.
10. Влияние условий эксплуатации автомобилей на ресурс работы моторного масла / И. И. Ширлин [и др.] // Вестн. Сиб. гос. автомобил.-дорож. акад. — 2013. — Вып. 4 (32). — С. 42—45.
11. *Доблер, В. И.* Повышение эксплуатационной надежности двигателей дорожных и строительных машин трибологическим контролем состояния и активацией моторных масел : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.04 / В. И. Доблер ; Том. политехн. ун-т. — Томск, 2005. — 23 с.
12. *Дашивец, Г. И.* Обоснование периодичности замены моторных масел при эксплуатации тракторных двигателей : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Г. И. Дашивец ; ЦНИИ механизации и электрификации сел. хоз-ва Нечернозем. зоны СССР. — Минск, 1990. — 15 с.
13. *Чудиновских, А. Л.* Разработка научных основ химмотологической оценки автомобильных моторных масел : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.17.07 / А. Л. Чудиновских ; Рос. гос. ун-т нефти и газа (Нац. исслед. ун-т) им. И. М. Губкина. — М., 2016. — 50 с.

Поступила в редакцию 05.03.2021.

Репозиторий БарГУ