

УДК 621.89.097.2

А. А. Пивоварчик¹, А. К. Гавриленя², А. И. Сергей¹

¹Учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы»,
Министерство образования Республики Беларусь, ул. Ожешко, 22, 230021, Гродно, +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) 222 59 33,
AndrejGavrilenya@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ПОЛУСИНТЕТИЧЕСКИХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ МЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Научная новизна работы состоит в получении новых экспериментальных данных по изменению кинематической вязкости полусинтетических моторных масел марки SAE 10W40 производителей компаний Лукойл и Ursa, измеренной при 40 и 100 °С при увеличении пробега транспортного средства.

Показаны результаты исследования кинематической вязкости моторных масел марки SAE 10W40 от производителей: компаний Лукойл (Россия) и Ursa (Бельгия). Результаты исследований будут полезны инженерам-механикам при выборе марки моторного масла, используемого в дизельных двигателях внутреннего сгорания в целях увеличения надежности и работоспособности узлов и агрегатов двигателя.

Ключевые слова: дизельный двигатель внутреннего сгорания; автотранспортные механические средства; моторное масло; вискозиметр; кинематическая вязкость.

Рис. 2. Библиогр.: 14 назв.

A. A. Pivovarchyk¹, A. K. Haurylenia², A. I. Sergey¹

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

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

STUDY OF KINEMATIC VISCOSITY OF SEMISYNTHETIC MOTOR OILS, USED IN DIESEL ENGINES OF MECHANICAL VEHICLES

The scientific novelty of the study consists in obtaining new experimental data on changes in the kinematic viscosity of semi-synthetic motor oils of brand SAE 10W40 which was measured at 40 and 100° C with an increase in vehicle mileage. The results of the study of the kinematic viscosity of the engine oils SAE 10W40 that were produced by the companies of Lukoil (Russia) and Ursa (Belgium) have been shown. The data obtained will be useful to mechanical engineers when choosing the brand of motor oil for diesel internal combustion engines in order to increase the reliability and efficiency of engine components and assemblies.

Key words: diesel internal combustion engine; motor vehicles; motor oil; viscometer; kinematic viscosity.

Fig. 2. Ref.: 14 titles.

Введение. Двигатели внутреннего сгорания являются основным потребителем моторных масел. В настоящее время отечественными и зарубежными производителями выпускается более 200 различных марок моторных масел.

Моторные масла представляют собой сложные по химическому составу эксплуатационные материалы, в значительной степени определяющие работу двигателя. Правильно подобранное моторное масло позволяет увеличить ресурс работы двигателя в среднем до 40 %. В свою очередь, знание состава и эксплуатационных свойств моторных масел — необходимое условие для специалиста, работающего в сфере эксплуатации и обслуживания автотранспортных механических средств.

Вязкость является одним из наиболее важных свойств смазочного масла. Именно от вязкости в значительной степени зависят надежность поступления масла в зазоры основных узлов трения двигателя, создание достаточно прочной масляной пленки при трении, легкость пуска двигателя при низких температурах, механические потери, расход топлива, интенсивность изнашивания и т. д. [1—4].

Кинематическая вязкость (высокотемпературная) — эксплуатационный показатель качества для всех видов моторных масел. Она представляет собой отношение динамической вязкости к плотности моторного масла. Кинематическая вязкость также характеризует внутреннее трение состава или его сопротивление собственному течению, а также позволяет оценить показатели текучести моторного масла при рабочих температурах 40 °С и 100 °С.

В работах [3; 5] отмечается, что моторные масла по вязкости при 100 °С классифицируются на маловязкие (3...4 мм²/с), средневязкие (4...6 мм²/с), а также вязкие (8...9 мм²/с и выше). Вязкость моторного масла определяет толщину масляной пленки, образующуюся на поверхностях трения в процессе работы двигателя внутреннего сгорания, а следовательно, степень износа деталей двигателя, его прокачиваемость при низких температурах, а также надежность смазывания при высоких температурах. Кроме того, вязкость оказывает существенное влияние на потери на трение и расход топлива.

Из ГОСТ 10541-78 «Масла моторные универсальные и для автомобильных карбюраторных двигателей. Технические условия» следует, что кинематическая вязкость универсальных моторных масел, используемых в дизельных двигателях внутреннего сгорания при 100 °С, должна находиться в пределах от 8±0,5 до 17 мм²/с.

В работе [6] утверждается, что кинематическая вязкость моторного масла для дизельных двигателей при 100 °С должна находиться в пределах от 8 до 16,5 мм²/с, а при 40 °С — не ниже 160 мм²/с, что обеспечит высокую работоспособность двигателя.

По мнению, изложенному в работе [7], кинематическая вязкость моторного масла для дизельных двигателей при 100 °С должна находиться в пределах 12,0...14,0 мм²/с, что позволяет увеличить срок работы двигателя.

Для определения сроков службы моторного масла в двигателях ряд авторов рекомендует использовать так называемые браковочные показатели, при достижении которых моторное масло следует заменить [8—11]. Браковочные показатели для значения кинематической вязкости соответствуют следующим значениям: в сторону увеличения значения кинематической вязкости на 25 % и уменьшения первоначального значения более чем на 20 % [9—11].

Вследствие того, что условия эксплуатации механических транспортных средств могут быть весьма различны, в том числе по причине износа элементов двигателя внутреннего сгорания, нарушения температурного режима работы и других факторов, степень снижения эксплуатационных свойств моторных масел существенно возрастает, и, как итог, установленные заводом-изготовителем требования по замене моторного масла могут не выполняться. В связи с этим представляет интерес анализ возможного снижения одного из важнейших эксплуатационных свойств моторного масла — кинематической вязкости, измеренной при 40 и 100 °С, в целях уточнения фактических сроков замены моторного масла, что позволит увеличить срок службы двигателя.

Методика проведения исследований. Для исследований выбрали полусинтетические моторные масла для дизельных двигателей внутреннего сгорания Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40 (Россия) и Ursa Premium TD SAE 10W40 (Бельгия). Выбор указанных марок связан с тем, что данные моторные масла централизованно закупаются Республикой Беларусь и используются на автотранспортных предприятиях. Выбранные марки моторных масел заливали в пассажирские автобусы марки МАЗ 203060, оборудованные дизельным двигателем DAIMLER AG с газотурбинным наддувом и охлаждением наддувочного воздуха соответственно. Перед проведением исследований провели замену моторного масла, при этом

пробег автотранспортного средства составлял 96 000 км. После чего через каждые 2 000 км до 20 000 км включительно отбиралась проба моторного масла для выполнения исследований по определению кинематической вязкости моторного масла при 40 °С и 100 °С.

После проведения исследований моторных масел образцы масла обратно заливали в двигатель автомобиля. Доливание свежего моторного масла в двигатель не проводили вследствие того, что перед проведением исследований масла залили до максимального уровня по щупу, что, в свою очередь, позволило получать более корректные экспериментальные данные. Перед отбором пробы исследуемого образца и продолжением дальнейших исследований следили за уровнем моторного масла в двигателе.

Кинематическую вязкость образцов моторного масла исследовали с использованием вискозиметра капиллярного ВПЖ-4 ГОСТ 10028-81 по методике, изложенной в ГОСТ 33-2000 «Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости». Сущность метода по определению кинематической вязкости заключается в измерении комбинированным стеклянным вискозиметром ВПЖ-4 времени истечения (в секундах) определенного объема испытуемой жидкости (моторного масла) под воздействием силы тяжести при постоянной температуре.

Кинематическую вязкость моторного масла определяли по формуле

$$\nu = \Pi \cdot t, \text{ мм}^2 / \text{с};$$

где Π — калибровочная постоянная вискозиметра, $\text{мм}^2 / \text{с}$;

t — время истечения образца из вискозиметра, с.

Образец для исследования помещали в термостатирующее подогревающее устройство и выдерживали в течение 1 ч при температуре 60 ± 2 °С, при этом осуществляли периодическое тщательное перемешивание пробы стеклянной палочкой. Температуру при выполнении экспериментов контролировали с помощью термометра А1 (ГОСТ 28498-90) с ценой деления 1 °С, после чего образец заливали в колбу 1-300-1 (ГОСТ 1770-74) 300 см^3 в количестве, необходимом для заполнения вискозиметра до уровня, указанного на приборе. Затем погружали колбу с пробой на 30 мин в баню с кипящей водой. Вискозиметр также помещали в термостатирующее устройство для предварительного прогрева до температуры испытания.

Время истечения исследуемого объема образца из вискозиметра при температуре 40 °С и 100 °С от первой отметки до второй фиксировали с использованием секундомера, с точностью измерения 0,1 с. Перед исследованием очередного образца моторного масла вискозиметр тщательно промывали, используя уайт-спирит, а затем сушили путем пропускания струи сухого отфильтрованного воздуха в течение не менее 2 мин до полного удаления следов уайт-спирита.

Результаты исследований и их обсуждение. Полученные экспериментальные данные по изменению кинематической вязкости моторных масел при температуре 40 °С показали, что исследуемый показатель с увеличением пробега автомобиля снижается для обеих марок моторного масла Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40 и Ursa Premium TD SAE 10W40 (рисунок 1).

Из рисунка 1 видно, что наиболее интенсивное снижение кинематической вязкости при 40 °С происходит при пробеге двигателя 4 тыс. км и более. При этом кинематическая вязкость при 40 °С при пробеге автомобиля 4 тыс. км при работе двигателя на моторном масле Ursa Premium TD SAE 10W40 уменьшается от 129,8 до 103,7 $\text{мм}^2 / \text{с}$, а при использовании моторного масла марки Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40 данный показатель снижается от 131,0 до 105,9 $\text{мм}^2 / \text{с}$.

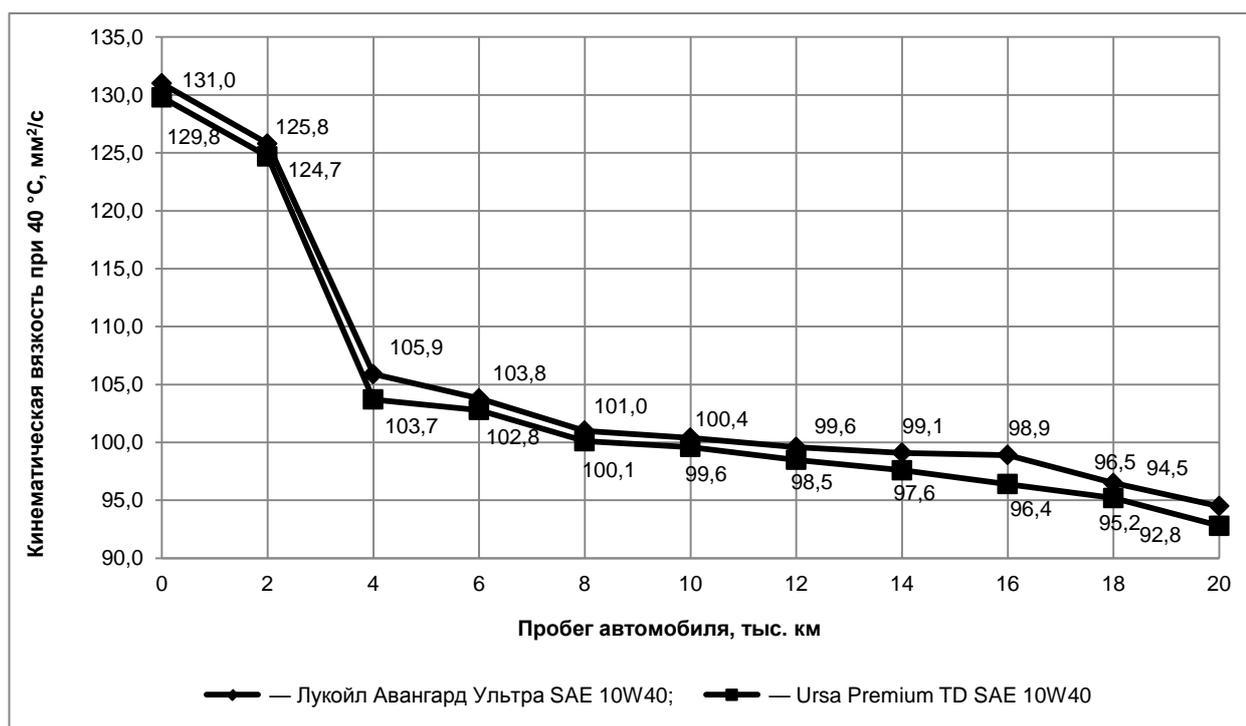


Рисунок 1. — Результаты исследования кинематической вязкости моторных масел марки Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40 и Ursa Premium TD SAE 10W40 при 40 °C

Установлено, что при пробеге 4 тыс. км кинематическая вязкость при 40 °C образцов моторного масла марки Ursa Premium TD SAE 10W40 уменьшается на 20,1 %, а у моторного масла марки Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40 — на 19,2 % в сравнении с исходными значениями исследуемого показателя качества моторного масла.

Также следует отметить, что при пробеге автомобиля до 20 тыс. км кинематическая вязкость при 40 °C при использовании моторного масла марки Ursa Premium TD SAE 10W40 понижается до 92,8 мм²/с, а у моторного масла марки Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40 — до 94,5 мм²/с.

Как видно из рисунка 1, в результате пробега автомобиля до рекомендуемого срока замены моторного масла (20 тыс. км) кинематическая вязкость при 40 °C моторного масла марки Ursa Premium TD SAE 10W40 уменьшается на 28,5 %, моторного масла марки Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40 — на 27,9 % соответственно в сравнении с первоначальным значением данного исследуемого показателя качества моторного масла.

Результаты исследований показали, что значение кинематической вязкости при 100 °C при исследовании образцов моторного масла марки Ursa Premium TD SAE 10W40 при пробеге 20 тыс. км снижается с 14,8 мм²/с до 11,2 мм²/с (рисунок 2). Установлено, что при пробеге 4 тыс. км кинематическая вязкость при 100 °C уменьшается наиболее значительно: с 14,8 до 12,0 мм²/с. При дальнейшем увеличении пробега до 6 тыс. км отмечен небольшой рост кинематической вязкости до 12,3 мм²/с, после чего кинематическая вязкость равномерно уменьшается в среднем на 0,1 мм²/с на последующих контрольных этапах измерения кинематической вязкости при 100 °C, равных 2 тыс. км.

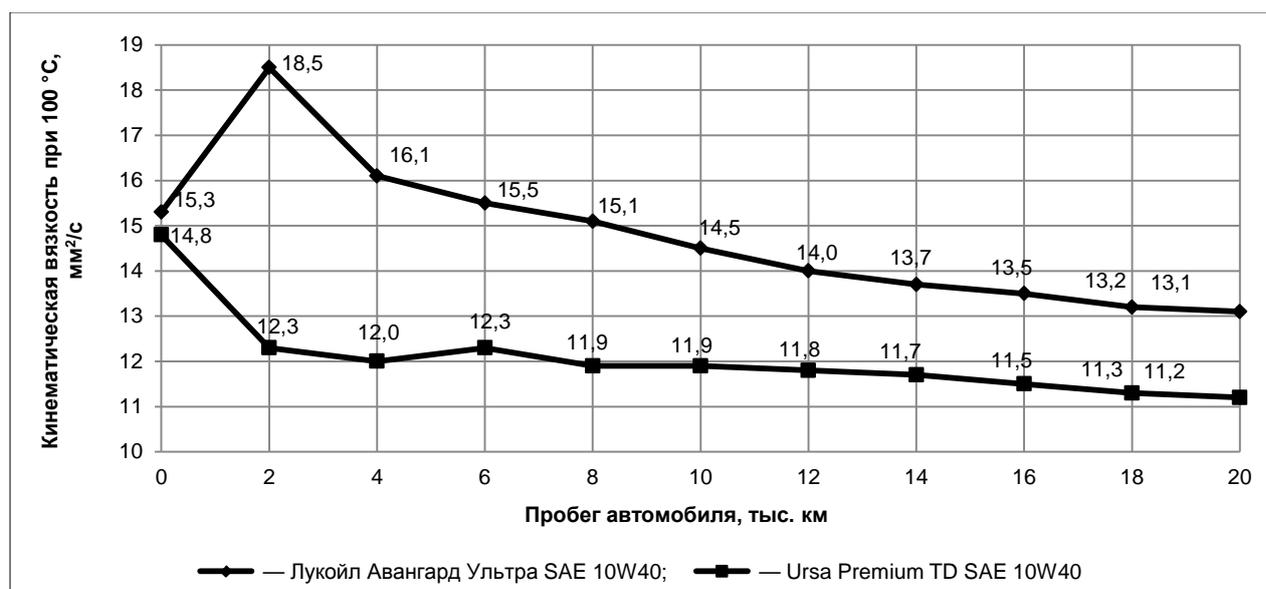


Рисунок 2. — Результаты исследования кинематической вязкости моторных масел марки Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40 и Ursa Premium TD SAE 10W40 при 100 °C

Снижение значения кинематической вязкости при 100 °C моторного масла марки Ursa Premium TD SAE 10W40 при пробеге автомобиля 20 тыс. км составила 24,3 % (см. рисунок 2). Это свидетельствует о потере моторным маслом своих технологических свойств, так как, по мнению, изложенному в работах [12—14], моторное масло необходимо заменять раньше установленного нормативной документацией срока при снижении показателя более чем на 20 %. Однако мнение авторов, представленное в работах [9—11], свидетельствует о том, что замену моторного масла следует проводить при снижении кинематической вязкости на 30 % и более. Можно также предположить, что за последующие 2 тыс. км пробега значение кинематической вязкости уменьшается до значений, указывающих на преждевременную замену моторного масла.

На рисунке 2 показано, что кинематическая вязкость при 100 °C моторного масла Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40 при пробеге автомобиля 20 тыс. км снижается с 15,3 до 13,1 мм²/с. Данные численные изменения вязкости соответствуют 14,4 %, что ниже рекомендуемого значения изменения вязкости, свидетельствующего о досрочной замене моторного масла. Однако при пробеге 2 тыс. км кинематическая вязкость возрастает до значения 18,5 мм²/с, что соответствует увеличению вязкости на 23,3 % в сравнении с исходным значением. Причиной роста кинематической вязкости после замены масла может быть испарение легких фракций, а также накопление продуктов полимеризации и нерастворимых побочных продуктов.

В работе [3] автор указывает на то, что вязкость моторного масла возрастает под влиянием трибоэлектрических полей, которые проявляются в результате возникновения разности потенциалов на границе раздела фаз «металл — моторное масло». Можно предположить, что после замены моторного масла на трущихся поверхностях цилиндропоршневой группы образовывалась защитная масляная пленка, являющаяся токопроводящей средой, что, в свою очередь, способствовало возникновению электро-вязкостного эффекта, вызывающего повышение кинематической вязкости исследуемого моторного масла.

Установлено, что наибольшее изменение значений кинематической вязкости моторного масла Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40 наблюдается при пробеге от 2 до 12 тыс. км при изменении параметра от 18,5 до 14,0 мм²/с. При дальнейшем увеличении пробега с 12 до 20 тыс. км кинематическая вязкость моторного масла Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40, измеренная при 100 °C, изменяется с 14,0 до 13,1 мм²/с.

Следует отметить, что изменение исследуемого в данной работе эксплуатационного показателя моторного масла, очевидно, происходит вследствие естественного «старения», вызванного тяжелыми условиями его эксплуатации. Это вышесказанное подтверждается выполненной в процессе эксплуатации транспортного средства диагностикой автомобиля, в результате проведения которой не обнаружено каких-либо отклонений в работе двигателя и его основных конструктивных элементов системы питания автомобиля. Периодичность проведения диагностики транспортного средства составляла 1 раз через каждые 5 тыс. км пробега автомобиля.

Заключение. В результате проведенных исследований установлено, что кинематическая вязкость моторного масла марки Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40, измеренная при 40 °С, снижается при пробеге автомобиля 4 тыс. км на 0,9 % меньше, чем аналогичный показатель моторного масла Ursa Premium TD SAE 10W40, что свидетельствует о более высоком качестве масла.

Также установлено, что кинематическая вязкость моторного масла марки Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40, измеренная при 100 °С, при пробеге 20 тыс. км уменьшается на 9,8 % меньше, чем у моторного масла Ursa Premium TD SAE 10W40.

Таким образом, в качестве моторного масла для дизельных двигателей целесообразнее использовать моторное масло марки Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40 вследствие более высокого значения кинематической вязкости.

Список цитируемых источников

1. *Васильева, Л. С.* Автомобильные эксплуатационные материалы / Л. С. Васильева. — М. : Наука-Пресс, 2003. — 421 с.
2. *Топливо, смазочные материалы и технические жидкости / В. В. Остриков [и др.].* — Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. — 304 с.
3. *Карташевич, А. Н.* Топливо, смазочные материалы и технические жидкости / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка, А. В. Гордеенко. — М. : Инфра-М, 2015. — 420 с.
4. *Геленов, А. А.* Автомобильные эксплуатационные материалы / А. А. Геленов, Т. И. Соченко, В. Г. Спиркин. — 4-е изд., стер. — М. : Академия, 2015. — С. 115—116.
5. *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.
6. *Трембач, Е. В.* Моторные и трансмиссионные масла, присадки / Е. В. Трембач. — Ростов н/Д : Феникс, 2000. — С. 81—97.
7. *Остриков, В. В.* Методические рекомендации по обоснованию наиболее информативных показателей качества работающих моторных масел и анализ существующих средств контроля / В. В. Остриков, В. В. Белогорский. — Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2007. — 62 с.
8. *Трофименко, И. Л.* Автомобильные эксплуатационные материалы / И. Л. Трофименко, Н. А. Коваленко, В. П. Лобах. — Минск : Новое знание, 2008. — 232 с.
9. *Сырбаков, А. П.* Топливо и смазочные материалы / А. П. Сырбаков, М. А. Корчуганова ; Том. политехн. ун-т. — Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2015. — 159 с.
10. *Каня, В. А.* Автомобильные эксплуатационные материалы / В. А. Каня, В. С. Пономаренко. — Омск : СибАДИ, 2012. — 242 с.
11. *Трубилов, А. К.* Автомобильные эксплуатационные материалы / А. К. Трубилов, В. А. Хитрюк. — Минск : Респ. ин-т проф. образования, 2012. — С. 79—105.
12. *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.
13. *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.
14. *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.

Поступил в редакцию 11.01.2019