

УДК 621.892.28
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-5-680-691>
EDN: NHXNIV
Научная статья



ЗАГРЯЗНЕНИЕ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ПРИ ЗИМНЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ

С. В. Корнеев^{1,2}, С. В. Пашукевич^{2*}, В. Д. Бакулина², Н. Г. Певнев¹

¹Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)

²Омский государственный технический университет (ОмГТУ)

г. Омск, Россия

svkorneev51@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7243-1841>

sofia96@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8111-4725>

ver-bakulina81@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6219-0506>

pevnev_ng@sibadi.org, <https://orcid.org/0000-0003-4308-7604>

*ответственный автор

АННОТАЦИЯ

Введение. Надежность и срок службы двигателя во многом зависят от качества моторного масла. Без масла с надлежащим уровнем работоспособности двигатель внутреннего сгорания может страдать от износа, который во многих случаях приводит к отказу двигателя. Одним из факторов потери уровня качества моторного масла является его загрязнение. К примеру, кинематическая вязкость будет постепенно увеличиваться по мере того, как масло в двигателе начнет загрязняться сажей, грязью и иламом; или же оно может быть окислено. Если вязкость моторного масла слишком высока, двигатель должен совершать дополнительную работу для преодоления повышенного вязкостного сопротивления. Разбавление топливом и водой является одним из наиболее частых загрязнений в дизельных двигателях.

Материалы и методы. В работе приведены результаты исследования совокупного влияния воды и дизельного топлива на синтетическое моторное масло при различных их концентрациях. Оценка влияния загрязнений на изменение характеристик работоспособности смазочного материала, таких как кинематическая вязкость при 40 °C (измерение проводилось на автоматическом вискозиметре Штабингера SVM 3000), щелочное и кислотное число (значения получены с помощью автоматического титратора Titroline Alpha 20 Plus), а также измерение концентрации элементов-индикаторов моторного масла на оптико-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой серии iCAP 7000.

Выводы. Наличие в моторном масле загрязнений приводит к росту кинематической вязкости, при эксплуатации моторного масла значение его щелочного числа становится меньше, а значение кислотного, наоборот, прирастает. Заменять моторные масла необходимо при снижении щелочного числа на 50% или по балансу щелочного и кислотного чисел.

Рамки исследования/возможность. Такого вида моделирование эксплуатационных воздействий низких температур позволяет понять, какова динамика ухудшения состояния масла и оценить изменение его работоспособности в процессе использования.

Оригинальность/ценность. Проведенное исследование может являться основой для разработки рекомендаций по совершенствованию технического обслуживания двигателей внутреннего сгорания для предприятий, имеющих в своем распоряжении автомобили с дизельными двигателями с целью увеличения ресурса силовых агрегатов и сокращения эксплуатационных затрат.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: моторное масло, дизельное топливо, кинематическая вязкость, кислотное число, щелочное число.

Статья поступила в редакцию 27.06.2022; одобрена после рецензирования 15.09.2022; принята к публикации 14.10.2022.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Корнеев С. В., Пашукевич С. В., Бакулина В. Д., Певнев Н. Г. Загрязнение моторных масел при зимней эксплуатации автомобилей // Вестник СибАДИ. 2022. Т.19, № 5 (87). С. 680-691. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-5-680-691>

© Корнеев С. В., Пашукевич С. В., Бакулина В. Д., Певнев Н. Г., 2022



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-5-680-691>

EDN: NHXNIV

CONTAMINATION OF ENGINE OILS DURING WINTER VEHICLE OPERATION

Sergey V. Korneev^{1,2}, Sophia V. Pashukevich^{2*}, Vera D. Bakulina², Nikolay G. Pevnev¹

¹Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)

²Omsk State Technical University
Omsk, Russia

svkorneev51@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7243-1841>

sofia96@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8111-4725>

ver-bakulina81@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6219-0506>

pevnev_ng@sibadi.org, <https://orcid.org/0000-0003-4308-7604>

*corresponding author

ABSTRACT

Introduction. The reliability and service life of an engine is largely dependent on the quality of the engine oil. Without oil at the proper level of performance, an internal combustion engine can suffer from wear and tear, which in many cases can lead to engine failure. One of the factors in the loss of the quality level of engine oil is its contamination. For example, kinematic viscosity will gradually increase as the engine oil becomes contaminated with soot, dirt and sludge; or it may be oxidized. If the viscosity of the engine oil is too high, the engine must do extra work to overcome the increased viscosity resistance.

Fuel and water dilution is one of the most common contaminants in diesel engines.

Materials and Methods. The paper presents the results of a study of the combined effect of water and diesel fuel on synthetic engine oil at their various concentrations. The influence evaluation of contaminants on changes in the performance characteristics of the lubricant, such as: kinematic viscosity at 40 ° C (measurement was carried out on an automatic Stabinger SVM 3000 viscometer), base and acid numbers (values obtained using an automatic Titroline Alpha 20 Plus titrator), as well as concentration measurement elements - indicators of engine oil on an optical emission spectrometer with inductively coupled plasma of the iCAP 7000 series.

Conclusions. The presence of contaminants in the engine oil leads to an increase in kinematic viscosity, during the operation of the engine oil, the value of its base number becomes less, and the value of the acid, on the contrary, increases. It is necessary to replace engine oils when the base number decreases by 50% or according to the balance of base and acid numbers.

Scope of Study/Opportunity. This type of low temperature performance modelling provides insight into how the oil deteriorates and evaluates the change in oil performance during use.

Originality / value. The study can be the basis for developing recommendations for improving the maintenance of internal combustion engines for enterprises that have cars with diesel engines at their disposal in order to increase the resource of power units and reduce operating costs.

KEYWORDS: engine oil, diesel fuel, kinematic viscosity, acid number, base number.

The article was submitted 27.06.2022; approved after reviewing 15.09.2022; accepted for publication 14.10.2022.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Sergey V. Korneev, Sophia V. Pashukevich, Vera D. Bakulina, Nikolay G. Pevnev Contamination of engine oils during winter vehicle operation. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022; 19 (5): 680-691. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-5-680-691>

© Korneev S. V., Pashukevich S. V., Bakulina V. D., Pevnev N. G., 2022



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Основное назначение моторного масла – это обеспечение смазывания пар трения двигателей. Таким образом, моторное масло уменьшает внутренние механические потери на трение в двигателе, но, кроме этого, оно обеспечивает охлаждение движущихся частей двигателя, поскольку рассеивает тепло; поддерживает чистоту поверхностей двигателя; предотвращает коррозию и ржавчину; помогает легко запускать двигатели внутреннего сгорания даже при низких температурах; защищает систему выбросов отработанных газов; помогает повысить экономию топлива, так как действует как заполнитель зазора между поршнем и цилиндром и тем самым герметизирует камеру сгорания, что помогает повысить эффективность и производительность двигателя [1].

Во время воздействия высокой температуры на моторное масло, при наличии кислорода, существует риск того, что масло вступит в реакцию с кислородом с образованием органических соединений, в том числе и кислот, которые могут вызывать химический износ и образование различных отложений на деталях двигателя [2].

Автомобильные смазочные материалы защищены от окисления за счёт введения антиоксидантных добавок, которые реагируют с кислородом и, таким образом, уменьшают вероятность того, что кислород прореагирует с основой масла. Кроме того, щелочные добавки (детергентные присадки) в масле нейтрализуют минеральные и органические кислоты, которые могут образовываться [3].

Основа смазочного материала выполняет важную функцию: транспортировка различных защитных химических добавок на участки, на которых они необходимы, и отвод нежелательных продуктов от мест, где они образуются.

Например, моторное масло транспортирует противоизносные поверхностно-активные агенты к носу кулачка на распределительном валу, область, в которой химические вещества необходимы для защиты от износа, когда толкатель скользит по носу кулачка. Защитные противоизносные агенты не так критичны, когда используется роликовый толкатель, чем скользящий контакт [4].

Разнообразие функций автомобильных компонентов сильно влияет на характеристики смазочного материала, необходимых для благоприятного использования.

При зимней эксплуатации двигателей автомобилей существует несколько проблем,

которые нужно учитывать при разработке и применении моторных масел. Учитывать вязкостно-температурную характеристику масел научились, но не учитывают некоторые особенности воздействия на моторные масла низких температур. Одна из главных проблем, связанная с образованием низкотемпературных шламов, – это поступление воды в масло. Вода накапливается в результате конденсационных процессов при запуске холодного двигателя из-за поступления газов из камеры сгорания в картер. При длительной работе двигателя и прогреве масла вода может выпариваться [5].

Вторым значительным загрязнителем моторного масла в зимнее время года является топливо. Топливо попадает в моторное масло из камеры сгорания через зазоры в цилиндро-поршневой группе в результате увеличения длительности прокрутки коленчатого вала до запуска двигателя. Кроме этого, при низких температурах увеличивается период задержки воспламенения, что тоже способствует поступлению топлива в моторное масло из-за несвоевременного и неполного сгорания топлива [6].

Отложения в двигателях внутреннего сгорания. В дизельных двигателях используют либо впрыск под углом впрыск (IDI), либо прямой впрыск (DI) топлива. В прошлом IDI использовался для небольших дизельных двигателей. Тем не менее большинство современных двигателей перешли на прямой впрыск, который более экономичен. Топливо впрыскивается в горячий сжатый воздух, где оно самовоспламеняется. Для обеспечения полноты сгорания и низкого процента выбросов при распылении топливовоздушной смеси важен контроль соотношения топлива и воздуха [7].

Для плавного сгорания в современных дизельных двигателях первоначально впрыскивается небольшое количество топлива, чтобы начать воспламенение. Затем следует постепенный впрыск топлива в горящую смесь. Этот подход требует очень точной конструкции форсунки. Хорошее распыление необходимо для тщательного перемешивания воздушной массы и топлива, что обеспечивает плавное сгорание. Соответственно, чистые топливные форсунки имеют решающее значение для эффективной работы дизельного двигателя. Топливная форсунка является высокоточным изделием, которое предназначено для дозирования дизельного топлива с высокой степенью точности. Распылитель форсунки находится в прямом контакте с зоной сгорания и любые отложения в этом месте могут значительно изменить её производительность [8].

Суперчистые распылители стали важным требованием в современном дизельном двигателе, поскольку системы впрыска под высоким давлением все чаще используются как в маломощных, так и в моторах большой мощности. Производительность дизельного двигателя по мощности, расход топлива и выбросы зависят в основном от чистоты форсунки, поскольку чрезмерные отложения нарушают форму распыления и затрудняют подачу топлива. Горюче-смазочные материалы могут образовывать отложения в области сопел топливной форсунки, которые подвергаются воздействию высоких температур при сгорании топлива. Состав отложений зависит от состава топлива, конструкции двигателя, состава смазки и рабочих параметров [9].

Как уже упоминалось выше, на концах топливных форсунок образуются отложения за счет образования кокса у отверстий для распыления топлива. Эти отложения замедляют реакцию топливной форсунки и могут вызвать прилипание движущихся внутренних частей. Результатом является потеря контроля времени функционирования форсунки и количества топлива, поставленного за один выпуск. В результате автомобиль будет испытывать работу двигателя с перебоями, а также нежелательные колебания мощности и потерю экономии топлива, помимо других проблем управляемости двигателем ещё это способствует поступлению топлива в моторное масло [10].

Сажа является наиболее вредным загрязнителем в современных дизельных двигателях. Она генерируется во время процесса неполного сгорания топлива и может попадать в масло через зазоры в цилиндро-поршневой группе. Даже в современных дизельных двигателях, отвечающих последним нормам выбросов, уровень сажи может достигать 5% или более. При длительной эксплуатации масла и наличии рециркуляции картерных газов (EGR) уровень сажи становится выше [11].

В дизельных двигателях с непосредственным впрыском время для испарения топлива и смешения с воздухом значительно короче. Поэтому сжигание богатых топливом смесей может быть неполным, что приводит к образованию сажи в дизельных двигателях DI.

Контроль отложений в двигателе является фундаментальной необходимостью для обеспечения длительного срока службы и эффективности работы двигателя. Образование отложений зависит от конструкции двигателя, условий эксплуатации, технического обслуживания, типа топлива и сгорания, а также от характеристик масла. Отложения влияют на мощность двигателя и его производительность, износ, шум, плавность, экономичность, срок службы и стоимость обслуживания. Наглядно усугубляющее воздействие загрязненных моторных масел на детали двигателя можно продемонстрировать с помощью рисунков 1 и 2.



Рисунок 1 – Отложения на стенках ротора фильтра центробежной очистки
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Sediments on the walls of the centrifugal filter rotor
Source: compiled by the authors.



Рисунок 2 – Отложения на поверхностях деталей цилиндро-поршневой группы
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Sediments on the surfaces of parts of the cylinder-piston group
Source: compiled by the authors.

Двумя важнейшими источниками отложений в двигателе являются: попадание грязи с топливом и воздухом для горения, а также сам процесс сгорания топлива. Грязь в воздухе или топливе вызывает абразивный износ. Отложения на поршневых коронках в кольцевых канавках и на клапанах состоят из твердых остатков от сгорания, такие как топливная сажа, смазочное масло на различных стадиях разложения и остатки от присадок к моторным маслам. Важно отметить, что любой анализ отложений двигателя покажет наличие металлов-индикаторов присадок, вводимых в моторные масла [12, 13, 14].

Температура в зоне горения высокая; таким образом, продолжающееся воздействие на моторное масло в этой области вызывает его окисление, деструкцию и полимеризацию в более тяжелые углеводороды. В зоне сгорания может находиться избыточное количество масла, достигающего верхней области цилиндра [15].

Другими возможными причинами являются неисправности топливной системы, неподходящие виды топлива, которые вызывают менее полное сгорание, плохое зажигание, не-

исправные или изношенные направляющие клапаны или изношенные цилиндры и кольца [16].

Отложения в кольцевых канавках по происхождению сходны с отложениями в камерах сгорания, но из-за того, что они не подвергаются прямому пламени горения, они могут быть более насыщены углеродом [17].

В нижней части поршней (более холодные участки) отложения имеют тенденцию к более высокому содержанию масла. В тяжелых случаях отложения в кольцевых канавках могут быть так плотны в зазорах позади компрессионных поршневых колец, что кольца теряют подвижность. При потере подвижности поршневых колец (залегании) нарушается герметичность камеры сгорания, а это приводит к уменьшению компрессии, интенсивному поступлению газов и топлива в картер и в моторное масло [18].

Лаковые отложения на поршне также могут быть образованы из продуктов разложения топлива и масла. Эти отложения могут отличаться более гладким, блестящим, почти прозрачным покрытием, часто называемые лаком, и изменяться до темного непрозрачного вида,

которое становится все более насыщенным углеродом в процессе использования масла [19].

Иногда наблюдаются отложения на клапанах. Это результат разложения продуктов сгорания как топлива, так и масла, они образуются аналогично отложениям в камере сгорания. На впускных клапанах может быть больше отложений, чем на выпускных, особенно когда они интенсивно охлаждаются при работе с низкими нагрузками. При таких условиях есть большая вероятность попадания капель топлива и веществ от EGR, образующих смолы на стержнях клапанов, в моторное масло. Грязь и твердые загрязнители будут прилипать к этим липким отложениям. В некоторых конструкциях двигателей с верхним расположением клапанов масло попадает во впускной коллектор, затем в камеру сгорания, не сгорает полностью, но значительно окисляется до многих радикалов и попадает с просочившимися картерными газами в картер, что ускоряет образование отложений [20].

Другим основным типом отложений являются эмульсия и шлам, образованные водой, разложением топливных остатков и твердых остатков. Шлам обычно оседает на более холодных поверхностях двигателя, таких как дно поддона картера, клапанные камеры и верх головки цилиндров. Основная проблема состоит в том, что этот тип отложений может быть собран моторным маслом и перенесен в такие области, как масляный насос, впускной клапан или масляные каналы, где он может препятствовать прохождению потока масла и вызывать сбой режима смазки [21].

Хотя внешний вид отложений в двигателе сильно различается, в основном эти отложения являются результатом процессов сгорания и деградации углеводородов.

Вода является негативным фактором, а свойства, которые способствуют удержанию воды в моторном масле, приводят к образованию шлама [22].

Качество обслуживания двигателя, которое влияет на процесс смазывания подвижных деталей, имеет большое значение. Необходимо иметь чистый воздух для сгорания и вентиляции картера, это означает, что воздушные фильтры и система принудительной вентиляции картера должны регулярно обслуживаться. Засоренный воздушный фильтр, хотя он может эффективно очищать воздух от механических примесей, но может и ограничивать подаваемый в цилиндры объем воздуха, доводя двигатель до такого состояния,

что выходная мощность может значительно снизиться, так как кислорода может не хватать для полного окисления топлива. Это особенно актуально при значительной подаче топлива на переходных режимах работы двигателя. Дизельные двигатели довольно чувствительны к такому состоянию, а это может привести к большому количеству дыма, быстрому накоплению отложений в двигателе и увеличению сажи в масле. В дополнение к этому при обслуживании фильтров важно, чтобы трубопровод, соединяющий фильтр с двигателем, был герметичным и не имел подсоса из внешней среды [23].

Работавшее масло из двигателя внутреннего сгорания поршневого типа представляет собой смесь продуктов сильного окисления топлива и базового масла, которое окисляется относительно медленно в сравнении с алканами топлива. Изменения в масле особенно характерны для дизельных двигателей, где масло после эксплуатации содержит такие продукты глубокой окислительной конверсии, как нагар и смолистые вещества. Изменение температуры масла в картере в пределах всего 80–140 °C уже дает начальную степень окисления. Если объем системы смазки двигателя уменьшается, концентрация продуктов окисления в масле увеличивается значительно быстрее [24].

Проведение эксперимента. Данный эксперимент проводили на приборе АПСМ-1М, а непосредственное окисление происходило в вакуумметрах ВТИ с использованием кислорода в присутствии катализатора (рисунок 3).

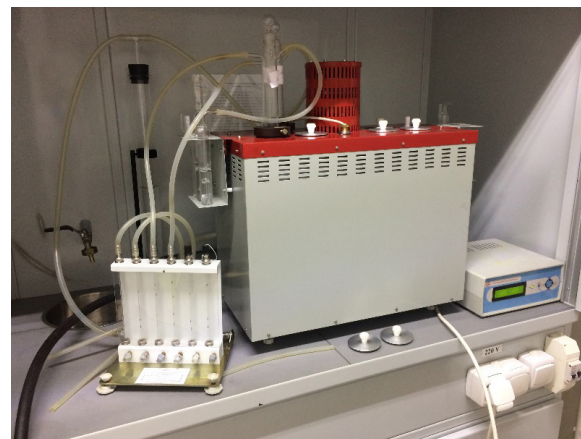


Рисунок 3 – Прибор АПСМ-1М для определения стабильности против окисления нефтяных масел
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – APSM-1M appliance for determining the stability against oxidation of petroleum oils
Source: compiled by the authors.

В связи с тем, что конструкция данного прибора не позволяет проводить эксперимент при наличии кипящей воды, температура эксперимента, основываясь на температурном режиме основной системы циркуляции масла, была выбрана при значении 95 °C.

Окисление проводилось в течение 5 ч, концентрации дизельного топлива и воды были выбраны следующими:

1. 99,1 г. моторного масла Gazpromneft Diesel Ultra 10W-40 +0,3%ДТ +0,6% воды;
2. 98,5 г. моторного масла Gazpromneft Diesel Ultra 10W-40 +0,5%ДТ +1% воды;
3. 99,5 г. моторного масла Gazpromneft Diesel Ultra 10W-40 +0,1%ДТ +0,4% воды.

После выполнения окисления моторному маслу с дизельным топливом и водой дали время остыть, затем перелили в небольшие емкости (рисунок 4), после чего оно отстаивалось в течение суток.



Рисунок 4 – Результат окисления моторного масла Gazpromneft Diesel Ultra 10W-40 с различными концентрациями дизельного топлива и воды при 95 °C и в течение 5 ч
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – The result of the oxidation of Gazpromneft Diesel Ultra 10W-40 engine oil with various concentrations of diesel fuel and water at 95°C and for 5 hours
Source: compiled by the authors.

Видно, что чем выше концентрация воды в моторном масле, тем больше в образцах образуется низкотемпературного шлама, наличие которого является крайне нежелательным условием для поверхностей подвижных деталей двигателя. Эта ситуация является типичной для автомобильной техники, оснащенной дизельными двигателями, потому анализ таких характеристик работоспособности, как кинематическая вязкость при 40 °C, кислотное число, щелочное число и определение количества элементов-индикаторов присадок, содержащихся в моторном масле, выглядит целесообразным и обоснованным.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Как правило, вязкость считается тестом с запаздывающим индикатором, означающим, что что-то случилось, что вызвало изменение вязкости масла. Чаще всего использование масла неправильной марки является причиной внезапного и значительного изменения вязкости, но другие основные причины включают потерю вязкости, изменение индекса вязкости, при деструкции загустителя, или загрязнение водой, топливом или другими загрязнителями.

Чрезмерное тепло, влажность, воздействие воздуха и повышенные концентрации металлов (выступающие в качестве катализаторов) могут привести к окислению масла, что также приведет к изменению вязкости.

Увеличение вязкости масла, полученное в этом испытании, указывает на склонность масла к окислению (рисунок 5). Помимо этого загрязнение частицами сажи, а также значимым объемом воды и топлива может повлечь за собой достаточно резкое изменение кинематической вязкости.

Если моторное масло окисляется, то его цвет становится темнее, а значение кислотного числа увеличивается из-за создания осадка, шлама и лака. Кислотное число является показателем работоспособности масла, он полезен для мониторинга накопления кислоты в маслах из-за истощения антиоксидантов. Окисление масла вызывает образование кислых побочных продуктов. Высокие уровни органических кислот могут указывать на чрезмерное окисление масла или истощение антиокислительных присадок и могут привести к коррозии деталей двигателя. Контролируя значение кислотного числа, моторное масло должно быть заменено при достижении предельных значений и до того, как произойдет какое-либо повреждение двигателя. Поскольку антиоксиданты могут находиться в шламах, а это приведет к тому, что образующиеся кислоты не будут нейтрализованы и их концентрация начнет быстро увеличиваться. Отслеживая результаты по кислотному числу, можно определить уровень работоспособности смазочного материала (рисунок 6).

Для борьбы с окислением в масле используются антиоксиданты. Они останавливают свободнорадикальные реакции, которые атакуют связь углерод-водород и разрушают базовое масло, создавая тем самым более высокий уровень окисления и повышая потребность в детергентных (моющих) присадках для удаления отложений.



Рисунок 5 – Сравнительные значения кинематической вязкости окисленного моторного масла Gazpromneft Diesel Ultra 10W-40 с различными концентрациями дизельного топлива и воды
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Comparative values of the kinematic viscosity of the oxidized Gazpromneft Diesel Ultra 10W-40 engine oil with different concentrations of diesel fuel and water
Source: compiled by the authors.



Рисунок 6 – Сравнительные значения кислотных чисел окисленного моторного масла Gazpromneft Diesel Ultra 10W-40 с различными концентрациями дизельного топлива и воды
Источник: материалы соавторов.

Figure 6 – Comparative values of acid numbers of oxidized Gazpromneft Diesel Ultra 10W - 40 engine oil with various concentrations of diesel fuel and water
Source: compiled by the authors.

Детергентные присадки используются для очистки побочного продукта окисленного масла, который возникает, когда антиоксиданты не могут эффективно нейтрализовать кислоты, создавая химическую реакцию с осадком и предшественниками лака, чтобы нейтрализовать их и сохранить в растворимом состоянии.

Щелочное число не измеряет накопление продуктов окисления или антиоксидантов, а скорее измеряет истощение детергентов, присутствующих в моторном масле, для нейтра-

лизации кислотных картерных газов, которое происходит из-за низкого уровня антиоксидантов в масле. Поскольку моющий компонент расходуется в качестве нейтрализатора органических и минеральных кислот, щелочное число уменьшается по сравнению с его первоначальным значением у свежего масла. Мониторинг данного показателя позволяет заблаговременно пополнять масло или заменять до потери защиты, обеспечиваемой этой присадкой (рисунок 7).

Щелочное число



Рисунок 7 – Сравнительные значения кислотных чисел окисленного моторного масла Gazpromneft Diesel Ultra 10W–40 с различными концентрациями дизельного топлива и воды
Источник: составлено авторами.

Figure 7 – Comparative values of acid numbers of oxidized Gazpromneft Diesel Ultra 10W- 40 engine oil with different concentrations of diesel fuel and water
Source: compiled by the authors.

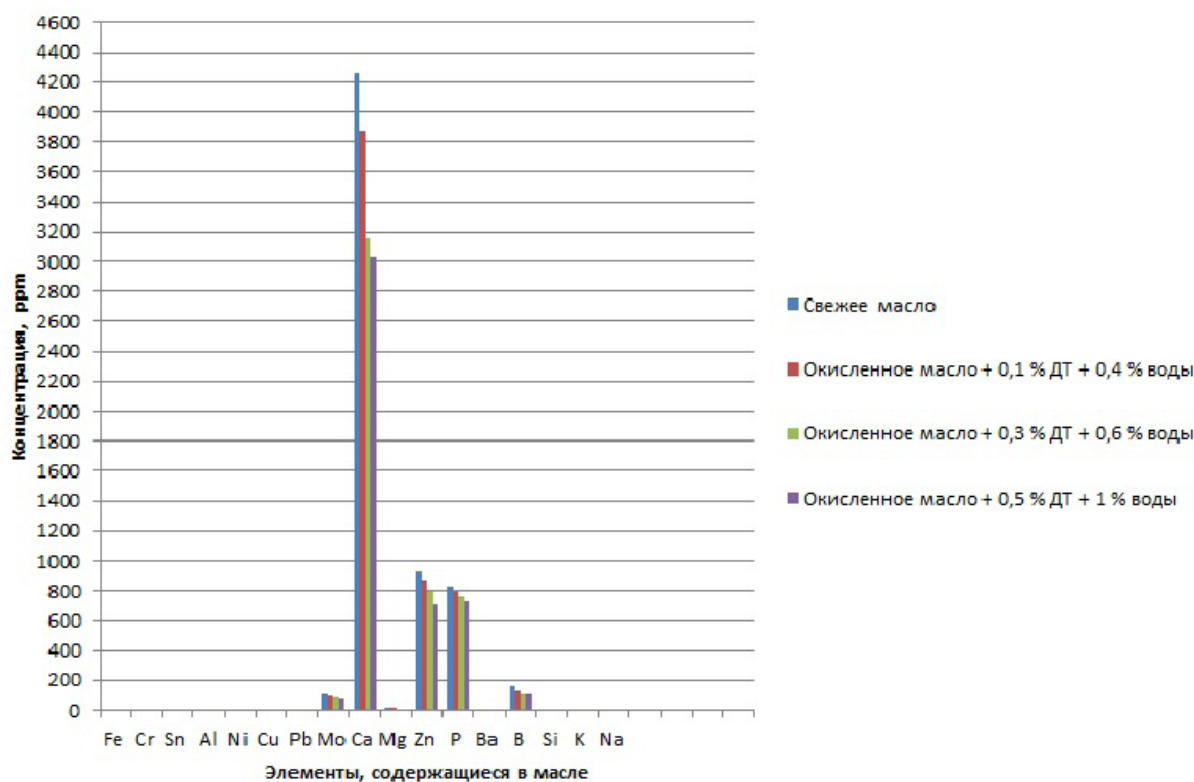


Рисунок 8 – Сравнительные значения концентрации элементов-индикаторов окисленного моторного масла Gazpromneft Diesel Ultra 10W – 40 с различными концентрациями дизельного топлива и воды
Источник: составлено авторами.

Figure 8 – Comparative values of the concentration of elements - indicators of oxidized Gazpromneft Diesel Ultra 10W – 40 engine oil with different concentrations of diesel fuel and water
Source: compiled by the authors.

Снижение концентрации молибдена в моторном масле влечет за собой проблемы, связанные с износом поршневых колец двигателя. Чем больше будет концентрация дизельного топлива и воды в моторном масле, тем сильнее упадет значение данного модификатора трения. Кальций, элемент-индикатор детергентной присадки, она помогает поверхностям подвижных деталей двигателя избавиться от крайне нежелательных отложений в виде нагара, лаковых отложений и прочего. Падение концентрации кальция в моторном масле также нежелательно и говорит о том, что основная функция масла – моющая – не находится на должном уровне. Таким же образом можно описать и действие магния, который в некоторых случаях борется с отложениями гораздо эффективнее, чем кальций. Цинк и фосфор являются важнейшими представителями противоизносных присадок для моторных масел, и необходимая их концентрация позволяет защитить от повреждения подвижные детали двигателя. Снижение их концентрации влечет за собой только негативные явления. Уменьшение значения содержания бора в моторном масле говорит о том, что моторное масло не на должном уровне снижает трение между частями двигателя в автомобильной технике. Для моторных масел очень небольшое количество кремнийорганических веществ, добавляемых в смазку, может значительно уменьшить пенообразование, но при спаде концентрации кремния должного пеногашения при эксплуатации двигателя достигнуто не будет (рисунок 8).

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При зимней эксплуатации автомобилей наблюдается совокупное загрязнение моторных масел водой и дизельным топливом.

Сам факт, что в моторное масло попали дизельное топливо и вода, носит негативный характер, но это еще усугубляет процесс окисления в двигателях внутреннего сгорания. В совокупности это чревато тем, что возникают отложения, которые создают большие проблемы в дальнейшей эксплуатации автомобильной техники.

При окислении и старении смазочного материала образуются кислые побочные продукты в результате деструкции топлива, базовой основы и присадок в присутствии кислорода воздуха и тепла. Высокая концентрация кислотных соединений в смазочном материале может привести к коррозии деталей машин из-за загрязненного масла, нарушению работы фильтров из-за образования лака и шла-

ма. Это способствует образованию отложений на большинстве поверхностей двигателя, включая такие, которые могут вызвать потерю подвижности поршневых колец в канавках поршня.

Заменять моторные масла необходимо при снижении щелочного числа на 50% или по балансу щелочного и кислотного чисел.

По снижению концентрации элементов-индикаторов присадок в моторном масле можно судить о их срабатываемости и необходимости замены масла в двигателе.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Wang Y., Zhuang Y., Yao M. Qin Y, Zheng Zh. An experimental investigation into the soot particle emissions at early injection timings in a single-cylinder research diesel engine. *Fuel*. 2022. 316: 123288. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123288>.
2. Zhang Ch., Li Y., Liu Zh., Liu J. An investigation of the effect of plateau environment on the soot generation and oxidation in diesel engines. 2022. *Energy*. 253:124086. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124086>.
3. E. J., Xu W., Ma Y., Tan D., Peng Q., Tan Y., Chen L. Soot formation mechanism of modern automobile engines and methods of reducing soot emissions: A review. *Fuel Processing Technology*. 2022. 235:107373, <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2022.107373>.
4. Wolak A., Molenda J., Zając G., Janocha P. Identifying and modelling changes in chemical properties of engine oils by use of infrared spectroscopy. *Measurement*. 2021: 186.110141. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110141>.
5. Пашукевич С. В. Классификация загрязнителей моторных масел для дизельных двигателей. Вестник СибАДИ. 2022. № 1(83).С. 84–100. DOI 10.26518/2071-7296-2022-19-1-84-84-100.
6. Корнеев С. В. Влияние воды на изменение показателей качества моторного масла. Вестник СибАДИ. 2021. № 4(80). С. 406–415. DOI 10.26518/2071-7296-2021-18-4-406-415.
7. Korneev S. V., Bakulina V. D., Yarmovich Y. V., Pashukevich S. V. Influence of base oils on changes in the performance characteristics of motor oils when exposed to high temperatures and diluted with fuel. AIP Conference Proceedings. 2021. 020001. DOI 10.1063/5.0075527.
8. Esfe M. H., Esfandeh S., Arani A.A. A. Proposing a modified engine oil to reduce cold engine start damages and increase safety in high temperature operating conditions. *Powder Technology*. 2019.355: pp. 251-263. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.07.009>
9. Notay R. S., Priest M., Fox M. F. The influence of lubricant degradation on measured piston ring film thickness in a fired gasoline reciprocating engine. *Tribology International*. 2019. 129: pp 112-123. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.07.002>.
10. Tormos B., Novella R., Gomez-Soriano J., García-Barberá A., Tsuji N., Uehara I., Alonso M. Study of the influence of emission control strategies on the

soot content and fuel dilution in engine oil. *Tribology International*. 2019. 136: pp. 285-298. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.03.066>.

11. Agocs A., Nagy A. L., Tabakov Z., Perger J., Rohde-Brandenburger J., Schandl M., Besser Ch., Dörr N. Comprehensive assessment of oil degradation patterns in petrol and diesel engines observed in a field test with passenger cars – Conventional oil analysis and fuel dilution. *Tribology International*. 2021. 161:107079. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2021.107079>.

12. Kozina A., Radica G., Nižetić S. Analysis of methods towards reduction of harmful pollutants from diesel engines. *Journal of Cleaner Production*. 2020. 262: 121105. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121105>.

13. Huang Y., Ng E. C.Y., Yam Ya, Lee C. K.C., Surawski N. C., Mok W., Organ B., Zhou J. L., Chan E. F.C. Impact of potential engine malfunctions on fuel consumption and gaseous emissions of a Euro VI diesel truck. *Energy Conversion and Management*. 2019. 184: pp. 521-529. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.01.076>.

14. Jamil A., Baharom M. B., Aziz A. R. A. IC engine in-cylinder cold-flow analysis – A critical review. *Alexandria Engineering Journal*. 2021. 60: pp. 2921-2945. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.01.040>.

15. Yadav G., Tiwari S., Jain M.L. Tribological analysis of extreme pressure and anti-wear properties of engine lubricating oil using four ball tester. *Materials Today: Proceedings*. 2018. 5: pp. 248-253. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.079>.

16. Salehi F. M., Morina A., Neville A. The effect of soot and diesel contamination on wear and friction of engine oil pump. *Tribology International*. 2017. 115: pp. 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2017.05.041>.

17. Omar A. Al Sh., Salehi F. M., Farooq U., Morina A., Neville A. Chemical and physical assessment of engine oils degradation and additive depletion by soot. *Tribology International*. 2021. 160: 107054. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2021.107054>.

18. Rostek E., Babiak M. The experimental analysis of engine oil degradation utilizing selected thermoanalytical methods. *Transportation Research Procedia*. 2019. 40: pp. 82-89. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.014>.

19. Mohanty S., Hazra S., Paul S. Intelligent prediction of engine failure through computational image analysis of wear particle. *Engineering Failure Analysis*. 2020. vol. 116. pp. 104731. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104731>.

20. Vrcek A., Hultqvist T., Baubet Y., Björling M., Marklund P., Larsson R. Micro-pitting and wear assessment of engine oils operating under boundary lubrication conditions. *Tribology International*. 2019. 129: 338-346. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.08.032>.

21. Slavchov R. I., Salamanca M., Russo D., Salama I., Mosbach S., Clarke S. M., Kraft M., Lapkin A. A., Filip S.V. The role of NO₂ and NO in the mechanism of hydrocarbon degradation leading to carbonaceous deposits in engines. *Fuel*. 2020. 267:117218. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117218>.

22. Ferraro G., Fratini E., Rausa R., Baglioni P. Impact of oil aging and composition on the morphology and structure of diesel soot. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2018. 512: 291-299. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.10.033>.

23. Deulgaonkar V. R., Pawar K., Kudle P., Ravarkar A., Raut A. Failure analysis of fuel pumps used for diesel engines in transport utility vehicles. *Engineering Failure Analysis*. 2019. 105: 1262-1272. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.07.048>.

24. Venkatachalam G., Kumaravel A. Experimental Investigations on the Failure of Diesel Engine Piston. *Materials Today: Proceedings*. 2019. vol. 16. pp. 1196-1203. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.05.214>.

REFERENCES

1. Wang Y., Zhuang Y., Yao M. Qin Y, Zheng Zh. An experimental investigation into the soot particle emissions at early injection timings in a single-cylinder research diesel engine. *Fuel*. 2022. 316: 123288. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123288>.

2. Zhang Ch., Li Y., Liu Zh., Liu J. An investigation of the effect of plateau environment on the soot generation and oxidation in diesel engines. 2022. *Energy*. 253:124086. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124086>.

3. E. J., Xu W., Ma Y., Tan D., Peng Q., Tan Y., Chen L. Soot formation mechanism of modern automobile engines and methods of reducing soot emissions: A review. *Fuel Processing Technology*. 2022. 235:107373. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2022.107373>.

4. Wolak A., Molenda J., Zajac G., Janocha P. Identifying and modelling changes in chemical properties of engine oils by use of infrared spectroscopy. *Measurement*. 2021: 186.110141. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110141>.

5. Pashukevich S.V. Classification of contaminants in diesel engine oils. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022;19(1):84-100. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-1-84-84-100>.

6. Korneev S.V., Pashukevich S.V. The influence of water on the change in engine oil quality indicators. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021;18(4):406-415. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-4-406-415>.

7. Korneev S. V., Bakulina V. D., Yarmovich Y. V., Pashukevich S. V. Influence of base oils on changes in the performance characteristics of motor oils when exposed to high temperatures and diluted with fuel. *AIP Conference Proceedings*. 2021. 020001. DOI 10.1063/5.0075527.

8. Esfe M. H., Esfandeh S., Arani A.A. A. Proposing a modified engine oil to reduce cold engine start damages and increase safety in high temperature operating conditions. *Powder Technology*. 2019.355: pp. 251-263. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.07.009>.

9. Notay R. S., Priest M., Fox M. F. The influence of lubricant degradation on measured piston ring film thickness in a fired gasoline reciprocating engine. *Tri-*

bology International. 2019. 129: pp 112-123. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.07.002>.

10. Tormos B., Novella R., Gomez-Soriano J., García-Barberá A., Tsuji N., Uehara I., Alonso M. Study of the influence of emission control strategies on the soot content and fuel dilution in engine oil. *Tribology International*. 2019. 136: pp. 285-298. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.03.066>.

11. Agocs A., Nagy A. L., Tabakov Z., Perger J., Rohde-Brandenburger J., Schandl M., Besser Ch., Dörr N. Comprehensive assessment of oil degradation patterns in petrol and diesel engines observed in a field test with passenger cars – Conventional oil analysis and fuel dilution. *Tribology International*. 2021. 161:107079. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2021.107079>.

12. Kozina A., Radica G., Nižetić S. Analysis of methods towards reduction of harmful pollutants from diesel engines. *Journal of Cleaner Production*. 2020. 262: 121105. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121105>.

13. Huang Y., Ng E. C.Y., Yam Ya, Lee C. K.C., Surawski N. C., Mok W., Organ B., Zhou J. L., Chan E. F.C. Impact of potential engine malfunctions on fuel consumption and gaseous emissions of a Euro VI diesel truck. *Energy Conversion and Management*. 2019. 184: pp. 521-529. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.01.076>.

14. Jamil A., Baharom M. B., Aziz A. R. A. IC engine in-cylinder cold-flow analysis – A critical review. *Alexandria Engineering Journal*. 2021. 60: pp. 2921-2945. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.01.040>.

15. Yadav G., Tiwari S., Jain M.L. Tribological analysis of extreme pressure and anti-wear properties of engine lubricating oil using four ball tester. *Materials Today: Proceedings*. 2018. 5: pp. 248-253. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.079>.

16. Salehi F. M., Morina A., Neville A. The effect of soot and diesel contamination on wear and friction of engine oil pump. *Tribology International*. 2017. 115: pp. 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2017.05.041>.

17. Omar A. Al Sh., Salehi F. M., Farooq U., Morina A., Neville A. Chemical and physical assessment of engine oils degradation and additive depletion by soot. *Tribology International*. 2021. 160: 107054. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2021.107054>.

18. Rostek E., Babiak M. The experimental analysis of engine oil degradation utilizing selected thermoanalytical methods. *Transportation Research Procedia*. 2019. 40: pp. 82-89. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.014>.

19. Mohanty S., Hazra S., Paul S. Intelligent prediction of engine failure through computational image analysis of wear particle. *Engineering Failure Analysis*. 2020. vol. 116. pp. 104731. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104731>.

20. Vreck A., Hultqvist T., Baubet Y., Björling M., Marklund P., Larsson R. Micro-pitting and wear assessment of engine oils operating under boundary lubrication conditions. *Tribology International*. 2019. 129: 338-346. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.08.032>.

21. Slavchov R. I., Salamanca M., Russo D., Salama I., Mosbach S., Clarke S. M., Kraft M., Lapkin A. A., Filip S.V. The role of NO₂ and NO in the mechanism of hydrocarbon degradation leading to carbonaceous deposits in engines. *Fuel*. 2020. 267:117218. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117218>.

22. Ferraro G., Fratini E., Rausa R., Baglioni P. Impact of oil aging and composition on the morphology and structure of diesel soot. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2018. 512: 291-299. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.10.033>.

23. Deulgaonkar V. R., Pawar K., Kudle P., Raverkar A., Raut A. Failure analysis of fuel pumps used for diesel engines in transport utility vehicles. *Engineering Failure Analysis*. 2019. 105: 1262-1272. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.07.048>.

24. Venkatachalam G., Kumaravel A. Experimental Investigations on the Failure of Diesel Engine Piston. *Materials Today: Proceedings*. 2019. vol. 16. pp. 1196-1203. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.05.214>.

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Корнеев С. В. 25 %

Пашукевич С. В. 25 %

Бакулина В. Д. 25 %

Певнев Н. Г. 25 %

COAUTHOR'S CONTRIBUTION

Sergey V. Korneev 25 %

Sophia V. Pashukevich 25 %

Vera D. Bakulina 25 %

Nikolay G. Pevnev 25 %

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Корнеев Сергей Васильевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Тепловые двигатели и авто-тракторное электрооборудование», проф. кафедры «Химия и химическая технология».

Пашукевич София Вячеславовна – аспирант группы Ма – 202 кафедры «Химия и химическая технология».

Бакулина Вера Дмитриевна – ассистент, инженер кафедры «Химия и химическая технология».

Певнев Николай Гаврилович – д-р техн. наук, проф. кафедры «Автомобильный транспорт».

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Sergey V. Korneev – Doctor of Sci., Professor, Heat Engines and Motor and Tractor Equipment Department, Chemistry and Chemical Technology Department.

Sophia V. Pashukevich – Postgraduate student, Chemistry and Chemical Technology Department.

Vera D. Bakulina – Assistant, Engineer of the Chemistry and Chemical Technology Department.

Nikolay G. Pevnev Gavrilovich – Doctor of Sci., Professor, Department Automobile transport.