

Научная статья
УДК 621.892.28
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-6-728-737>
EDN: OKGGSO



АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МОТОРНОГО МАСЛА ВСЛЕДСТВИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЙ И ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТЬЮ

С.В. Пашукевич

Омский государственный технический университет (ОмГТУ),
г. Омск, Россия
safia96@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8111-4725>

АННОТАЦИЯ

Введение. В процессе эксплуатации тяжело нагруженной дизельной техники в районах с низкотемпературным климатом моторные масла подвергаются загрязнению со стороны охлаждающей жидкости и воды. Попадание данных веществ в смазочный материал приводит к ухудшению его показателей качества, что впоследствии влечет проблемы в узлах двигателя внутреннего сгорания.

Актуальность. Ухудшение значений показателей качества моторного масла напрямую связано с наличием воды и охлаждающей жидкости в нем. Не всегда возможно объективно отследить пути утечек данных загрязнителей, а это, в свою очередь, приводит к серьезным последствиям в виде износа соприкасающихся поверхностей деталей двигателя, коррозии. Важна также и оценка ресурса пакетов присадок смазочного материала вследствие разжижения его водой и антифризом.

Материалы и методы. В данной работе приведены результаты литературного обзора, направленного на изучение путей попадания охлаждающей жидкости и воды при эксплуатации дизельных двигателей, их влияния на физико-химические свойства моторных масел. Обозначены краткие сведения о составе охлаждающей жидкости.

Выводы. Попадание воды и охлаждающей жидкости в моторное масло влечет за собой увеличение кинематической вязкости смазочного материала, а также к образованию отложений на поверхностях пар трения двигателя. Помимо этого в картере двигателя возникают шарообразные соединения, представляющие собой совокупность разрушенных пакетов присадок и гликоля. Интервалы замены масла необходимо контролировать при повышенной интенсивности поступления воды и охлаждающей жидкости в моторное масло.

Рамки исследования/возможность. Такого вида исследование поможет определить причины проникновения воды и охлаждающей жидкости в картерное пространство, понять последствия использования загрязненного водой и охлаждающей жидкостью моторного масла.

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, окисление, вода, двигатель внутреннего сгорания, охлаждающая жидкость, износ, присадки

Статья поступила в редакцию 19.09.2023; одобрена после рецензирования 14.11.2023; принята к публикации 20.12.2023.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Пашукевич С.В. Анализ работоспособности моторного масла вследствие загрязнения водой и охлаждающей жидкостью // Вестник СибАДИ. 2023. Т. 20, № 6 (94). С. 728-737. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-6-728-737>

© Пашукевич С.В., 2023



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Origin article
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-6-728-737>
EDN: OKGGSO

MOTOR OIL PERFORMANCE ANALYSIS DUE TO WATER AND COOLANT CONTAMINATION

Sofia V. Pashukevich

Omsk State Technical University (OmSTU),

Omsk, Russia

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

ABSTRACT

Introduction. During the operation of heavy-duty diesel equipment in areas with a low-temperature climate, engine oils are contaminated by coolant and water. The ingress of these substances into the lubricant leads to a deterioration in its quality indicators, which subsequently leads to problems in the nodes of the internal combustion engine.

Relevance. The deterioration of the values of engine oil quality indicators is directly related to the presence of water and coolant in it. It is not always possible to objectively track the ways of leakage of these pollutants, and this, in turn, leads to serious consequences in the form of wear of the contacting surfaces of engine parts, corrosion. It is also important to evaluate the resource of lubricant additive packages due to its dilution with water and antifreeze.

Materials and methods. This paper presents the results of a literature review aimed at studying the ways of coolant and water ingress during the operation of diesel engines, their influence on the physical and chemical properties of motor oils. The brief information about the composition of the coolant is indicated.

Conclusions. The ingress of water and coolant into the engine oil leads to an increase in the kinematic viscosity of the lubricant, as well as to the formation of deposits on the surfaces of the engine friction pairs. In addition, spherical compounds appear in the crankcase of the engine, which are a combination of destroyed additive packages and glycol. Oil change intervals must be monitored at an increased rate of water and coolant entering the engine oil.

Scope of the study / possibility. This type of study will help to determine the causes of penetration of water and coolant into the crankcase space, to understand the consequences of using engine oil contaminated with water and coolant.

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

KEYWORDS: engine oil, oxidation, water, internal combustion engine, kinematic viscosity, coolant, wear, additives

The article was submitted 19.09.2023; approved after reviewing 14.11.2023; accepted for publication 20.12.2023.

The author has read and approved the final manuscript.

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

For citation. Sofia V. Pashukevich Motor oil performance analysis due to water and coolant contamination. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2023; 20 (6): 728-737. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-6-728-737>

© Pashukevich S. V., 2023



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

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на то, что смазочные материалы используются в узлах трения автомобильной техники, особое внимание уделяется маслу, используемому в двигателях внутреннего сгорания. Моторное масло эксплуатируется при таких условиях, как высокая температура; высокое давление; агрессивная среда, попадание твердых углеродных частиц, дизельного топлива, воды и охлаждающей жидкости, а также окислительный процесс [1, 2, 3, 4]. Производители моторных масел постоянно совершенствуют рецептуру, добиваясь того, чтобы смазочный материал обеспечивал при наличии всех указанных выше факторов надлежащую смазку поверхностей трущихся деталей двигателя, при этом сводя к минимуму износ. Моторное масло, которое имеет в своем объеме возникшие при эксплуатации такие загрязнители, как сажа и вода, должно обеспечивать их улавливание либо изоляцию для препятствия попадания на движущиеся поверхности пар трения [5].

Смазывание поверхностей обеспечивает один из нескольких режимов смазки. Режим напрямую взаимосвязан с образованием масляной пленки между трущимися поверхностями деталей. Толщина масляной пленки зависит от нагрузки, кинематической вязкости масла при 100 °С и относительной скорости перемещения трущихся поверхностей деталей двигателя внутреннего сгорания [6, 7, 8].

При использовании режима гидродинамической смазки толщина масляной пленки достигает более двух микрон, что препятствует образованию износа поверхности и деформации материала поверхности соответственно. Эластогидродинамический режим смазки развивается в условиях высокой нагрузки, создавая более высокие давления и более тонкие пленки жидкости порядка 0,05–2 мкм. Давления, возникающие в зоне взаимодействия, достаточно велики, чтобы вызвать упругую деформацию поверхностных слоев сопряженных деталей. Это выражается в увеличении микротвердости поверхностных слоев. Частицы, размеры которых значительно превышают более тонкую масляную пленку, могут вызывать вмятины при экстремальных давлениях. Конечный режим, т.е. граничная смазка, применяется в ситуациях, которые могут привести к нехватке масла в зоне контакта. Толщина масляной пленки при граничной смазке может составлять от 0,001 до 0,05 мкм. При таких толщинах шероховатость поверхности детали становится фактором, влияющим на скорость

износа, и в тех случаях, когда масляная пленка практически исчезает, может произойти износ поверхностей пар трения. Даже очень мелкие частицы, попавшие в масло, могут ускорить износ поверхности [9].

В ходе эксплуатации моторные масла постоянно подвергаются загрязнению извне, тяжелые климатические условия, условия работы техники приводят к деградации смазочного материала. Наиболее подвержены загрязнению в виде воды, охлаждающей жидкости и сажи моторные масла, применяемые в дизельных двигателях [10].

В связи с этим производителями двигателей выставляются рекомендации по интервалу замены масла в зависимости от пробега или мото-часов. Достижения в области производства и рецептуры моторных масел сделали возможным увеличить эти интервалы замены, одновременно улучшая экономию топлива и снижая выбросы вредных веществ с отработавшими газами [11].

С появлением и последующим распространением электронного управления двигателем производители автомобилей создали множество алгоритмов, предназначенных для расчета состояния масла на основе рабочих параметров двигателя.

По мере того как масло циркулирует по различным частям двигателя, загрязняющие соединения негативно влияют на моторное масло. Ухудшение качества масла с течением времени может привести к увеличению износа, нанося вред двигателю и вводя частицы износа в систему смазки, что еще больше увеличивает износ двигателя [12].

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЛИКОЛЕ – ОСНОВНОМ КОМПОНЕНТЕ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ

В совокупности вода и гликоль в соотношении 50/50 образуют хладагент. Его основные назначения – повышение температуры кипения и снижение температуры замерзания. Помимо данных свойств охлаждающая жидкость способствует защите от коррозии и кавитации, в зависимости от ее состава.

Этиленгликоль находит более широкое распространение, несмотря на токсичность, по сравнению с пропиленгликолем, в первую очередь из-за высоких теплопередающих свойств. Пакет присадок обширен не только в отрасли смазочных материалов, добавки различной природы (металлоорганика и органика) используются и в составе антифризов (основной вид охлаждающей жидкости). Именно добав-

ляемые пакеты способствуют предотвращению образования на поверхности металлов коррозии, кавитации, накали, также предотвращают вспенивание и поддерживают нормальный уровень pH. Соединениями добавок к антифризу являются фосфаты, борат натрия, молибдат, силикат натрия, гидроксид калия и нитрат натрия. Данные соединения помогают понять при элементном анализе загрязнено ли моторное масло охлаждающей жидкостью [13, 14].

Добавки, используемые в рецептурах антифризов, значительно различаются между поставщиками на вторичном рынке и производителями оборудования, которые поставляют оригинальную заводскую заливку и предлагают дополнительные присадки к охлаждающей жидкости [15].

ПУТИ ПОПАДАНИЯ ГЛИКОЛЯ В МОТОРНЫЕ МАСЛА

Гликоль может попадать в моторные масла различными путями. К ним относятся:

- дефектные или изношенные уплотнения;
- прокладка выдувной головки;
- неправильно затянутые болты;
- термически деформированные или треснувшие головки блоков цилиндров (от низкого уровня охлаждающей жидкости до заклинившего термостата);
- треснувший блок или головка блока цилиндров из-за замерзшей охлаждающей жидкости;
- неправильно обработанные поверхности головки и блока цилиндров;
- коррозионные повреждения гильз цилиндров;
- кавитационная эрозия и коррозия гильз цилиндров;
- электрохимическая эрозия;
- поврежденные или проржавевшие сердечники охладителя;
- неисправность уплотнения водяного насоса и засорение сливного отверстия.

Более половины отказов в узлах дизельных двигателей связаны с попаданием охлаждающей жидкости в моторное масло, причем наибольшему риску подвергаются дизельные двигатели в нерабочее время. В результате непостоянной работы двигателя возникают внутренние утечки воды, дизельного топлива и охлаждающей жидкости. Наиболее подвержены утечкам головки цилиндров. В таких случаях уплотнительные прокладки могут смещаться. В системе смазки у моторного масла

гидростатическое давление ниже по сравнению с охлаждающей жидкостью в системе охлаждения при неработающем двигателе. Этот фактор является основной причиной попадания охлаждающей жидкости в смазочный материал [16, 17, 18, 19, 20].

Кавитация пара присуща поверхности гильзы цилиндра в области водяной рубашки. Такое явление возникает также вследствие утечек в двигателях из-за сильной вибрации гильз при тактах впрыска, сжатия и горения. Указанные действия приводят к тому, что образуются области отрицательного давления, в которых возникают пузырьки пара [21]. При такте сгорания топлива возможно проявление процессов кавитации в верхней части гильзы цилиндра. Это может сопровождаться образованием окислов на поверхности гильзы цилиндра [22].

В случае длительного кавитационного воздействия возможно разрушение гильзы цилиндра с образованием утечек охлаждающей жидкости в камеру сгорания (рисунок 1). Эти процессы могут сопровождаться как механическим кавитационным воздействием, так и химическим [23].



Рисунок 1 – Кавитационная эрозия стенки цилиндра [14]

Figure 1 – Cavitation erosion of the cylinder wall [14]

Рост кавитационной коррозии может быть замедлен в связи с наличием ингибитора (молибдата натрия и нитрита натрия) в составе охлаждающей жидкости. Использование ингибиторов, замедляющих процессы окисления, позволяет уменьшить химическое воздействие с внутренней стороны гильзы цилиндра [24].



Рисунок 2 – Механизм образования масляных шариков из-за загрязнения картерного масла гликолем [14]

Figure 2 – Mechanism of oil balls formation due to contamination of crankcase oil with glycol [14]

ВРЕД ОТ МОТОРНОГО МАСЛА, ЗАГРЯЗНЕННОГО ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТЬЮ

Смесь моторного масла, гликоля и воды является губительной для двигателя внутреннего сгорания. Последние два загрязнителя в смазочную систему попадают одновременно. При попадании гликоля в картер коренные и шатунные подшипники начинают темнеть.

В минеральном масле гликоль не растворяется, потому что тяжелые условия эксплуатации двигателя (высокие температуры, процесс окисления) способствуют тому, что в составе гликоля начинается образование различных химических соединений.

Далее описаны серьезные последствия, возникающие вследствие утечки охлаждающей жидкости [25].

- Гидравлический замок

В ходе эксплуатации автомобильной техники возможно образование очагов коррозии и разъедание стенок гильз цилиндров, что является причиной точечной перфорации. В том случае, когда двигатель не заведен, есть высокая вероятность заполнения камеры сгорания охлаждающей жидкостью в случае негерметичности системы охлаждения. При заполнении камеры сгорания антифризом движение поршня вверх практически невозможно, так как антифриз является трудносжимаемой жидкостью. В этом случае основная нагрузка приходится на поршень, поршневые кольца, подшипники поршневого пальца, подшипники

шатуна и коленчатого вала. Блок вызывает невозможность оттока охлаждающей жидкости, из-за чего возникают отказы в работе подшипников и поршневых колец.

- Нарушение в работе подшипников из-за действия кислот

В ходе стандартной эксплуатации техники основной компонент охлаждающей жидкости этиленгликоль, окисляясь, образует органические кислоты: гликолевая, щавелевая, муравьиная кислота и углекислая. При каждом повышении температуры на 10 °C скорость реакции увеличивается вдвое. Наличие кислот в моторном масле влечет за собой повреждение подшипников и других поверхностей трения. Коррозионные условия могут привести к образованию трещин на покрытых слоем свинца/олова поверхностях подшипников, появлению ржавчины на стальных и железных поверхностях и потускнению металлов, таких как бронза и латунь.

МАСЛЯНЫЕ ШАРИКИ И ОСАЖДЕНИЕ ПРИСАДОК

Компания Chevron и другие исследователи сообщили, что при термическом старении охлаждающих жидкостей на основе гликоля в картерном пространстве образуются масляные шарики, в основном в результате реакции гликоля с присадками к базовому моторному маслу (рисунок 2). Используемые добавки включают сульфонаты, фенаты и ZDDP (диалкилдитиофосфат цинка) [26, 27, 28].

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДОЙ И ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТЬЮ

Вода считается одним из наиболее разрушительных загрязнителей, влияющих на систему смазки. Небольшое количество воды, образующейся естественным образом в качестве побочного продукта сгорания углеводородов, попадет в систему смазки двигателя внутреннего сгорания независимо от принятых мер предосторожности. Это происходит из-за тонкой масляной пленки на внутренней поверхности цилиндра. Попадание моторного масла обратно в масляный поддон картера зависит от движения поршня. Низкая температура и работа на холостом ходу может усугубить попадание воды в картер из-за повышенного образования конденсата на относительно холодных деталях двигателя. Эта проблема может быть устранена самостоятельно, если двигатель работает в условиях повышенной нагрузки, с помощью увеличения температуры масла выше точки кипения воды. Водяной пар в силу своих свойств легко проникает сквозь неплотности смазочной системы и выходит наружу. Работоспособность моторного масла зависит от его чистоты, тем самым даже незначительное количество воды разрушает базовую основу и пакеты присадок масла. Высокое содержание воды в моторном масле снижает уровень смазывающей способности, приводя к повышенному износу трущихся деталей двигателя [29].

Состояние воды в моторном масле ограничивается тремя видами: растворенном, свободном и эмульгированном. На рисунке 3 показаны данные виды.



Рисунок 3 – Вода в моторном масле
в различных состояниях [17]

Figure 3 – Water in engine oil in various states [17]

Моторное масло и вода в одной емкости имеют четкое разделение фаз, при этом масло способно растворять в себе совсем небольшой объем воды. Визуально изменения трудно заметить, так как они выражаются только в незначительном обесцвечивании [30].

После того, как моторное масло насытилось водой, образуется свободная вода. При незаведенном двигателе вода опускается на дно картера в связи с более высокой плотностью по сравнению с маслом. Масляный насос при заведенном двигателе способствует постоянному перемешиванию воды и маслом. При большом количестве свободной воды в масле образуется эмульсия. Чтобы определить, есть ли вода в смазочной системе, достаточно зрительно оценить цвет, наличие молочной пены говорит о присутствии данного жидкого загрязнителя. Антифриз применяется почти во всех дизельных двигателях тяжелой техники в составе 50% воды и 50% этилен-, пропилен-гликоля. Эта смесь способствует уменьшению температуры замерзания смеси, одновременно повышая температуру кипения. Внутри блока цилиндров имеются многочисленные каналы, по которым протекает охлаждающая жидкость, поддерживая стандартную рабочую температуру двигателя. В блоке цилиндров также имеются аналогичные каналы для движения масла по механизмам, например, по клапанному. Загрязнение системы смазки антифризом напрямую зависит от последовательного соединения указанных каналов. В связи с тем, что уплотнители не гарантируют стопроцентную герметичность, утечка охлаждающей жидкости может возникнуть как в прокладке головки блока цилиндров, уплотнительных кольцах форсунок, а также трещины в блоке цилиндров. Скорость попадания охлаждающей жидкости в моторное масло может меняться от небольшого попадания в течение длительного времени до конкретного слива за относительно малый период эксплуатации.

Однозначно с попаданием антифриза моторное масло меняет свои показатели качества, при этом не выполняется основная функция масла – должная смазка трущихся деталей двигателя [31].

Помимо того, что меняется качество моторного масла, меняется и его цвет при попадании антифриза в силу наличия красителей-добавок в составе охлаждающей жидкости. При продолжении эксплуатации автомобильной техники без замены загрязненного гликолем масла существует риск образования микроскопических масляных шариков, возникших при реакции пакетов присадок моторного мас-

ла и гликоля, эта проблема усугубляется еще и тем, что шарики скапливаются в осадок на дне картера.

МЕХАНИЗМЫ ДЕГРАДАЦИИ МОТОРНОГО МАСЛА

Скорость реакции воды, гликоля и базовой основы масла, а также его пакета присадок высока. Даже низкий уровень загрязнителей в объеме масла может привести к значительному ухудшению качества смазочного материала при длительном контакте. Если не обнаружить рассматриваемые загрязняющие вещества и не удалить их вскоре, загрязнение водой и гликолем может привести к образованию осадка и засорению, что может серьезно повредить пары трения двигателя.

Детергенты и диспергаторы, входящие в состав масла, обычно являются главными защитниками от загрязнения водой. Поскольку вода является полярной молекулой, присадки с полярными головками будут цепляться за молекулы воды и окружать их. Хвостовая часть этих присадок неполярна, что позволяет им легко растворяться в масле. Когда полярная часть растворяется в микроскопической капле воды, а неполярные остатки все еще растворяются в масле, присадки образуют пленку вокруг капли, как показано на рисунке 4. Такую структуру чаще называют обратной мицеллой. Поскольку они легко смешиваются с основной массой масла, микроэмульсия

образуется по мере увеличения концентрации воды и образования большего количества обратных мицелл [32, 33, 34].

Как итог, количество воды превышает количество этих присадок и образуется свободная вода. Дополнительное попадание воды в моторное масло наряду с перемешиванием приведет к тому, что образуется пенообразный шлам из-за наличия свободной воды. Такого рода шлам возникает при предельном уровне воды в смазочном материале. В связи с тем, что и гликоль, и вода имеют идентичные характеристики химической связи, что и вода, взаимодействие гликоля с детергентами и диспергаторами будет таким же. В ходе эксплуатации, при наличии гликоля в системе смазки, указанные виды присадок претерпевают снижение уровня в моторном масле, соответственно вероятность износа поверхностей пар трения резко возрастает. Помимо жидких загрязнителей, рассматриваемых в этой работе, существенный вред диспергаторам, а также в целом качеству моторного масла, тоже наносят твердые элементарные частицы углерода (сажа), при полном расходе диспергаторов попадание сажи в моторное масло становится неконтролируемым. Однако, когда количество воды не достигает высокого уровня в масле, в течение какого-то времени с поверхности смазочного материала молекулы воды могут испариться, сохраняя первоначальный уровень диспергатора [35].

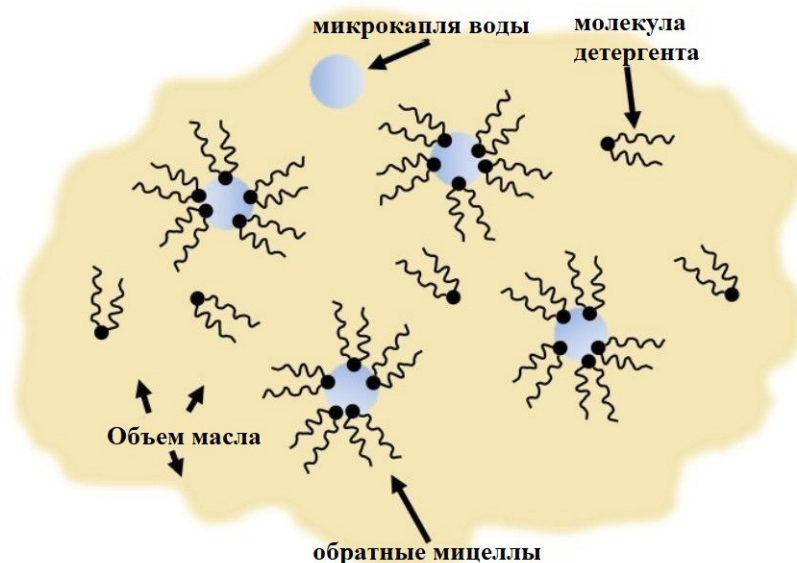


Рисунок 4 – Механизмы деградации моторного масла [14]

Figure 4 – Mechanisms of engine oil degradation [14]

Моторное масло в ходе эксплуатации тяжело нагруженной дизельной техники подвергается различным воздействиям: высокая температура, попадание загрязнителей разнообразной природы, а также процесс окисления. Причем чем выше содержание воды и гликоля в моторном масле, тем более интенсивно протекает процесс окисления смазочного материала. Окисление масла в присутствии загрязнителя чревато не только тем, что в ходе реакции возникают побочные продукты в виде масляных шариков, а также разрушением базовой основы, то есть углеводородные связи рушатся, образуя свободные алкильные радикалы. Эти радикалы обладают высокой химической активностью, вступая в реакцию с кислородом, создаются дополнительные радикалы, которые ускоряют процесс окисления. Усиливают процесс образования радикалов вода и гликоль. Всё это благоприятно способствует процессу коррозии и соответственно повышенному износу поверхностей деталей двигателя. Также образуются высокомолекулярные нерастворимые соединения, которые проявляются в виде осадка или лака, которые могут покрывать металлические поверхности и увеличивать вязкость масла [36].

Антиоксиданты, присутствующие в масле, могут быстро подавляться повышенной скоростью окисления, вызванной загрязнением воды или охлаждающей жидкости.

Воздействие загрязнителем в виде гликоля не единственное, которое способствует нарушению качества моторного масла из-за разрушения пакета присадок, так, вода негативно влияет на противоизносные присадки (ZDDP), при гораздо более высоких температурах, чем диспергаторы и дисперсанты. Вода разрушает структуру противоизносной присадки, не давая возможности снижать износ в ходе эксплуатации двигателя. В связи с этим выход из строя узлов двигателя возникает быстрее по сравнению с тем, когда в технике применяется чистое моторное масло. Образование масляных микроскопических шариков возникает не только при взаимодействии гликоля с дисперсантами и диспергентами, но и с ZDDP. Помимо проблемы в виде осаждения шариков, существует проблема и в их слипании. Данные агломераты подвергают масляные фильтры засорению и повреждению.

Биокоррозия также является следствием попадания воды в моторное масло. Особенно остро эта проблема обстоит в районах с тяжелыми климатическими условиями при простоях техники с высокооборотными дизельными

двигателями в связи с большим накоплением микроорганизмов.

Потенциальными проблемами, связанными с ростом микроорганизмов, являются засорение фильтров, повышенная скорость коррозии, изменение характеристик эмульсии и образование кислых отходов.

Поскольку загрязнение водой и охлаждающей жидкостью со временем ухудшает качество масла, то можно понять, за счёт образовавшихся химических соединений, что конкретно негативно воздействует на состояние моторного масла. Результатом попадания воды и охлаждающей жидкости в моторное масло является увеличение кинематической вязкости, кислотного числа, снижение щелочного числа вследствие разрушения детергентов соответственно. Резкий прирост кислотного числа создает изменения в значениях диэлектрической проницаемости [37, 38, 39].

Вредное воздействие воды может заключаться в том, что в зоне трения вода распадается на атомы водорода и кислорода, вызывая окисление поверхностных слоев и их охрупчивание за счет насыщения водородом. Последняя проблема возникает из-за того, что водород проникает в те области покрытия металлических поверхностей деталей, где нарушена целостность оксидной пленки. Атомы кислорода при этом создают новый оксидный слой на поверхности металла при их взаимодействии [40, 41].

Проблема с кавитацией же возникает непосредственно в областях низкого давления, где пузырьки воды/антифриза схлопываются. Из-за циклической работы цилиндро-поршневой группы давление на коленчатом валу меняется от незначительного до весьма высоких значений. Данный процесс занимает небольшую площадь, моторное масло уходит со смазанного участка, возникает разрушение поверхностных слоев металла, создавая благоприятные условия для процесса окисления в связи с новыми участками потенциального поражения [42].

Если загрязненное масло остается в течение длительного времени без регулярной эксплуатации, поверхности подвержены сильному окислению, а также приросту коррозии.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В работе приведены основные пути проникновения охлаждающей жидкости и воды в моторное масло.

2. Рассмотрены возможные побочные эффекты в работоспособности моторного

масла в случае его загрязнения антифризом и водой.

3. Отмечено влияние рассматриваемых загрязнителей на трибологическую составляющую поверхностей пар трения.

4. Обозначен механизм образования микроскопических масляных шариков вследствие загрязнения антифризом и распадом пакетов присадок. Указаны причины разрушения диспергаторов и детергентов при работе смазочного материала.

5. Проиллюстрирована схема деградации моторного масла при попадании в него охлаждающей жидкости и воды.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. E J., Xu W., Ma Yi, Tan D., Peng Q., Tan Ya., 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>
2. 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>
3. Salehi F. Motamen, Morina A., Neville A. The effect of soot and diesel contamination on wear and friction of engine oil pump. *Tribology International*. 2017. 115: 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2017.05.041>
4. Bagi S., Sharma V., Aswath P. B. Role of dispersant on soot-induced wear in Cummins ISB engine test. *Carbon*. 2018. 136: 395-408. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.04.066>
5. 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: 112-123. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.07.002>
6. Wei J., Lu W., Zeng Y., Huang H., Pan M., Liu Y. Physicochemical properties and oxidation reactivity of exhaust soot from a modern diesel engine: Effect of oxyfuel type. *Combustion and Flame*. 2022. 238: 111940. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2021.111940>
7. Rocca A. La, Ferrante A., Haffner-Staton E., Cairns A., Weillhard A., Sans V., Carlucci A.P., Laforgia D. Investigating the impact of copper leaching on combustion characteristics and particulate emissions in HPCR diesel engines. *Fuel*. 2020. 263: 116719. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116719>
8. 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: 285-298. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.03.066>
9. Gönül M., Kutlar O. A., Calik A.T., Parlak F. O. Prediction of oil dilution formation rate due to post injections in diesel engines by using Gaussian process. *Fuel*. 2021. 305: 121608. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121608>
10. Rahimi M., Pourramezan M.-Reza, Rohani A. Modeling and classifying the in-operando effects of wear and metal contaminations of lubricating oil on diesel engine: A machine learning approach. *Expert Systems with Applications*. 2022. 203: 117494. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117494>
11. Deulgaonkar V. R., Ingolikar N., Borkar A., Ghute S., Awate N. Failure analysis of diesel engine piston in transport utility vehicles. *Engineering Failure Analysis*. 2021. 120: 105008. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.105008>
12. Chu-Van Th., Surawski N., Ristovski Z., Yuan Chung-Shin, Stevanovic S., Rahman S.M. A., Hossain F. M., Guo Yi, Rainey Th., Brown R. J. The effect of diesel fuel sulphur and vanadium on engine performance and emissions. *Fuel*. 2020. 261: 116437. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116437>
13. Heredia-Cancino J.A., Ramezani M., Álvarez-Ramos M.E. Effect of degradation on tribological performance of engine lubricants at elevated temperatures. *Tribology International*. 2018. 124: 230-237. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.04.015>
14. Huang H., Huang R., Guo X., Pan M., Teng W., Chen Yi., Li Zh. Effects of pine oil additive and pilot injection strategies on energy distribution, combustion and emissions in a diesel engine at low-load condition. *Applied Energy*. 2019. 250: 185-197. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.05.028>
15. Esfe M. H., Arani A. A. A., Esfandeh S., Afrand M. Proposing new hybrid nano-engine oil for lubrication of internal combustion engines: Preventing cold start engine damages and saving energy. *Energy*. 2019. 170: 228-238. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.127>
16. Kirkby Th., Smith J. J., Berryman J., Fowell M., Reddyhoff T. Soot wear mechanisms in heavy-duty diesel engine contacts. *Wear*. 2023. 524–525.204733. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2023.204733>
17. Baskov V., Ignatov A., Polotnyanshikov V. Assessing the influence of operating factors on the properties of engine oil and the environmental safety of internal combustion engine. *Transportation Research Procedia*. 2020. 50: 37-43. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.10.005>
18. 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>
19. 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: 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2017.05.041>
20. McMillin R. E., Nowaczyk J., Centofanti K., Bragg J., Tansi B. M., Remias J. E., Ferri J. K. Effect of small molecule surfactant structure on the stability of water-in-lubricating oil emulsions. *Journal of Colloid*

and Interface Science. 2023. 652: 825-835. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2023.08.024>

21. Karimi A., Mesbah M., Majidi S. Magnetophoretically enhanced separation of particles in engine oil filters. Separation and Purification Technology. 2023. 305. 122432. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.122432>

22. Chhabra A., Singh K.t, Engine oil dialysis of heavy-duty engine oil 5W50. Materials Today: Proceedings. 2022. 56: 72-76. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.156>.

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

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

25. Zhang Q., Liu Sh., Wang Z., Li R., Zhang L., Dong Zh. Effects of a barium-based additive on gaseous and particulate emissions of a diesel engine. Journal of Hazardous Materials. 2022. 427. 128124. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.128124>.

26. Jian Zh., Zhong-yu P., Shi-ying L., Sheng-wei Su, Li-jun D. Investigation of wear behavior of graphite coating on aluminum piston skirt of automobile engine. Engineering Failure Analysis. 2019. 97. 2019: 408-415. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.01.012>.

27. Dou P., Jia Ya., Zheng P., Wu T., Yu M., Reddyhoff T., Peng Zh. Review of ultrasonic-based technology for oil film thickness measurement in lubrication. Tribology International. 2022. 165. 107290. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2021.107290>.

28. Wang Ya., Yang He, Liang X., Song H., Tao Zh. Effect of lubricating base oil on the oxidation behavior of diesel exhaust soot. Science of The Total Environment. 2023. 858. 160009. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160009>.

29. Cao Zh., Wu H., Zhao R., Wang H., Shi Zh., Zhang G., Li X. Numerical study on the wall-impinging diesel spray soot generation and oxidation in the cylinder under cold-start conditions of a diesel engine. Chemosphere. 2022. 309. 136619. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136619>

30. 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. Energy. 2022. 253. 124086. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124086>

31. Liang X., Wang Y., Wang Yu., Zhao B., Zhang Z., Lv Xu, Wu Zh., Cai X., Wang K. Impact of lubricating base oil on diesel soot oxidation reactivity. Combustion and Flame. 2020. 217: 77-84. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2020.03.035>

32. Yu M., Zhang J., Joedicke A., Reddyhoff T. Experimental investigation into the effects of diesel dilution on engine lubrication. Tribology International.

al. 2021. 156. 106828. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106828>

33. Sun Zh., Wang Y., Yuan Ch. Influence of oil deposition on the measurement accuracy of a calorimetric flow sensor. Measurement. 2021. 185. 110052. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110052>

34. Raposo H., Farinha J.T., Fonseca I., Galar D. Predicting condition based on oil analysis – A case study. Tribology International. 2019. 135: 65-74. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.01.041>

35. Srata L., Farres S., Fethi F. Engine oil authentication using near infrared spectroscopy and chemometrics methods. Vibrational Spectroscopy. 2019. 100: 99-106. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2018.10.002>

36. Chhabra A., Singh K. Engine oil dialysis of heavy-duty engine oil 5W50. Materials Today: Proceedings. 2022. 56: 72-76. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.156>

37. Tonk R. The science and technology of using nano-materials in engine oil as a lubricant additives. Materials Today: Proceedings. 2021. 37: 3475-3479. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.384>

38. 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>

39. He W., Zeng Q., Cheng L., Zhu J., Wang Zh., Zhuang J., Wei X. Droplet size dependent localized corrosion evolution of M50 bearing steel in salt water contaminated lubricant oil. Corrosion Science. 2022. 208. 110620. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2022.110620>

40. 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. Omsk, 2021. P. 020001. DOI 10.1063/5.0075527. EDN UOLQSH.

41. Karimi A., Mesbah M., Majidi S. Magnetophoretically enhanced separation of particles in engine oil filters. Separation and Purification Technology. 2023. 305. 122432. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.122432>

42. McMillin R. E., Nowaczyk J., Centofanti K., Bragg J., Tansi B. M., Remias J.E., Ferri J.K. Effect of small molecule surfactant structure on the stability of water-in-lubricating oil emulsions. Journal of Colloid and Interface Science. 2023. 652: 825-835. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2023.08.024>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

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

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Sofia V. Pashukevich – Postgraduate student, Ma – 202 study group, the Chemistry and Chemical Technology Department.