

УДК 665.765

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-4-406-415>

## ВЛИЯНИЕ ВОДЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МОТОРНОГО МАСЛА

**С.В. Корнеев<sup>1,2</sup>, С.В. Пашукевич<sup>2</sup>**ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»<sup>1</sup>;Омский государственный технический университет (ОмГТУ)<sup>2</sup>

г. Омск, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Одним из основных типов отложений в двигателе внутреннего сгорания является эмульсия или шлам, образованный водой, разложением топливных остатков и твердых остатков. Шлам обычно оседает на более холодных поверхностях двигателя, таких как дно поддона картера, клапанные камеры и верхние платы. 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 шлам может препятствовать прохождению потока масла и вызывать сбой режима смазки. Помимо нарушения в работе вышеупомянутых систем также претерпевают изменения в худшую сторону и показатели качества моторного масла.

**Материалы и методы.** Для контроля за состоянием моторного масла необходимо определить характеристики его работоспособности, такие как кинематическая вязкость при 40° С и при 100° С, кислотное число, щелочное число и определить количества элементов-индикаторов присадок и продуктов износа, содержащихся в моторном масле. Определение вязкости проводилось с помощью вискозиметра Stabinger SVM 3000. Он измеряет динамическую вязкость и плотность масел и топлив в соответствии с ASTM D7042 и автоматически рассчитывает кинематическую вязкость, индекс вязкости и выдает результаты измерений. Кислотное и щелочное числа определялись с помощью автоматического титратора TitroLine alpha plus, а наличие элементов-индикаторов в моторном масле с помощью оптико-эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой серии iCAP 7000, предназначенного для анализа и определения количества элементов-индикаторов в жидких и твердых образцах.

**Результаты.** Была проанализирована динамика изменений характеристик работоспособности моторного масла Gazpromneft Diesel Ultra 10W-40 с увеличенным интервалом замены, которое применимо для техники, работающей в тяжёлых условиях, в зависимости от содержания воды в пробах данного смазочного материала.

**Заключение.** Обозначены последствия, которые могут возникнуть вследствие попадания воды в моторное масло.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** моторное масло, кислотное число, щелочное число, кинематическая вязкость, увеличенные интервалы замены, элементы-индикаторы продуктов износа и присадок, двигатель внутреннего сгорания, окисление моторного масла, металлические поверхности.

Поступила 06.08.21, принята к публикации 31.08.21.

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. Влияние воды на изменение показателей качества моторного масла / С.В. Корнеев, С.В. Пашукевич. – DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-4-406-415> // Вестник СибАДИ. – 2021. – Т. 18, № 4(80). – С. 406-415.

© Корнеев С.В., Пашукевич С.В., 2021



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-4-406-415>

## THE INFLUENCE OF WATER ON THE CHANGE IN ENGINE OIL QUALITY INDICATORS

**Sergei V.Korneev<sup>1,2</sup>, Sofia V. Pashukevich<sup>2</sup>**

*Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)<sup>1</sup>*

*Omsk State Technical University<sup>2</sup>*

*Omsk, Russia*

### ABSTRACT

**Introduction.** One of the main types of deposits in an internal combustion engine is an emulsion or sludge formed by water, decomposition of fuel residues and solid residues. The sludge usually settles on the colder surfaces of the engine, such as the bottom of the crankcase pan, valve chambers and upper boards. The main problem is that this type of deposits can be collected by the engine oil and transferred to areas such as the oil pump, intake valve or oil channels, where the sludge can interfere with the flow of oil and cause a failure of the lubrication mode. In addition to the disruption in the operation of the above-mentioned systems, the engine oil quality indicators are also undergoing changes for the worse.

**Materials and methods.** To monitor the condition of the engine oil, it is necessary to determine the characteristics of its performance, such as: kinematic viscosity at 40 oC and at 100 oC, acid number, base number and determine the number of elements – indicators of additives and wear products contained in the engine oil. The viscosity was determined using a Stabinger SVM 3000 viscometer. It measures the dynamic viscosity and density of oils and fuels in accordance with ASTM D7042 and automatically calculates the kinematic viscosity, viscosity index and outputs the measurement results. The acid and base numbers were determined using an automatic titrator TitroLine alpha plus, and the presence of indicator elements in engine oil using an inductively coupled plasma optical emission spectrometer of the iCAP 7000 series, designed for analysis and determination of the number of indicator elements in liquid and solid samples.

**Results.** The dynamics of changes in the performance characteristics of the Gazpromneft Diesel Ultra 10W-40 engine oil with an extended replacement interval, which is applicable for equipment operating in severe conditions, depending on the water content in the samples of this lubricant, was analyzed.

**Conclusion.** The consequences that may occur due to water entering the engine oil are indicated.

**KEYWORDS:** engine oil, acid number, base number, kinematic viscosity, extended replacement intervals, elements-indicators of wear products and additives, internal combustion engine, engine oil oxidation, metal surfaces.

**Submitted 06.08.21, revised 31.08.21.**

**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:* 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. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-4-406-415>.

© Korneev S.V., Pashukevich S.V., 2021



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

**ВВЕДЕНИЕ**

Надежность двигателя внутреннего сгорания во многом зависит от качества смазочного материала, поэтому необходимо, чтобы моторное масло непрерывно и интенсивно подводилось в зазоры в поверхностях трения сопряжённых деталей двигателя и обеспечивало достаточно прочную плёнку с высокими смазывающими свойствами для наименьшего трения и износа движущихся частей механизма. Это необходимо не только при нормальных рабочих температурах, но особенно при запуске холодного двигателя и сразу после него, когда наблюдается граничное трение, а режим смазывания происходит на пределе смазывающих свойств моторного масла [1]. Данные жесткие условия приводят к износу в несколько раз большему, чем при нормальных рабочих температурах масла, когда обеспечивается жидкостный режим смазывания [2].

Помимо смазки, моторные масла должны отводить излишки тепла, защищать поверхности от воздействия высокого давления, химического воздействия, а также сохранять чистоту внутренней части двигателя, удаляя продукты тепловой реакции окисления углеводородов моторного масла, топлива и других примесей. Высокое щелочное число способствует нейтрализации кислых агрессивных продуктов, образующихся при сгорании топлива, кроме этого, моторное масло является герметизирующим продуктом для заполнения зазора между поршневыми кольцами поршня и стенкой гильзы цилиндра так, чтобы проникновение сжатых газов и загрязняющих веществ из камеры сгорания осуществлялось в минимальных количествах.

Вода является одним из двух наиболее распространенных и разрушительных загрязняющих веществ в смазочных материалах, уступая такому загрязнителю, как твердые частицы. Ущерб от загрязнения водой не так заметен сразу, как от загрязнения твердыми частицами, но может быть более системным. Вода в смазочные материалы может поступать разными способами и будет присутствовать в них в форме растворенной, эмульгированной (суспендированной как внутренняя фаза эмульсии «вода в масле») или свободной воды, причем последние две формы представляют собой наибольшую опасность для смазываемого оборудования [3, 4, 5].

Вода является обязательным продуктом сгорания углеводородов, и выхлопные газы, образующиеся при их сгорании, попадают

через зазоры в цилиндро-поршневой группе в картер и, соответственно, в смазочные системы. Некоторые смазочные материалы достаточно гигроскопичны, чтобы поглощать водяной пар непосредственно из воздуха, а большие изменения температуры внутри системы смазки приводят к циклам перепада давления, позволяя влажному воздуху попадать в плохо герметичный масляный резервуар, в котором затем может конденсироваться влага. Кроме того, новые смазочные материалы могут быть загрязнены некоторым количеством воды, когда они поставляются производителем. Вода может присутствовать в свежем масле в результате операций по переработке, производству или смешиванию, или она может проникать в ходе транспортных процедур поставщика, методов обращения или условий хранения [6, 7, 8].

Хотя конечными проявлениями загрязнения воды в смазочных материалах являются коррозия, чрезмерный износ и преждевременный выход из строя смазываемых металлических поверхностей, это разрушение вызывается несколькими различными способами. Вода может воздействовать непосредственно на металлические поверхности, а также ухудшать эффективность смазочного материала.

Пузырьки водяного пара (или захваченного воздуха) могут вызвать микропиттинг несущих поверхностей в процессе вызванной давлением имплозии, при которой они конденсируются обратно в жидкую фазу (это известно как кавитационное повреждение). Кроме того, присутствие воды в смазочном материале может усилить захват воздуха в нем, создавая почву для еще большей кавитации. Вода может адсорбироваться непосредственно на гидрофильных металлических поверхностях, вытесняя защитный масляный слой и даже некоторые смазочные добавки. Это позволяет непосредственно подвергать незащищенную теперь металлическую поверхность воздействию агрессивных сред и твердых частиц, что приводит к интенсивному износу. Свободная вода особенно склонна к такому поведению. Другое воздействие воды на металлические поверхности известно как водородное охрупчивание. Молекулы воды могут проникать в микроскопические трещины на металлических поверхностях за счёт наличия капилляров. Оказавшись внутри микротрещин, при сочетании экстремальных давлений и контакта с поверхностью свободного металла может быть вызвано почти взрывное разложение этих молекул воды на компоненты, одним из ко-

торых является атомарный водород; водород может накапливаться в трещинах и вдоль металлических зерен, создавая давление внутри металла в условиях растягивающего напряжения и приводя к распространению трещин и последующему сколу. Кроме того, водород, находящийся в структуре металла, повышает его хрупкость, что приводит к разрушению поверхностных слоёв пар трения, даже при относительно небольших нагрузках [9, 10, 11, 12].

Неблагоприятное воздействие загрязняющей воды на сам смазочный материал может проявляться через физические, химические и микробиологические процессы. Поскольку вязкость воды не увеличивается с давлением, как у моторного масла, свободная или эмульгированная вода, содержащаяся в масле, может уменьшить эффективную вязкость масла, что приводит к недостаточной толщине эластогидродинамической пленки и недостаточной несущей способности жидкой пленки. Эта уменьшенная защита пограничного слоя может позволить металлическим поверхностям трения или скольжения вступать в прямой контакт друг с другом под высоким давлением (как при обкатке подшипников) и вызывать адгезионный износ из-за мгновенной точечной сварки контактирующих поверхностей. Общий эффект заключается в снижении несущей способности масляных пленок и снижении усталостной долговечности смазываемых поверхностей. Кроме того, точечные сварные участки обычно срезаются и добавляют к повреждающей нагрузке твердые частицы, вызывающие абразивный износ. Помимо этого, слишком тонкая масляная пленка позволяет более мелким частицам загрязнений, которые, возможно, прошли через фильтр, непосредственно соприкасаться с движущимися металлическими поверхностями, также вызывая абразивный износ. Образование эмульсий в смазочном материале может привести к образованию шлама и отложений, которые могут вызвать повышенный износ насосов и засорить отверстия, сопла, форсунки и фильтрующие элементы очистки масел [13, 14, 15, 16, 17].

Окисление углеводородов масла и попадающего топлива инициируется теплом, воздухом и давлением, возникающими в смазываемых системах; присутствие воды увеличивает скорость окисления в несколько раз, продукты окисления часто являются «кислыми» и, следовательно, естественно коррозионными. Кроме того, наличие твердых частиц вместе с загрязнением водой может ускорить скорость окис-

ления по крайней мере в 50 раз. По-видимому, содержание металлов в твердых частицах загрязняющих веществ (железо и медь) вместе с большой площадью поверхности этих частиц обеспечивает эффективное каталитическое стимулирование реакций окисления основного вещества. Такое усиление окислительных условий также истощает антиоксидантные добавки гораздо быстрее, чем это было бы в случае отсутствия загрязнителей. Исходные продукты окисления нефти, такие как карбоновые кислоты и гидропероксиды, будут реагировать дальше, что приведет к большому количеству шлама и отложений. В отличие от минеральных некоторые синтетические масла сами по себе подвержены гидролизу. Как правило, диэфиры и фосфатные эфиры особенно подвержены гидролитическому разложению, в то время как полиоловые эфиры и полиалкиленгликоли менее легко гидролизуются; полиальфаолефины (ПАО) демонстрируют лучшую устойчивость к гидролизу среди синтетических смазочных материалов [18, 19, 20, 21].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для рассмотрения ситуации, при которой вода попадает в смазочный материал, были взяты моторное масло Gazpromneft Diesel Ultra 10W-40 и дистиллированная вода в следующих концентрациях: 1, 99 г моторного масла + 1 г воды; 2, 97 г моторного масла + 3 г воды; 3, 95 г моторного масла + 5 г воды.

Введение воды сопровождалось интенсивным перемешиванием. Допускалась погрешность концентрации воды в  $\pm 0,02$  г.

После того как произошло данное смешивание, образцы в течение двух суток отстаивались в лаборатории при комнатной температуре. Результат представлен на рисунке 1.

Наглядно заметно, что наибольшая концентрация воды в моторном масле вызывает образование ярко выраженной эмульсии. Возможны три пути попадания воды в моторное масло: проникновение конденсата из воздуха; при сгорании топлива и при попадании воды из системы охлаждения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Кинематическая вязкость является основным физическим свойством моторного масла и считается наиболее важным аспектом при оценке масла. Загрязнение масла водой увеличивает кинематическую вязкость и ухудшает характеристики вязкости, что приводит к засорению масляного фильтра, к недостаточной смазке, к трению и износу деталей двигателя.

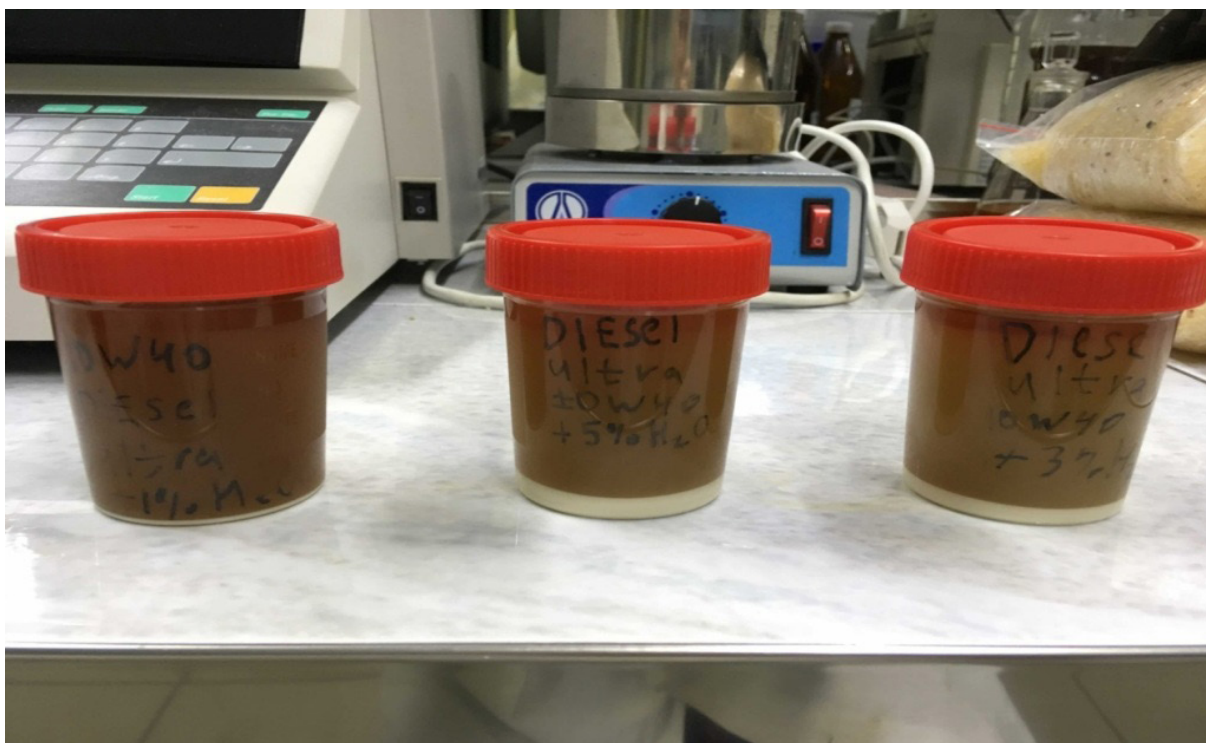


Рисунок 1 – Результат смешения моторного масла и воды в различных пропорциях (слева направо: +1% воды +5% воды + 3% воды)

Figure 1 – The result of mixing engine oil and water in different proportions (from left to right: +1% water +5% water + 3% water)

При увеличении концентрации воды до 3% наблюдается увеличение вязкости эмульсии, при дальнейшем увеличении концентрации воды вязкость падает. Особенности поведения воды в моторном масле заключаются в том, что при образовании эмульсии мелкие капли обволакиваются антипенной присадкой, и они не объединяются. Из-за этого вязкость повышается до достижения концентрации воды в 3%, причина – повышение сопротивления по капилляру вискозиметра (рисунок 2). При увеличении концентрации воды капли объединяются, сливаясь между собой из-за уменьшения площади, охватываемой антипенной присадкой, и это способствует снижению вязкости.

Кислотное число является мерой концентрации кислоты, присутствующей в смазочном материале. Наличие кислотного загрязнения, пакета присадок и побочных продуктов окисления определяет концентрацию кислоты в смазочном материале. При наличии в смазочном материале металлоорганических добавок, таких как диалкилдитиофосфат цинка, начальные числа нейтрализации находятся на высоком уровне. В эксплуатации проявля-

ется снижение кислотного числа на ранних стадиях из-за истощения противоизносных добавок, однако накопление кислотных загрязнений и побочных продуктов окисления в масле с течением времени всегда приводит к его увеличению. Во время продолжительного использования значение кислотного числа будет постоянно расти.

При обводнении моторного масла в процессе лабораторного исследования наблюдается снижение кислотного числа из-за их возможного растворения (кислот) в воде и выпадения в осадок (рисунок 3).

Щелочное число указывает на то, сколько остается исходных детергентно-диспергирующих присадок в масле. Это число указывает на способность масла нейтрализовать кислоты, образующиеся во время использования. Чем выше данное число в моторном масле, тем больше образовавшихся кислот оно сможет нейтрализовать во время эксплуатации.

При попадании воды щелочное число моторного масла Gazpromneft Diesel Ultra 10W-40 уменьшается из-за образования шламов, но не так резко, как у минеральных масел (рисунок 4).

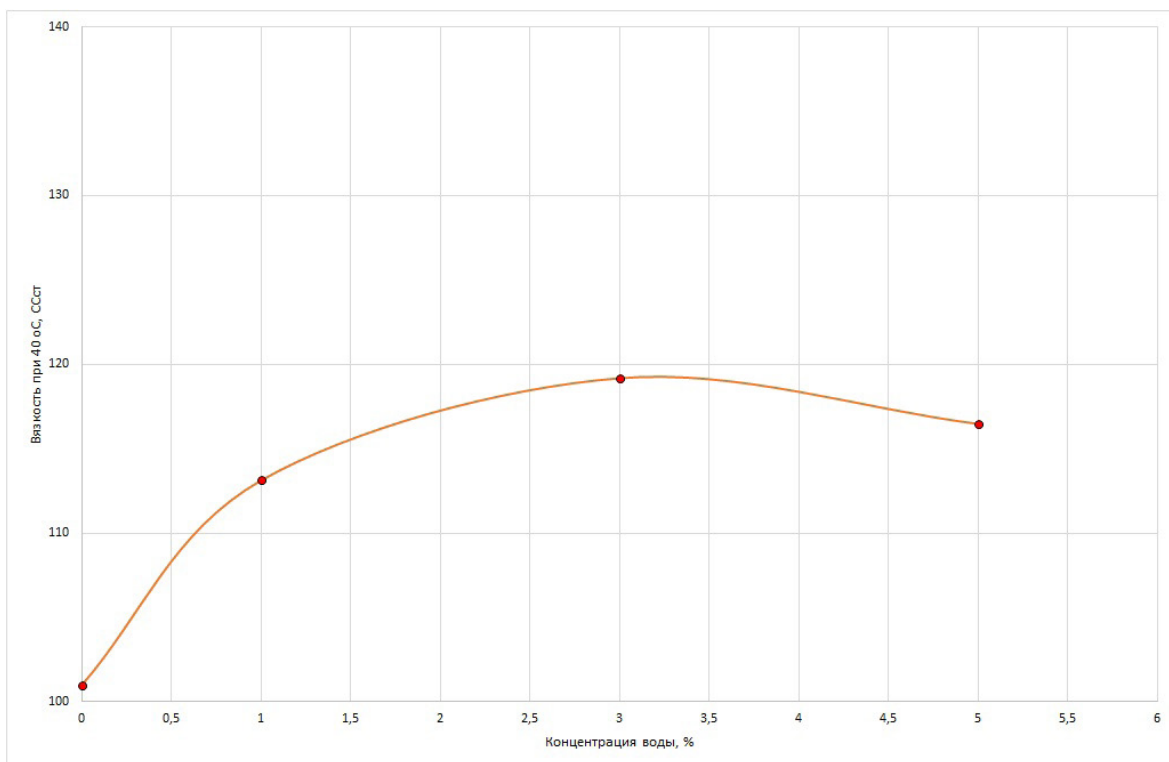


Рисунок 2 – Зависимость изменения кинематической вязкости при 40° С обводненного моторного масла Gazpromneft Diesel Ultra 10W-40 от концентрации воды

Figure 2 – Dependence of the change in kinematic viscosity at 40o C of the watered Gazpromneft Diesel Ultra 10W-40 engine oil on the water concentration

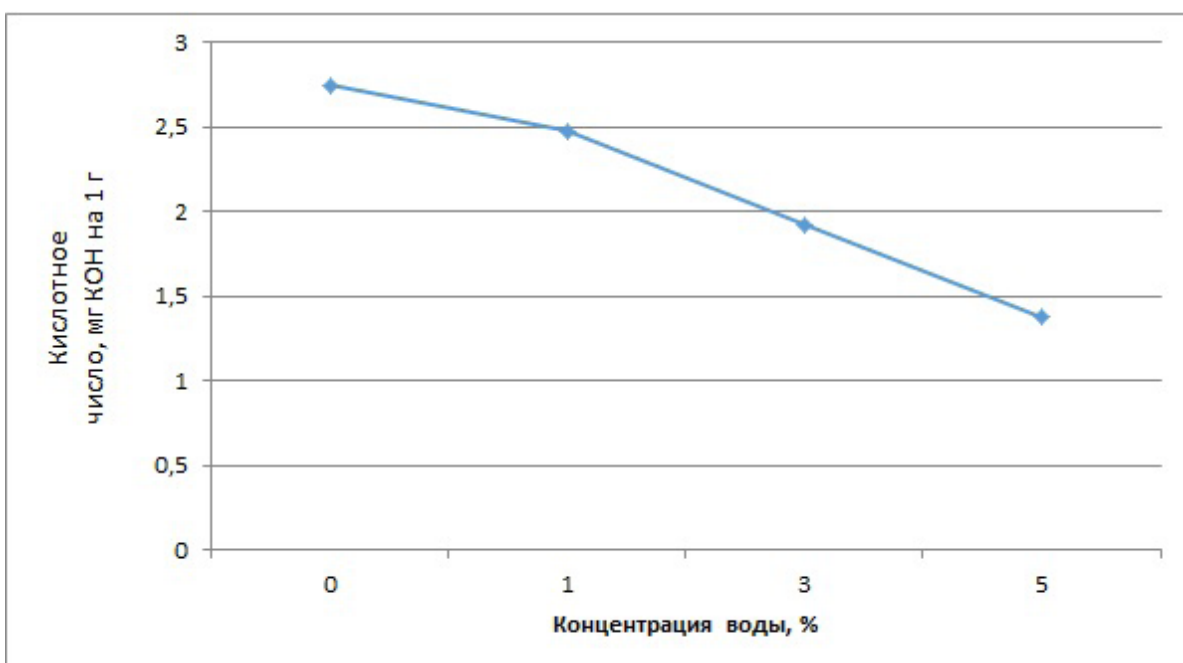


Рисунок 3 – Зависимость изменения кислотного числа обводненного свежего моторного масла Gazpromneft Diesel Ultra 10W-40 от концентрации воды

Figure 3 – Dependence of the change in the acid number of the watered fresh Gazpromneft Diesel Ultra 10W-40 engine oil on the water concentration

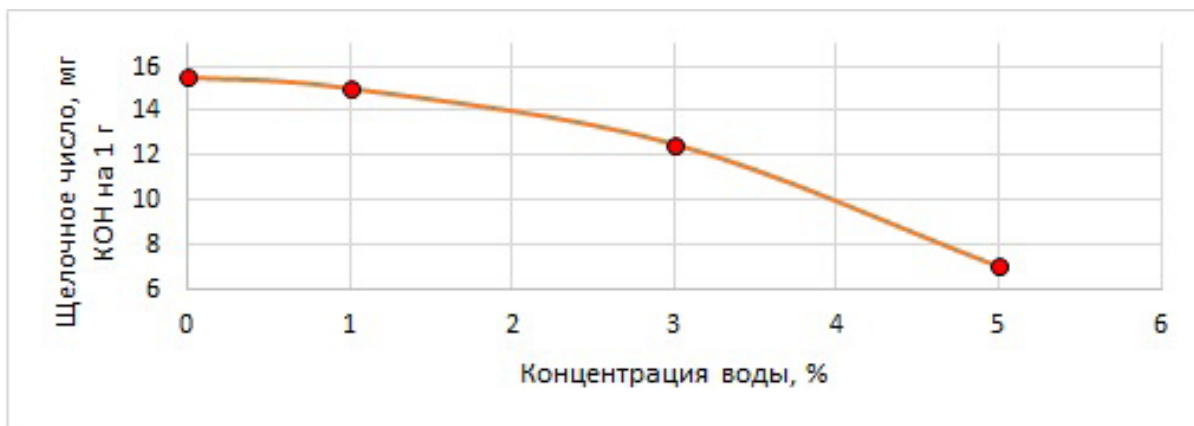


Рисунок 4 – Зависимость щелочного числа обводненного свежего моторного масла Gazpromneft Diesel Ultra 10W-40 от концентрации воды

Figure 4 – Dependence of the alkaline number of watered fresh Gazpromneft Diesel Ultra 10W-40 engine oil on the water concentration

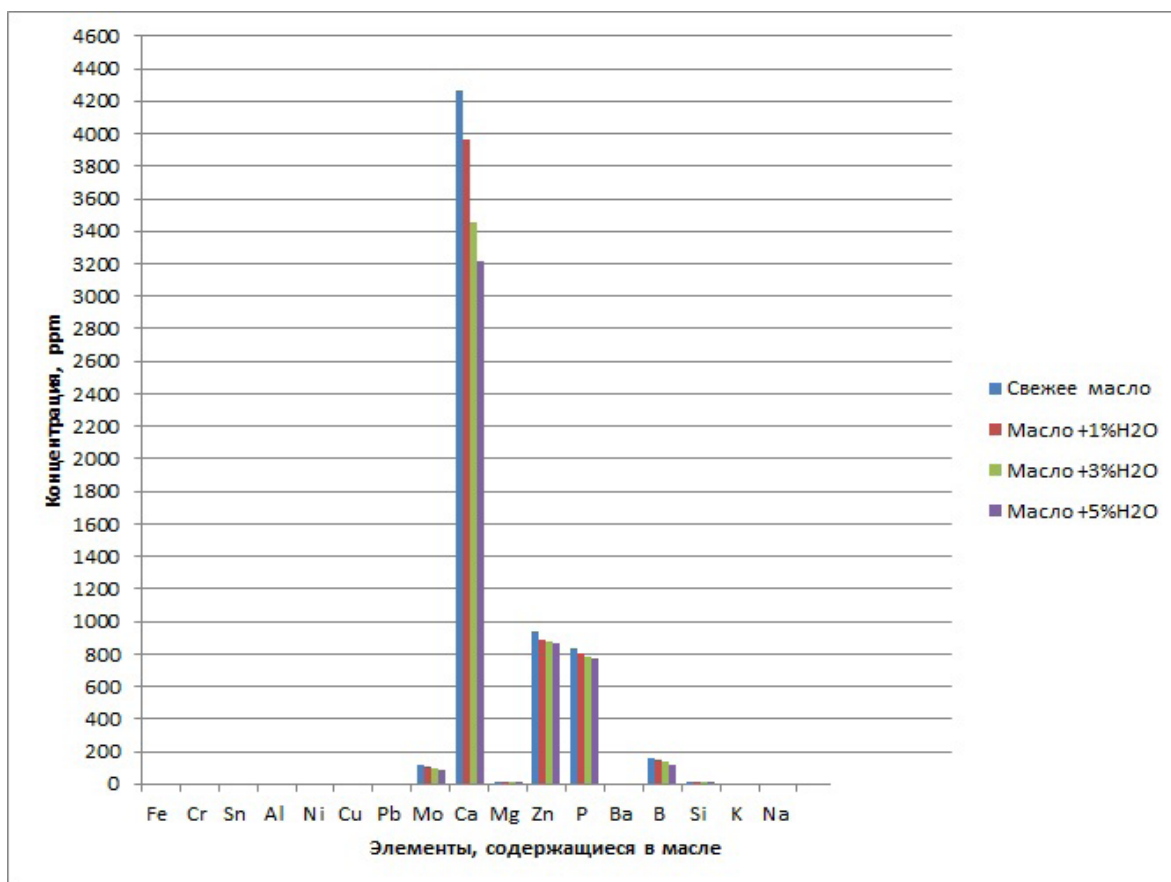


Рисунок 5 – Сравнительные диаграммы значений концентраций элементов, содержащихся в обводненном моторном масле Gazpromneft Diesel Ultra 10W-40

Figure 5 – Comparative diagrams of the concentrations of elements contained in the watered engine oil Gazpromneft Diesel Ultra 10W-40

Наиболее распространенные причины падения щелочного числа связаны с некачественным топливом и окислением углеводородов. Во время сгорания низкокачественного топлива с высоким содержанием серы может образовываться серная кислота, которая воздействует на моторное масло и вызывает падение щелочного числа.

Одним из наиболее эффективных способов обнаружения потенциальных отказов систем в автомобильной технике до того, как они станут слишком серьезными, является анализ металлов износа. Возможные неполадки могут быть предсказаны металлическими элементами-индикаторами продуктов износа в моторном масле (рисунок 5). Эти элементы также могут помочь идентифицировать неисправный агрегат или пару трения. Быстрое обнаружение повышенных концентраций металлов на ранней стадии имеет решающее значение для диагностики агрегатов и повышения эффективности эксплуатации техники.

Уменьшение концентрации молибдена и цинка говорит о том, что моторному маслу в связи с попаданием воды теперь несвойственно на должном уровне проявлять свои противоизносные свойства, снижение уровня кальция в моторном масле показывает снижение к устойчивости при нагреве и повышению интенсивности окисления. Снижение концентрации кальция, в свою очередь, дает понять, что моторное масло не будет, как было ранее, выполнять свою мощную функцию – убирать мелкие частицы нагара и остальные отложения с поверхностей двигателя. Падение концентрации цинка сказывается негативно на защите двигателя от коррозии, износа и задигов, но, надо отметить, что металлы в ZDDP (диалкилдитиофосфат цинка) способствуют увеличению зольности смазочного материала, что отрицательно влияет на системы двигателей. Уменьшение фосфора в моторном масле может влиять на расход топлива (возникает прирост), ухудшение противоизносных свойств, а также фосфор снижает эффективность активных каталитических центров, используемых в устройствах последующей обработки выхлопных газов. Сокращение количества бора говорит об ухудшении защиты поверхностей трения, а уменьшение кремния – о том, что в моторном масле нет следов пыли и грязи, это характерно только для масел, побывавших в эксплуатации, соответственно для них как раз и характерен прирост концентрации кремния.

## ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Попадание воды в моторное масло носит исключительно отрицательный характер – в связи с этим могут возникать неисправности при фильтрации и систем циркуляции масла.

2. Наличие воды влечёт за собой повышение интенсивности износа и затраты мощности на трение в основных агрегатах двигателя.

3. Снижение щелочного числа (регламентировано не более чем на 50%) отражается на периодичности замены моторного масла, что негативно сказывается на экономическом эффекте автовладельца или предприятия.

4. Снижение концентрации элементов-индикаторов в моторном масле в основном влечет за собой ухудшение основных функций масла, таких как обмывание поверхностей, препятствие износу, трению и коррозии. Помимо прочего также характерен рост потребления топлива.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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. vol. 124, pp. 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.04.015>

2. 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. vol. 129, pp.112–123. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.07.002>

3. Raposo H, Farinha JT, Fonseca I, Galar D (2019) Predicting condition based on oil analysis - A case study. *Tribology International*. 2019 vol. 135. pp. 65-74. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.01.041>

4. Zzeyani S., Mikou M., Naja J., Elachhab A. Spectroscopic analysis of synthetic lubricating oil. *Tribology International*. 2017. vol. 114, pp.27–32. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2017.04.011>

5. Мачехин Н.Ю., Ширлин И.И., Пашукевич С.В. Особенности эксплуатации техники при использовании высококачественных моторных масел с увеличенными интервалами замены // Вестник СибАДИ. 2019. Т.16. № 4. С. 446–454. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-4-446-454>

6. Пименов Ю.М., Улитко А.В., Середа В.А. Метод управления требованиями к эксплуатационным свойствам горюче-смазочных материалов // Химия и технология топлив и масел. 2021. № 2. С.16–24.

7. Золотов В.А. Глобальные требования к свойствам и методам испытаний моторных масел для новых двигателей // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2020. № 3. С. 42–45.



8. Tormos B., Pla B., Bastidas S., Ramírez L., Pérez T. (2019). Fuel economy optimization from the interaction between engine oil and driving conditions. *Tribology International*. 2019. vol. 138. pp. 263-270. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.05.042>
9. Bagi, S., Sharma, V., & Aswath, P. B. Role of dispersant on soot-induced wear in Cummins ISB engine test. *Carbon*. 2018. vol. 136, pp. 395–408. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.04.066>
10. Li D., Kong N., Zhang Boyang, Zhang Bo, Li R., Zhang Q. Comparative study on the effects of oil viscosity on typical coatings for automotive engine components under simulated lubrication conditions. *Diamond and Related Materials*. 2021. vol.112. p.108226. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2020.108226>.
11. Rossegger B., Eder M., Vareka M., Engelmayer M., Wimmer A. A novel method for lubrication oil consumption measurement for wholistic tribological assessments of internal combustion engines. *Tribology International*. 2021.vol. 162, p.107141. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2021.107141>
12. 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. vol. 50. pp. 37-43. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.10.005>
13. Wang Y., Chen Y., Liang X., Tan P., Deng S. Impacts of lubricating oil and its formulations on diesel engine particle characteristics. *Combustion and Flame*. 2021. vol.225, pp.48–56. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2020.10.047>
14. Tormos B., Garcia-Oliver J. M., Bastidas S., Domínguez B., Oliva, F., Cárdenas D. Investigation on low-speed pre-ignition from the quantification and identification of engine oil droplets release under ambient pressure conditions. *Measurement*. 2020. vol. 163, pp. 107961. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107961>
15. 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. vol.136. pp.285–298. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.03.066>
16. Петухов С.А., Муратов А.В., Курманова Л.С. Оптимизация системы смазки дизельных двигателей // Железнодорожный транспорт. 2018. № 5. С. 67–69.
17. Барыкин А.Ю., Нуретдинов Д.И., Фролов А.М., Кучев С.М. Исследование взаимосвязи эксплуатационных параметров и ресурса автомобильного двигателя // Научно-технический вестник Поволжья. 2019. № 3. С. 43–45.
18. Антропов Б.С., Гуменный В.В., Генералов В.А. Исследование периодичности замены моторного масла на дизельных автомобилях // Вестник АПК Верхневолжья. 2019. № 2 (46). С. 79–82.
19. Прокопцова М.Д., Уханов Д.А., Глазунов И.Д. Склонность моторного масла м-10г2к к образованию низкотемпературных отложений в дизелях // Труды 25 ГосНИИ МО РФ. 2020. № 59. С. 272–280.
20. Королев А.Е. Трение и износ двигателей при обкатке. Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2020. № 9. С. 7–10.
21. Korneev S.V., Permyakov V.B., Bakulina V.D., Yarmovich Y.V., Pashukevich S.V. Influence of high temperatures on changes in the performance characteristics of motor oils when diluted with fuel. *AIP Conference Proceedings: "Oil and Gas Engineering, OGE 2020"* 2020. p. 020010. <https://doi.org/10.1063/5.0026994>

## REFERENCES

1. 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>
2. 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>
3. Raposo H, Farinha JT, Fonseca I, Galar D (2019) 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>
4. Zzeyani S., Mikou M., Naja J., Elachhab A. Spectroscopic analysis of synthetic lubricating oil. *Tribology International*, 2017. 114: 27–32. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2017.04.011>
5. Machekhin N.Yu., Shirlin I.I., Pashukevich S.V. Osobennosti ekspluatatsii tekhniki pri ispol'zovanii vysokokachestvennykh motornykh masel s uvelichenymi intervalami zameny [Features of the operation of equipment when using high-quality engine oils with extended drain intervals]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2019, 4: 446-454. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-4-446-454> (In Russian)
6. Pimenov Yu.M., Ulitko A.V., Sereda V.A. Metod upravleniya trebovaniyami k ekspluatatsionnym svoystvam goryuche-smazochnykh materialov [Method for managing the requirements for the performance properties of fuels and lubricants]. *Himiya i tekhnologiya topliv i masel*, 2021, 2: 16-24. (In Russian)
7. Zolotov V.A. Global'nye trebovaniya k svoystvam i metodam ispytaniy motornykh masel dlya novykh dvigatelej [Global requirements for the properties and test methods of motor oils for new engines]. *The world of petroleum products. Bulletin of oil companies*, 2020, 3: 42-45. (In Russian)
8. Tormos B., Pla B., Bastidas S., Ramírez L., Pérez T. (2019). Fuel economy optimization from the interaction between engine oil and driving conditions. *Tribology International*, 2019, 138: 263-270. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.05.042>
9. 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>

10. Li D., Kong N., Zhang Boyang, Zhang Bo, Li R., Zhang Q. Comparative study on the effects of oil viscosity on typical coatings for automotive engine components under simulated lubrication conditions. *Diamond and Related Materials*, 2021, 112: 108226. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2020.108226>.

11. Rossegger B., Eder M., Vareka M., Engel-mayer M., Wimmer A. A novel method for lubrication oil consumption measurement for wholistic tribological assessments of internal combustion engines. *Tribology International*, 2021, 162: 107141. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2021.107141>

12. 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>

13. Wang Y., Chen Y., Liang X., Tan P., Deng S. Impacts of lubricating oil and its formulations on diesel engine particle characteristics. *Combustion and Flame*, 2021, 225: 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.combust-flame.2020.10.047>

14. Tormos B., Garcia-Oliver J. M., Bastidas S., Domínguez B., Oliva, F., Cárdenas D. Investigation on low-speed pre-ignition from the quantification and identification of engine oil droplets release under ambient pressure conditions. *Measurement*. 2020, 163: 107961. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107961>

15. 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>

16. Petukhov S.A., Muratov A.V., Kurmanova L.S. Optimizaciya sistemy smazki dizel'nyh dvigatelej [Optimization of the diesel engine lubrication system]. *Zheleznodorozhnyj transport*, 2018, 5: 67-69.

17. Barykin A.Yu., Nuretdinov D.I., Frolov A.M., Kuchev S.M. Issledovanie vzaimosvyazi ekspluatatsionnyh parametrov i resursa avtomobil'nogo dvigatelya [Investigation of the relationship between operational parameters and the resource of an automobile engine], *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzh'ya*, 2019, 3: 43-45.

18. Antropov B.S., Gumennyj V.V., Generalov V.A. Issledovanie periodichnosti zameny motornogo masla na dizel'nyh avtomobilyah [Investigation of the frequency of replacement of engine oil on diesel vehicles], *Vestnik APK Verhnevolzh'ya*, 2019, 2: 79-82.

19. Prokopcova M.D., Uhanov D.A., Glazunov I.D. Sklonnost' motornogo masla m-10g2k k obrazovaniyu nizkotemperaturnykh otlozhenij v dizelyah [The tendency of m-10g2k engine oil to form low-temperature deposits in diesel engines], *Trudy 25 GosNII MO RF*, 2020, 59: 272-280.

20. Korolev A.E. Trenie i iznos dvigatelej pri obkatke [Engine friction and wear during running-in], *Transportnoe, gornoe i stroitel'noe mashinostroenie: nauka i proizvodstvo*, 2020, 9: 7-10.

21. Korneev S.V., Permyakov V.B., Bakulina V.D., Yarmovich Y.V., Pashukevich S.V. Influence of high temperatures on changes in the performance characteristics of motor oils when diluted with fuel. *AIP Conference Proceedings: "Oil and Gas Engineering, OGE 2020"* 2020. p. 020010. <https://doi.org/10.1063/5.0026994>

## ВКЛАД СОАВТОРОВ

Сергей Васильевич Корнеев – 50%

София Вячеславовна Пашукевич – 50%

## AUTHORS' CONTRIBUTION

Sergei V. Korneev - 50%

Sofia V. Pashukevich - 50%

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Корнеев Сергей Васильевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Тепловые двигатели и автотракторное электрооборудование» ФГБОУ ВО «СибАДИ»; проф. кафедры «Химия и химическая технология» Омского государственного технического университета (ОмГТУ); ORCID: 0000-0002-7243-1841 e-mail: svkorneev51@mail.ru

Пашукевич София Вячеславовна – аспирант группы Ма – 202 кафедры «Химия и химическая технология» Омского государственного технического университета (ОмГТУ). ORCID: 0000-0002-8111-4725 e-mail: sofia96@bk.ru

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergei V. Korneev – Dr. of Sci., Professor of the Thermal Engines and Tractor Electrical Equipment Department, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI); Professor of the Chemistry and Chemical Technology Department, Omsk State Technical University; ORCID: 0000-0002-7243-1841 e-mail: svkorneev51@mail.ru.

Sofia V. Pashukevich – Postgraduate student of the Chemistry and Chemical Technology Department, Omsk State Technical University; ORCID: 0000-0002-8111-4725 e-mail: sofia96@bk.ru.