

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-321243>

Оригинальное исследование



Результаты расчета изменения концентрации загрязнения и щелочности моторных масел газовых двигателей

С.А. Утаев

Каршинский государственный университет, Карши, Республика Узбекистан

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Вопрос обеспечения надежности двигателей внутреннего сгорания является актуальной комплексной задачей, решаемой по разным направлениям. Важными, среди них являются условия эксплуатации, вид применяемого топлива, контроль состояния моторных масел, а также обоснование сроков службы последних. При этом, обеспечение эксплуатационных свойств моторных масел газовых двигателей на базе дизелей, контроль основных характеристик работающего масла является актуальным.

Цель работы состоит в оценке изменения концентрации загрязнения и щелочности масел М10Г2 газовых двигателей на базе дизеля. Применение расчетных уравнений для теоретического анализа изменения концентрации загрязнения и снижения щелочности, а также построения зависимостей показателей масла.

Материалы и методы. При работе двигателей внутреннего сгорания в маслах активно развиваются термохимические процессы, приводящие к снижению их качества вследствие срабатывания присадок и накопления в маслах продуктов превращений. Механические примеси накапливаются в моторном масле в результате попадания пыли с засасываемым воздухом или через неплотность картерного пространства, а также вследствие образований неразстворимых продуктов окисления и износа деталей цилиндропоршневой группы. Щелочное число является условной мерой способности масла нейтрализовать кислоты, образующиеся из продуктов сгорания топлива и окисления основы масла. Щелочность, обусловленная наличием щелочных присадок, расходуется на нейтрализацию кислот с разной скоростью.

Результаты. Рассмотрен процесс старения масла в двигателях внутреннего сгорания, факторы, влияющие на старение масла двигателя. С помощью аналитических уравнений производится расчет изменения концентрации загрязнения и изменения щелочности масла газового двигателя на базе дизеля, приводятся графические зависимости показателей масла от продолжительности работы.

Заключение. Практическая ценность исследования заключается в том, что с помощью аналитических уравнений анализируется значение изменения отдельных свойств масел газового двигателя на базе дизеля. Эксплуатация двигателя на масле с щелочным числом ниже предельного ведёт к снижению надежности двигателя, ускоренному износу отдельных деталей, лакообразованию и осадкообразованию на поршневых кольцах и цилиндрах. Не допускается применение масел щелочным числом ниже 2 мг КОН/г.

Ключевые слова: двигатель; загрязнения; концентрация; масло; надежность; присадка; срабатываемость.

Как цитировать:

Утаев С.А. Результаты расчета изменения концентрации загрязнения и щелочности моторных масел газовых двигателей // Тракторы и сельхозмашины. 2023. Т. 90, № 3. С. 265–272. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-321243>

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-321243>

Original Study Article

Results of calculation of changing the pollution concentration and alkalinity of the gas engine oils

Sobir A. Utaev

Qarshi State University, Qarshi, Republic of Uzbekistan

ABSTRACT

BACKGROUND: The issue of ensuring the reliability of internal combustion engines is a relevant composite task, solved in various directions. The important ones among them are the operation conditions, the type of fuel used, control of the motor oils condition, as well as justification of the service life of the latter. When ensuring the operational properties of engine oils of the diesel-based gas engines, the control of the main indicators of the operating oil is relevant.

AIMS: Assessment of changes in the pollution load and alkalinity of the M10G2 oils of the diesel-based gas engines. Application of equations for the theoretical analysis of changes in the pollution concentration and decrease of alkalinity, as well as for building dependencies of oil indicators.

METHODS: During the operation of internal combustion engines, thermochemical processes are actively developing in oils, leading to decrease in their quality due to the activation of additives and the accumulation of transformation products in oils. Mechanical impurities accumulate in the engine oil as a result of dust ingress with the sucked air or through leaks in the crankcase space, as well as due to the formation of insoluble oxidation products and wear of parts of the cylinder-piston group. The base number is a conditional measure of the oil's ability to neutralize acids formed from the products of fuel combustion and oxidation of the oil base. The alkalinity specified by the presence of alkaline additives is consumed for the neutralization of acids at different rates.

RESULTS: The process of oil aging in internal combustion engines and factors affecting the aging of engine oil are considered. Analytical equations are used to calculate changes in the pollution concentration and changes in the alkalinity of the diesel-based gas engine oil, graphical dependences of oil indicators on the service duration are given.

CONCLUSIONS: The practical value of the study lies in the fact that, using the analytical equations, the value of changes in individual properties of diesel-based gas engine oils is analyzed. Operation of the engine with the oil which base number is below the limit leads to a decrease in engine reliability, accelerated wear of individual parts, lacquer formation and sludging on piston rings and cylinders. It is not allowed to use oils with the base number below 2 mg of KOH/g.

Keywords: engine; pollution; concentration; oil; reliability; additive; operability.

To cite this article:

Utaev SA. Results of calculation of changing the pollution concentration and alkalinity of the gas engine oils. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2023;90(3): 265–272. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-321243>

Received: 15.02.2023

Accepted: 15.05.2023

Published online: 15.07.2023

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос обеспечения надежности двигателей внутреннего сгорания является актуальной комплексной задачей, решаемой по разным направлениям. Важными, среди них являются условия эксплуатации, вид применяемого топлива, контроль состояния моторных масел, а также обоснование сроков службы последних. При обеспечении эксплуатационных свойств моторных масел газовых двигателей на базе дизелей, контроль основных характеристик работающего масла является актуальным.

Исследованиями установлено, что значительная часть отказов сельскохозяйственной техники приходится на долю двигателя. При этом, свойства масла, используемого в двигателе как неконструктивный элемент, оказывают существенное влияние на возникающие отказы.

Экономические показатели эксплуатации и долговечности двигателей всегда взаимно связаны [1, 2]. С этой точки зрения большое значение имеет правильный выбор продолжительности применения масла в двигателе без замены. Благодаря вводимым в масло присадкам, наилучшими свойствами масло обладает в своем исходном состоянии. По мере срабатывания присадок качество масла ухудшается. Чтобы сроки замены масла были более продолжительными, масло в исходном состоянии должно иметь «запас качества», который позволил бы сохранить его достаточно высокие эксплуатационные свойства в течение длительного времени применения в двигателе.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования состоит в оценке изменения концентрации загрязнения и щелочности масел M10G₂ газовых двигателей на базе дизеля. Применение расчетных уравнений для теоретического анализа изменения концентрации загрязнения и снижения щелочности, а также построения зависимостей показателей масла.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Из основных путей уменьшения повышенного износа и нагарообразования в двигателях, наиболее важным является добавление присадок к маслу двигателя, способных нейтрализовать коррозионные и нагарообразующие действия сернистых продуктов сгорания топлива, т.е. обладающих высокими антиокислительными и моющими свойствами [2].

В целях улучшения эксплуатационных свойств к маслу добавляются присадки. Только совместное влияние физических свойств базового масла и присадок, составляющих композицию, определяет эксплуатационные свойства масла. Концентрация присадок составляет 20% по отношению к базовому маслу. Намечается тенденция

к дальнейшему увеличению концентрации присадок в масле.

В масле, находящемся в масляной системе при работе дизеля, происходят необходимые непрерывные и качественные изменения [3–6]. Количественные изменения происходят за счет его угара в цилиндропоршневой группе двигателя. Качественные изменения, под общим названием «старение масла», складываются из целого ряда физических и химических процессов, протекающих в масляной системе двигателя. Таким образом, изменения качества масла приводят к его количественным изменениям, т.е. к дополнительному расходу масла в смену. В тоже время, количество масла, находящегося в системе, как это будет рассмотрено далее, также оказывает значительное влияние на скорость изменения качественных показателей, т.е. на старение масла [7].

Старение масла в двигателе – это сложный, недостаточно изученный комплекс физических и химических процессов, на скорость которых оказывает влияние большое число различных факторов. Следует отметить, что эти процессы тесно связаны между собой, и абсолютная дифференциация одного от другого часто оказывает невозможной. Тем не менее, для исследования основных закономерностей старения масла в дизеле и в особенности для изучения количественных, т.е. математических зависимостей целесообразно провести разделение их на более простые процессы, хотя, для этого требуются некоторые условные допущения [7].

Из комплекса физических и химических процессов, составляющих старение масла при работе двигателя, в первую очередь могут быть выделены следующие [7]:

1. Окисление масла, происходящее под действием кислорода воздуха и высокой температуры. Продуктами окисления и полимеризации углеводородов масла могут быть жидкие, полужидкие и твердые продукты, часть которых может быть растворима в масле, тогда как другая часть высокополимерных продуктов окисления и термического разложения будет пополнять количество нерастворимых примесей.
- При сгорании топливо – воздушной смеси в камере сгорания дизеля образуется окись (NO) и двуокись (NO₂) азота. Как правило, оксиды азота рассматривают в виде смеси общей формулы NO_x. Количество окислов азота в выпускных газах меняется в зависимости от режима работы двигателя и обычно составляет 0,1–0,2% [7]. Поступление окислов азота в масло пропорционально расходу картерных газов.
2. Загрязнение масла нерастворимыми примесями, которые складываются из проникших в масло твердых углеродистых частиц (сажи) за счет неполного сгорания топлива; из твердых и жидких продуктов окисления самого масла, образующихся при взаимодействии с присадками; из продуктов износа и загрязнений, поступающих из окружающей среды (вода, песок, пыль).

3. Расход присадки, который выражается прежде всего в снижении щелочности масла, в результате нейтрализации кислых продуктов, а также в расходе присадки на диспергирование углеродистых частиц.

Одной из важнейших составных частей процесса старения моторных масел, во многом определяющей работоспособность последних, является срабатываемость присадок, содержащихся в масле.

Перевод с жидкого на газообразное топливо без специальных доработок, ухудшает энергетические показатели двигателя. Причиной этого является более низкая теплопроизводительность газообразного топлива, а также ухудшение наполнения, особенно при подогреве впускного патрубка. Однако оптимальная организация рабочего процесса при полном использовании положительных сторон газообразного топлива – высокой антидетонационной стойкости, устойчивого горения бедных смесей и др., дает существенное улучшение основных показателей двигателя [4, 5]. Средний эксплуатационный КПД и экономичность двигателя при этом также существенно возрастают, а содержание наиболее токсичных компонентов в отработанных газах уменьшается. Современные мероприятия по переводу дизельных двигателей на газовое топливо обычно включает увеличения степени сжатия на 1,5–2 единицы, уменьшение впускного патрубка и применение специальных газовых смесителей и экономайзеров, позволяющих регулировать мощность по оптимальной характеристике [6].

Эксплуатация газовых двигателей, по сравнению с дизельными, характеризуется значительным увеличением межремонтных сроков службы [4–6]. В продуктах сгорания газообразного топлива практически отсутствуют частицы твердого углерода, вызывающие дополнительный износ сопряженных деталей двигателя. Отсутствие разжижения смазки и уменьшение количества нагара, попадающего из камеры сгорания в картер, позволяет увеличить срок службы моторного масла [3–6]. Наряду с положительными эксплуатационными качествами газовое топливо имеет низкую потребительскую стоимость. Очевидно, что применение газообразного топлива наиболее выгодно в районах их добычи и переработки [3, 4, 6].

Влияние вида и качества топлива на старение масла органическими примесями особенно четко проявляется при переводе дизеля на газообразное топливо. В этом случае загрязнение масла и количество отложений уменьшается. При равных мощностях двигателей количество загрязняющих примесей в дизелях, вследствие повышенного загрязнения масла сажей, до 10–20 раз больше, чем в газовых двигателях [6]. Характерно, что количество сажи в отработавших газах дизелей больше, чем в газовых двигателях.

Дисперсионный анализ масла показал наличие в нем крупных (3–4 мк), средних (0,8–1,5 мк) и мелкие

(0,4–0,8 мк) частиц; причем число средних частиц составляет 85–90% от общего числа частиц [7]. По мере роста теплонапряженности двигателя происходит некоторое увеличение среднего размера частиц загрязнений.

В процессе эксплуатации двигателей тракторов моторное масло теряет свои свойства, т.е. стареет [6–10]. Примеси загрязнений, попадающие в двигатель вместе со свежим маслом, образуются при изготовлении масла и накапливаются в нем в процессе транспортировки, хранения и непосредственно при заправке в систему смазки ДВС [11].

В процессе окисления в маслах изменяются все их физико-химические и эксплуатационные свойства: вязкость, температура вспышки, щелочное и кислотное число, содержание нерастворимых осадков [10].

При работе двигателей внутреннего сгорания в маслах активно развиваются термохимические процессы, приводящие к снижению их качества вследствие срабатывания присадок и накопления в маслах продуктов превращений (нерастворимые продукты – органические и неорганические кислоты и др.) [11, 12].

Старение моторных масел в значительной степени зависит от особенностей конструкции двигателя и специфики рабочего процесса, протекающего в нем [13].

Механические примеси накапливаются в моторном масле в результате попадания пыли с засасываемым воздухом или через неплотности картерного пространства, а также вследствие образований нерастворимых продуктов окисления и износа деталей цилиндропоршневой группы. Считается, что наиболее интенсивно механические примеси накапливаются в моторном масле в первые 60–120 ч работы, а затем процесс стабилизируется. В этот период количество накапливающихся в масле и удерживаемых узлами очистки (фильтрами, центрифуги) механических примесей делается постоянным, что является определяющим для равновесного состояния. Интенсивное накопление механических примесей в первый период работы масла объясняется окислением слабостабильных углеводородов масла во всем объеме смазочной системы, а затем этот процесс протекает, в основном, в масле, доливаемом на угар [10].

Щелочное число является условной мерой способности масла нейтрализовать кислоты, образующиеся из продуктов сгорания топлива и окисления основы масла. Щелочность, обусловленная наличием щелочных присадок, расходуется на нейтрализацию кислот с разной скоростью.

При регулярном доливе на угар свежего масла щелочное число обычно убывает достаточно медленно, а кислотное число растёт по экспоненциальному закону. Иногда рост щелочного числа обуславливается значительным испарением основы масла и концентрацией присадок в масле, остающимся в картере. Пределом работоспособности масел очень часто считают равенство общего щелочного числа общему кислотному числу.

Допустимое значение щелочного числа ограничивается 1,5–2,0 мг КОН/г, или 50% щелочного числа свежего масла [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Содержащиеся в масле посторонние, главным образом минеральные, вещества называются механическими примесями. Механические примеси делят на органическое (сгораемые) и неорганические (несгораемые) вещества. Определения содержания механических примесей в масле основаны на весовом анализе. В свежих моторных маслах механические примеси содержатся в количестве не более 0,015–0,02%. Их содержание определяют по ГОСТ 6370–2000 путем фильтрации разбавленной бензином навески масла. Осадок на бумажном фильтре промывают бензином, высушивают, взвешивают и выражают примеси в процентах.

Скорость загрязнения масла зависит от мощности двигателя, режима работы, от степени его изношенности, от качества применяемого топлива и масла.

По имеющимся данным [6–9, 11, 12], скорость загрязнения масла для дизелей составляет 0,02–0,06 г/л.с.ч.

По данным [7] и др., для дизелей скорость загрязнения $a=0,01–0,06$ г/л.с.ч. Но, при работе двигателя с дымным выхлопом скорость загрязнения может возрастать до $a=0,02–0,03$ г/л.с.ч. [5, 7].

Изучение закономерностей загрязнения масла в двигателе явилось предметом ряда исследований [7]. Одной из первых работ в этой области было исследование, проведенное З.М. Минкиным. Ниже показана зависимость между возможным содержанием загрязнений в масле, скоростью загрязнения, параметром масляной системы и временем работы дизеля, на основе работы Г.А. Морозова [7].

Если содержание примесей выражается в %, то формула будет иметь вид [7–9, 12–14]:

$$x = \frac{100a}{Q_y} \cdot \left(1 - e^{-\frac{Q_y \tau}{G}} \right). \quad (1)$$

Реальная скорость поступления загрязнений непосредственно в масло будет составлять, $a(1-f)$. Тогда зависимость (1) примет вид [7–9, 11, 12]:

$$x = \frac{100a(1-f)}{Q_y} \left(1 - e^{-\frac{Q_y \tau}{G}} \right). \quad (2)$$

Помимо рассмотренных выше формул, рядом исследователей были предложены другие выражения зависимости содержания загрязнений в масле от времени работы двигателя и условий маслообмена. Так, например, [7], для определения концентрации загрязнения предложена упрощенная формула

$$x = \frac{a \cdot \tau}{G + Q_y \cdot \tau}. \quad (3)$$

При расчете содержания концентрации загрязнения масла использованы результаты расчетов изменения концентрации загрязнения в зависимости от продолжительности работы масла. Связь между параметрами можно представлять в виде графика $x = f(T)$. По расчетным результатам можно построить график зависимости изменения концентрации загрязнений от продолжительности работы масла. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Расход присадки в масле легче всего контролировать по снижению щелочности масла [3].

При работе дизеля щелочность масла расходует на нейтрализацию и диспергирование загрязнений, и величина pH изменяется. Так, например, масло М-12 Г₂, у которого pH 9,5, после 100 ч работы имело pH 7,5–8,0 [5].

Содержание присадок в маслах снижается во время работы двигателей. К срабатыванию присадок посвящено много работ, в работах Альтшулера и других рассматривается закономерность срабатывания присадок [1].

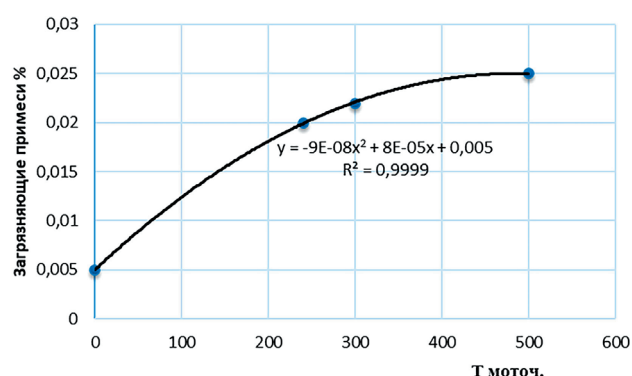


Рис. 1. Графическая зависимость изменения концентрации загрязнений от продолжительности работы масла газового двигателя.

Fig. 1. Graph of dependence of pollution concentration change on service duration of the gas engine oil.

Таблица 1. Расчетные значения изменения концентрации загрязнения и снижения щелочности масла

Table 1. Analytical values of pollution concentration change and oil alkalinity decrease

Расчетные значения	Продолжительность работы, Т					
	0	100	200	300	400	500
Концентрация загрязнений, %	0,005	0,020	0,0231	0,0241	0,0245	0,026
Щелочность мг КОН/г	5,9	4,2	3	2,2	1,94	1,9

При работе двигателя без смены масла в течение 240 ч запас щелочности некоторых присадок срабатывается практически полностью. Быстрая срабатываемость активной части присадки приводит к быстрому падению нейтрализующих и моющих свойств, что в свою очередь, ведёт к уменьшению срока смены масла в двигателе [5].

Для нейтрализации продуктов окисления масла и окислов серы, образующихся при сгорании сернистых топлив, современные моторные масла обладают определенным запасом щелочности, придаваемым им сульфатными, алкилсалицилатными и другими присадками.

По щелочному числу моторных масел можно с достаточной точностью установить их группу. Щелочное определяют методом потенциометрического титрования по ГОСТ 11362-2000. За общее число принимают количество гидроксида калия в миллиграммах, эквивалентное количеству соляной кислоты, израсходованной на нейтрализацию всех основных соединений, содержащихся в 1 г анализируемого масла.

В технических условиях на современные масла, применяемые в тракторных дизелях, установлены следующие значения щелочных чисел: для масел группы В₂ не менее 3,5 мг КОН на 1 г масла, для группы Г₂ не менее 6 мг КОН на 1 г масла.

Повышение кислотности масла сопровождается увеличением коррозионного поражения и износа сопряженных узлов и деталей, ростом отложений и т.д. [5].

Щелочные присадки убывают по мере взаимодействия масел с продуктами сгорания топлива, содержащими значительное количество серы и азота. Другая причина снижения щелочности – взаимодействие присадки с продуктами старения самих масел. Замечено, что скорость реакций нейтрализации кислых продуктов убывает по мере исчерпания щелочного запаса масел.

Изучение кинетики изменения щелочности масла считают наиболее простым способом изучения кинетики срабатывания присадок. Скорость расхода щелочной присадки зависит от содержания в продуктах сгорания топлива кислых веществ. Согласно данным работы Морозова А.Г., Орцимова О.М. [7], скорость изменения щелочности K определяется из формулы:

$$K = 0,35 \cdot y \cdot F \cdot S, \text{ (в мг КОН/г);} \quad (4)$$

где F – расход топлива, кг/ч; S – содержание серы в топливе, %; $y=0,07-0,013$ – величина, определяющая, какая часть образовавшихся при сгорании топлива окислов серы поступает в зону поршневых колец и реагирует с щелочной присадкой.

При работе двигателя на газообразном топливе щелочность масла (в мг КОН/г) можно рассчитать по следующей формуле [7]:

$$C = C_0 + \frac{k}{Q_y} \cdot \lg \left(1 - \frac{Q_y \cdot \tau}{G} \right). \quad (5)$$

При работе двигателя без долива масла и с циркуляционной системой смазки расход щелочности можно представить зависимостью:

$$(G - Q_y \cdot \tau) \cdot \frac{dC}{dt} = -K \cdot C - Q_y \cdot C, \quad (6)$$

где G_T – масса масла, Q_y – скорость угара масла.

Решая эту уравнения можно получить:

$$C = C_0 \cdot \left(1 - \frac{Q_y \cdot \tau}{G} \right)^{\frac{k}{Q_y} + 1}. \quad (7)$$

Щелочность масла к моменту τ определяется начальной концентрацией C_0 , количеством масла в системе G и параметром A , который, в свою очередь, зависит от Q_y и S . Тогда концентрацию щелочности можно записать в виде:

$$C = \frac{C_0}{A + 1}. \quad (8)$$

Предполагая $C = S$, начальную концентрацию щелочности можно определить из уравнения:

$$C_0 = S \cdot (A + 1). \quad (9)$$

Начальная концентрация щелочности $C_0=5,9$ мг КОН/г, через 100 ч. работы двигателя рассчитанная щелочность составляет $C=4,3$, как показывают расчетные значения после 400 ч. Работы двигателя значение щелочности ниже предельного, рекомендуется замена масла или непрерывная ввод присадок в процессе работы масла.

Графическая иллюстрация изменения щелочности масла двигателя от продолжительности работы представлена в рис. 2.

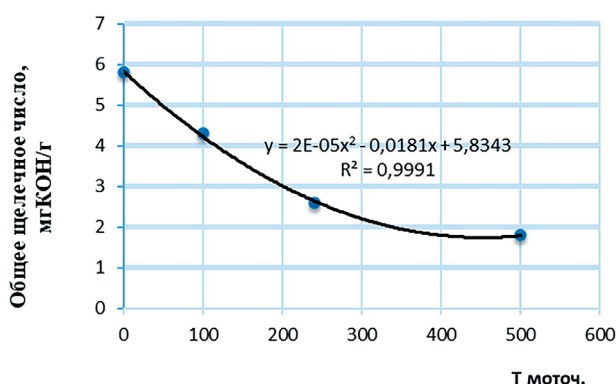


Рис. 2. Графическая зависимость снижения щелочности от продолжительности работы масла газового двигателя.

Fig. 2. Graph of dependence of alkalinity decrease on service duration of the gas engine oil.

Если концентрация присадки в масле $C_0 > C_{\text{мин}}$, замена одноразового общепринятого ввода присадки с маслом на непрерывное дозирование может обеспечить при этих же расходах присадки, увеличение срока срабатывания почти в два раза больше [5, 8, 9, 12, 13].

ВЫВОДЫ

Количество загрязняющих примесей в первые 240 моточасов эксплуатации интенсивно будит расти. Как выяснилось по результатам исследований концентрация загрязняющих примесей зависит от продолжительности работы масла и условия эксплуатации двигателя. Техническими требованиями установлены допустимые пределы щелочности масла. Эксплуатация двигателя на масле с щелочным числом ниже предельного ведёт к снижению надёжности двигателя, ускоренному износу отдельных деталей, лакообразованию и осадкообразованию на поршневых кольцах и цилиндрах. Не допускается применение масел щелочным числом ниже 2 мг КОН/г.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад автора. С.А. Утаев — поиск публикаций по теме статьи, написание и редактирование текста

рукописи, создание изображений, экспертная оценка, утверждение финальной версии. Автор подтверждает соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE*. Автор прочел и одобрил финальную версию перед публикацией.

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Author's contribution. S.A. Utaev — search for publications, writing and editing the text of the manuscript, creating images, expert opinion, approval of the final version. The author made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agrees to be accountable for all aspects of the work.

Competing interests. The author declares that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альтшулер М.А., Виппер А.Б., Журба А.С. Кинетическое исследование и прогнозирование срабатываемости щелочных свойств моторных масел // Химия и технология топлив и масел. 1980. № 10. С. 27–29.
2. Арабян С.Г., Виппер А.Б., Холомонов И.А. Масла и присадки для тракторных и комбайновых двигателей. М.: Машиностроение, 1984.
3. Венцель С.В. Применение топлив и смазочных масел в автомобильных и тракторных двигателях. М.: Машиностроение, 1985.
4. Bekbolatov G.Zh., Shingisbayeva Z.A., Tulenov A., et al. Determination of environmental consequences from production processes of motor transport enterprises // Eurasia J Biosci. 2019. Vol. 13. P. 167–176.
5. Базаров Б.И., Магдиев К.И., Сидиков Ф.Ш. и др. Современные тенденции в использовании альтернативных моторных топлив // JARITS. 2019. Vol. 2, P. 186–188. doi: 10.26160/2474-5901-2019-14-186-189
6. Григорьев М.А. Качество моторного масла и надёжность деталей. М.: Машиностроение, 1981.
7. Морозов Г.А., Арцимов О.М. Очистка масел в дизелях. Л.: Машиностроение, 1971.
8. Musurmanov R.K., Utaev S.A. Mathematical modeling of changes in the physical and chemical properties of gas engine oils // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. Vol. 868. P. 012044. doi: 10.1088/1755-1315/868/1/012044
9. Musurmanov R.K., Utaev S.A. Ecological impact and results of the study of motor oils of internal combustion engines by conducting tribomechanical stabilizers // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2022. Vol. 1112. P. 012146. doi: 10.1088/1755-1315/1112/1/012146
10. Остриков В.В., Уханов А.П., Клейменов О.А. др. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости. Ульяновск: УГСХА, 2009.
11. Попов С.Ю. Повышение эксплуатационных свойств ремонтно-восстановительных составов при их использовании в двигателях внутреннего сгорания: дисс. ... канд. тех. наук. Тамбов, 2014.
12. Утаев С.А. Исследование срабатывания и непрерывного ввода присадок к маслам газодвигателей // Современные материалы, техника и технологии научно-практический рецензируемый журнал. 2018. № 3(18). С. 55–60.
13. Утаев С.А. Результаты анализа непрерывного ввода присадок в смазочную систему двигателя, работающего на газообразном топливе // Тракторы и сельхозмашины. 2019. Т. 86. № 3. С. 76–80. doi: 10.31992/0321-4443-2019-3-76-81
14. Чудиновских А.Л. Разработка научных основ химмотологической оценки автомобильных моторных масел: дисс. ... докт. тех. наук. М.: 2016. С. 14–35.

REFERENCES

1. Altshuler MA, Vipiper AB, Zhurba AS. Kinetic study and prediction of the response of alkaline properties of motor oils. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel*. 1980;10:27–29. (In Russ).
2. Arabyan SG, Vipiper AB, Kholomonov IA. *Oils and additives for tractor and combine engines*. Moscow: Mashinostroenie; 1984. (In Russ).
3. Venzel SV. *The use of fuels and lubricating oils in automobile and tractor engines*. Moscow: Mashinostroenie, 1985. (In Russ).
4. Bekbolatov GZh, Shingisbayeva ZA, Tulenov A, et al. Determination of environmental consequences from production processes of motor transport enterprises. *Eurasia J. Biosci.* 2019;13:167–176.
5. Bazarov BI, Magdiev KI, Sidikov FSh, et al. Current trends in the use of alternative motor fuels. *JARITS*. 2019;2(14):186–188. doi: 10.26160/2474-5901-2019-14-186-189
6. Grigoriev MA. *Engine oil quality and parts reliability*. Moscow: Mashinostroenie; 1981. (In Russ).
7. Morozov GA, Artsiomov OM. *Diesel oil cleaning*. Leningrad: Mashinostroenie; 1971. (In Russ).
8. Musurmanov RK, Utaev SA. Mathematical modeling of changes in the physical and chemical properties of gas engine oils. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2021;868:012044. doi: 10.1088/1755-1315/868/1/012044
9. Musurmanov RK, Utaev SA. Ecological impact and results of the study of motor oils of internal combustion engines by conducting tribomechanical stabilizers. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2022;1112:012146. doi: 10.1088/1755-1315/1112/1/012146
10. Ostrikov VV, Ukhanov AP, Kleimenov OA, et al. *Fuel, lubricants and technical liquids*. Ulyanovsk: UGSKhA; 2009. (In Russ).
11. Popov SYu. Povyshenie ekspluatatsionnykh svoystv remontno- vosstanovitelnykh sostavov pri ikh ispolzovanii v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya [dissertation] Tambov; 2014. (In Russ).
12. Utaev SA. Investigation of the operation and continuous introduction of additives to gas engine oils. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii nauchno-prakticheskiy retsenziruemyy zhurnal*. 2018. № 3(18). С. 55–60. (In Russ).
13. Utaev SA. The results of the analysis of the continuous input of additives in the lubricating system of the engine operating on gaseous fuel. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2019;86(3): 76–80. (In Russ). doi: 10.31992/0321-4443-2019-3-76-80
14. Chudinovskikh AL. Razrabotka nauchnykh osnov khimmotologicheskoy otsenki avtomobilnykh motornykh masel [dissertation] Moscow, 2016:14–35. (In Russ).

ОБ АВТОРЕ

Утаев Собир Ачилович,

канд. техн. наук,
доцент кафедры «Альтернативные
и возобновляемые источники энергии»;
адрес: Республика Узбекистан, 180103, Карши,
ул. Кучабог, д. 17;
ORCID: 0000-0003-0377-8929;
eLibrary SPIN: 6478-8885;
e-mail: utaev.s@list.ru

AUTHOR'S INFO

Sobir A. Utaev,

Cand. Sci. (Tech.),
Associate Professor of the Alternative
and Renewable Energy Sources Department;
address: 17 Kuchabog street, 180103 Karshi,
Republic of Uzbekistan;
ORCID: 0000-0003-0377-8929;
eLibrary SPIN: 6478-8885;
e-mail: utaev.s@list.ru