

ФАКТОРЫ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКА ЗАМЕНЫ МОТОРНОГО МАСЛА В АВТОМОБИЛЬНЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Ф. Л. Назаров

ФГУП «НАМИ», Москва; Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия
e-mail: nazarovf@yandex.ru

Аннотация. Актуальность темы исследования обусловлена тем, что потенциал увеличения срока замены моторного масла в современных и перспективных автомобильных двигателях должен иметь не только маркетинговую основу, но и научное обоснование для его реализации. Целью исследования является снижение удельных затрат на техническое обслуживание автомобильных двигателей за счёт увеличения сроков замены моторного масла. Частной задачей в рамках настоящей статьи является установление факторов и количественная оценка их влияния на увеличение срока замены моторного масла в современных и перспективных автомобильных дизельных двигателях.

Методический аппарат решения данной задачи базировался на углубленном анализе ранее полученных результатов экспериментальных исследований закономерностей «старения» моторных масел в дизельных двигателях семейства КАМАЗ V8 в зависимости от различных факторов во взаимосвязи с критерием «жесткости» работы моторного масла.

Впервые дана количественная оценка влияния выявленных факторов на увеличение срока замены масла (при прочих равных условиях):

- применение масел более высоких классов по уровню эксплуатационных свойств – например, переход по API с CD на CF-4/SG - в 4,4 раза;
- уменьшение содержания серы в топливе – например, для класса API CG-4 при снижении с 0,05% до 0,035% – в 2,6 раза, для класса API CI-4 при снижении от 0,035% до 0,001% – в 2,3 раза;
- уменьшение критерия «жесткости» работы масла A – например, для класса API CF-4/SG при снижении (по мощности двигателя) с $A = 770$ до $A = 550$ – в 4 раза; для класса API CI-4/CG-4 при снижении (по ёмкости масляного картера) с $A = 1176$ до $A = 835$ – в 2,8 раза, и до $A = 640$ – в 3,1 раза.

Этот новый результат для проблематики исследования позволил сформулировать базовые требования к моторному маслу двигателей семейства КАМАЗ Р6. Выбранные масла двух марок обеспечили подтвержденный испытаниями увеличенный до 150 тыс. км. срок замены, и поэтому были допущены к применению заводом-изготовителем ПАО «КАМАЗ».

Теоретическая ценность для развития отрасли науки «Эксплуатация автомобильного транспорта» заключается в том, что выявленные факторы и закономерности вносят вклад в изучение эффективности, качества, характеристик, показателей работоспособности автомобильных эксплуатационных материалов.

Дальнейшие исследования на основе данной работы автор видит в формализованной оценке влияния рассматриваемых факторов на срок замены моторного масла.

Ключевые слова: дизельные двигатели, моторное масло, срок замены, щелочное число, критерий «жесткости».

Для цитирования: Назаров Ф. Л. Факторы увеличения срока замены моторного масла в автомобильных дизельных двигателях // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – № 5. – С. 92–101, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-5-92>.



Original article

FACTORS OF INCREASING ENGINE OIL REPLACEMENT TIME IN AUTOMOBILE DIESEL ENGINES

F. L. Nazarov

FSUE "NAMI", Moscow; Orenburg State University, Orenburg, Russia

e-mail: nazarovf@yandex.ru

Abstract. *The relevance of the research topic is due to the fact that the potential for increasing the replacement period of engine oil in modern and promising automotive engines should have not only a marketing basis, but also a scientific justification for its implementation. The aim of the study is to reduce the unit cost of maintenance of automobile engines by increasing the timing of engine oil change. A particular task within the framework of this article is to establish the factors that cause an increase in the period for replacing engine oil in automobile diesel engines (on the example of the KAMAZ R6 family).*

The methodological apparatus for solving this problem was based on an in-depth analysis of previously obtained results of experimental studies of the patterns of «aging» of motor oils in diesel engines of the KAMAZ V8 family, depending on various factors in conjunction with the criterion of «rigidity» of the engine oil.

For the first time, a quantitative assessment of the influence of the identified factors on the increase in the oil change period is given (ceteris paribus):

- *the use of oils of higher classes in terms of performance – for example, the transition from CD to CF-4 / SG according to API – by 4,4 times;*
- *reduction of sulfur content in fuel - for example, for the API CG-4 class with a decrease from 0,05% to 0,035% – by 2,6 times, for the API CI-4 class with a decrease from 0,035% to 0,001% – in 2,3 times;*
- *reduction of the criterion of «rigidity» of oil operation A – for example, for API CF-4 / SG class with a decrease (in terms of engine power) from $A = 770$ to $A = 550$ – 4 times; for the API CI-4/CG-4 class with a decrease (in terms of oil sump capacity) from $A = 1176$ to $A = 835$ – by 2,8 times, and to $A = 640$ – by 3,1 times.*

The basic requirements for engine oil of engines of the KAMAZ R6 family are formulated. The selected oils of two brands provided a test-confirmed increase to 150 thousand km. replacement period, and therefore were approved for use by the manufacturer of KAMAZ PJSC.

The theoretical value for the development of the branch of science «Operation of road transport» lies in the fact that the identified factors and patterns contribute to the study of the efficiency, quality, characteristics, performance indicators of automotive operating materials.

The author sees further research based on this work in a formalized assessment of the influence of the factors under consideration on the period of replacement of engine oil.

Key words: *diesel engines, engine oil, replacement period, base number, criterion of «rigidity».*

Cite as: Nazarov, F. L. (2023) [Factors of increasing engine oil replacement time in automobile diesel engines]. *In* *tellekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 5, pp. 92–101, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-5-92>.

Введение

Увеличенная периодичность технического обслуживания (ТО) грузовых коммерческих автомобилей является одним из современных трендов мирового автомобилестроения. Это является одним из резервов снижения стоимости владения автомобилем, однако основная выгода связана со снижением потерь ресурсов – уменьшением времени простоев и, как следствие, сокращением трудозатрат и экономических потерь от невыполнения автотранспортных услуг [7; 8].

Один из ведущих мировых производителей грузовых автомобилей ПАО «КАМАЗ» разработал и с 2019 года серийно выпускает дизельные двигатели нового

семейства КАМАЗ Р6 (модели 910.10-550, 910.12-450). Эти рядные шестицилиндровые с рабочим объемом 12 литров двигатели предназначены для автомобилей КАМАЗ нового семейства К5 (модели 54901, 65951, 65952) с высокими потребительскими свойствами, обеспечивающие конкурентоспособность с ведущими зарубежными аналогами, поэтому отвечающие международным требованиям по безопасности, надежности, топливной экономичности и экологии [3; 11]. Учитывая потребительские свойства этих автомобилей, на предпроектном этапе маркетинговыми исследованиями была определена периодичность ТО не менее 120 тыс. км. (для магистральных тягачей и до-

рог I категории условий эксплуатации). Ключевым фактором увеличения периодичности ТО является повышение сроков замены моторного масла, поэтому в двигателях КАМАЗ Р6 он должен быть не менее 150 тыс. км. Такой срок замены существенно (в 3 раза) больше, чем аналогичный показатель для самых совершенных двигателей выпускаемого семейства КАМАЗ V8 экологического класса ЕВРО-5: 740.735–400, 740.745–420, 740.755–440 и др. Увеличенные значения периодичности ТО и срока замены масла соответствуют уровню ведущих мировых производителей автомобилей и двигателей [7].

Очевидно, что проектный потенциал увеличения срока замены масла должен иметь не только маркетинговую основу, но и научное обоснование для его реализации. Таким образом, исследования, целью которых является снижение удельных затрат на техническое обслуживание автомобильных двигателей за счёт увеличения сроков замены моторного масла, являются актуальными.

Обзор и анализ литературы [1; 2; 5; 6; 8; 9; 10; 12; 15; 16] по состоянию научной разработки данной проблематики показал, что увеличение сроков замены масла является сложной комплексной научно-практической задачей, которая содержит не решенные в полной мере такие вопросы, как: обоснования требований к эксплуатационным характеристикам моторного масла из-за изменения характеристик двигателей (уровня форсированности, заданного ресурса, выполнения требований экологических норм, периодичности ТО); контроля показателей качества масла и установление закономерностей их изменения в эксплуатации; обоснования методик определения срока замены и корректировки его в зависимости от различных факторов.

Одной из научных проблем, требующей решения, является недостаток знаний о закономерностях влияния различных конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов на процессы изменения показателей качества моторного масла от наработки в двигателях. В связи с этим, в статье решается задача по установлению факторов и количественной оценке их влияния на увеличение срока замены моторного масла

в современных и перспективных автомобильных дизельных двигателях. Решение позволило сформулировать базовые требования к моторному маслу, дизельному топливу, конструкции и технологиям изготовления деталей, узлов, систем для увеличения периодичности ТО двигателей нового семейства КАМАЗ Р6, предложить конкретные марки масла и экспериментально подтвердить адекватность теоретических положений.

Материал и методика исследования

Автором проведен углубленный анализ ранее полученных результатов экспериментальных исследований закономерностей «старения» моторных масел в зависимости от различных факторов на специальных испытательных моторных стендах [4]. Под «старением» масла понимают закономерный неизбежный процесс изменения его качества при работе в двигателе [10; 13]. Под сроком замены масла понимают время или пробег срабатывания в определённой мере главных эксплуатационных свойств (или одного из них) масла, гарантирующие безотказную работу двигателя до замены [2; 14]. В качестве основного свойства масла для определения срока замены масла в работе принято щелочное число (ЩЧ). Считается, что наиболее подходящей наработкой для замены масла является наступление предельного состояния, когда щелочное число снизилось до половины значения для свежего масла или совпало с общим кислотным числом [2; 9; 14].

Динамика «старения» масла оценивалась по зависимостям относительной величины снижения $\Delta\text{ЩЧ}$ (в процентах) от наработки t (в моточасах). Опытные значения $\Delta\text{ЩЧ}$ (y) от наработки (x) аппроксимировались линейной моделью вида $y = ax + b$. Критерием оценки служили скорость изменения $\Delta\text{ЩЧ}$ от t , т.е. значения коэффициента a , а также потенциальный срок замены, как наработка при достижении предельного значения $\Delta\text{ЩЧ} = 50\%$ ($y = 50$), т.е. $T_m = (50-b)/a$.

В качестве критерия «жёсткости» работы моторного масла использован показатель A , предложенный в работах [5; 12]. Регрессионное уравнение, определяющее связь между A и показателями двигателя, имеет вид:

$$A = 0,328 \cdot E^{1,28} \cdot N_e^{1,47} / G_m^{1,19},$$

где

E – степень сжатия двигателя;

N_e – номинальная эффективная мощность двигателя, кВт;

G_m – ёмкость масляного картера двигателя, кг,

$$G_m = \rho_m V_m,$$

где

ρ_m – плотность масла, кг/м³, $\rho_m = 850$ [6];

V_m – объём масла в масляном картере, л.

Результаты исследования

Влияние класса моторного масла по уровню эксплуатационных свойств на срок замены при одинаковой «жесткости» работы

Сравнивались моторные масла разных классов по уровню эксплуатационных свойств (далее классов): API CF-4/SG марки Лукойл Супер SAE 15W-40 и API CD марки М-10ДМ. На рисунке 1 приведены данные по изменению $\Delta\text{ЩЧ}$ у данных масел на двигателе КАМАЗ-740.11-240 ($E=16,5$; $N_e=176,5$ кВт; $G_m=25,5$ кг; $A=505$). Анализ зависимостей показыва-

ет, что процесс «старения» масла класса API CF-4/SG марки Лукойл Супер SAE 15W-40 протекает значительно медленнее по сравнению с маслом класса API CD марки М-10ДМ. Так, в масле Лукойл Супер за 200 моточасов $\Delta\text{ЩЧ}$ составляет 15%, а сроком замены можно считать $T_m=787$ моточасов. В масле М-10ДМ уже к 150 моточасам $\Delta\text{ЩЧ}$ достигает 40%, а $T_m=180$ моточасов. Таким образом, в испытуемых условиях масло Лукойл Супер SAE 15W-40 API CF-4/SG обеспечивает увеличение срока замены до 4,4 раза по сравнению с маслом М-10ДМ API CD.

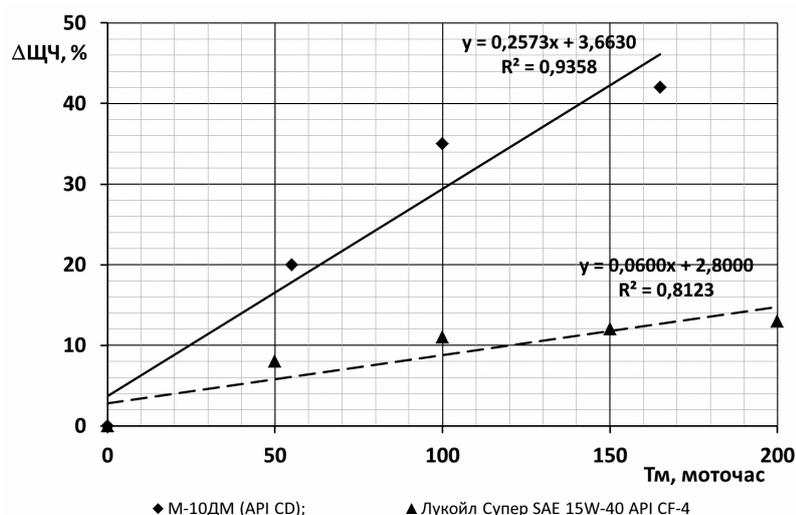


Рисунок 1. Зависимости относительной величины снижения щелочного числа моторных масел М-10ДМ API CD и Лукойл Супер SAE 15W-40 API CF-4/SG от наработки в двигателе КАМАЗ 740.11-240

Источник: разработано автором на основе [4]

Вывод: увеличению срока замены масла способствует применение моторных масел более высокого класса при прочих равных условиях.

Влияние «жесткости» работы моторного масла (по мощности) на срок замены у одинаковых масел

На рисунке 2 показано сравнение изменения $\Delta\text{ЩЧ}$ моторного масла Лукойл Супер SAE 15W-40 API CF-4/SG от наработки в двигателях КАМАЗ-740.11-240 240 ($E=16,5$; $N_e=176,5$ кВт; $G_m=25,5$ кг; $A=505$) и КАМАЗ-740.51-320 ($E=16,5$; $N_e=235,3$ кВт; $G_m=25,5$ кг; $A=770$).

Работа масла в испытуемых двигателях значительно отличается величиной критерия «жесткости» А. Вследствие этого, скорость изменения $\Delta\text{ЩЧ}$ в масле двигателя КАМАЗ-740.51-320, у которого $A=770$, примерно в 3,3 раза больше, чем двигателя КАМАЗ 740.11-240 ($A=550$). Результатом этого является то, что за 200 моточасов в двигателе КАМАЗ-740.51-320 $\Delta\text{ЩЧ}$ составляет около 50%, а в двигателе КАМАЗ-740.11-240 $\Delta\text{ЩЧ}=14\%$. Также значительна (в 4 раза)

разница в сроках замены масла (соответственно $T_m=196$ моточасов и $T_m=787$ моточасов).

Вывод: увеличению срока замены масла способствует уменьшение «жесткости» работы моторного масла при прочих равных условиях.

Влияние «жесткости» работы моторного масла (по ёмкости масляного картера) на срок замены у одинаковых масел

Испытывалось моторное масло Mobil Delvac MX Extra SAE 10W-40 API CI-4/CG-4 в двигателе КАМАЗ-740.64-420 ($E=16,8$; $N_e=308,8$ кВт) с разной ёмкостью масляного картера [$G_m=25,5$ кг ($V_m=30$ л); $G_m=34$ кг ($V_m=40$ л); $G_m=42,5$ кг ($V_m=50$ л)] и соответственно «жесткостью» работы ($A=1176$; $A=835$; $A=640$).

Получены зависимости $\Delta\text{ЩЧ}$ от наработки при разной «жесткости» работы (рисунок 3). Наиболее быстро за 200 моточасов «старает» масло с меньшей ёмкостью масляного картера: с $G_m=25,5$ кг – $\Delta\text{ЩЧ}=43\%$, с $G_m=34$ кг – $\Delta\text{ЩЧ}=18\%$, с $G_m=42,5$ кг – $\Delta\text{ЩЧ}=15\%$.

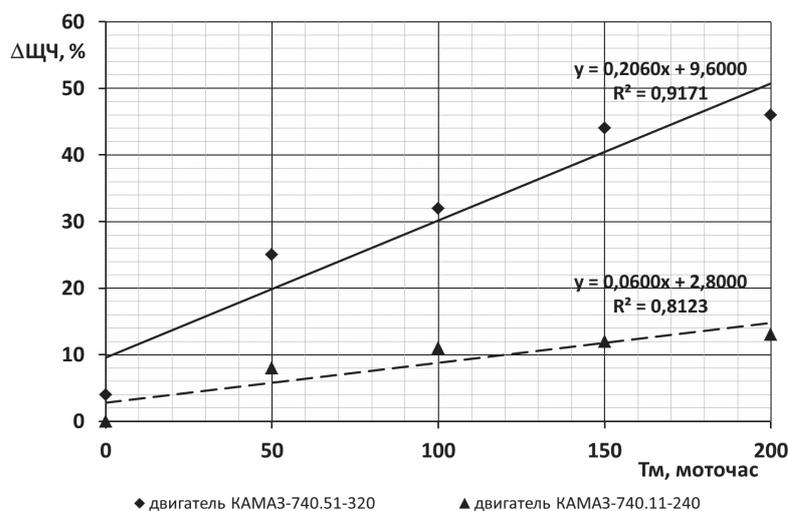


Рисунок 2. Зависимости относительной величины снижения щелочного числа моторного масла Лукойл Супер SAE 15W-40 API CF-4/SG от наработки в двигателях КАМАЗ-740.51-320 и КАМАЗ 740.11-240

Источник: разработано автором на основе [4]

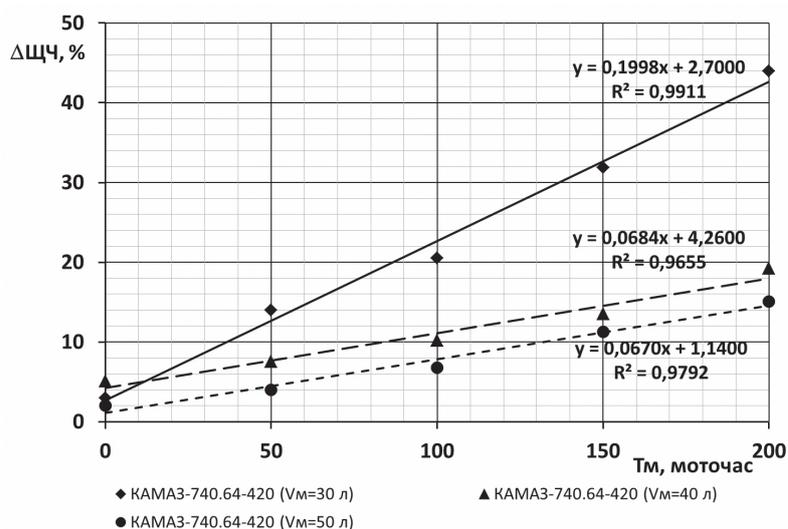


Рисунок 3. Зависимости относительной величины снижения щелочного числа моторного масла Mobil Delvac MX Extra SAE 10W-40 API CI-4/CG-4 от наработки в двигателе КАМАЗ-740.64-420 при разной «жесткости» работы (по ёмкости масляного картера)

Источник: разработано автором на основе [4]

Вследствие этого, при $G_m=25,5$ кг и $A=1176$ срок замены $T_m=237$ моточасов, что в 2,8 раза меньше по сравнению со сроком $T_m=669$ моточасов при $G_m=34$ кг и $A=835$, и в 3,1 раза меньше по сравнению со сроком $T_m=729$ моточасов при $G_m=42,5$ кг и $A=640$.

Вывод: увеличению срока замены масла способствует увеличение ёмкости масляного картера двигателей при прочих равных условиях.

Влияние повышенного содержания серы в топливе

на срок замены моторных масел разных классов при одинаковой «жесткости» работы

На рисунке 4 показана зависимость $\DeltaЩЧ$ разных моторных масел одного класса вязкости SAE 15W-40, но разных классов по API (CF-4, CG-4) в ходе стендовых испытаний на двигателе КАМАЗ-740.50-360 ($E=16,5$; $N_e=264,7$ кВт; $G_m=25,5$ кг; $A=916$) с применением топлива с содержанием серы до 0,05%.

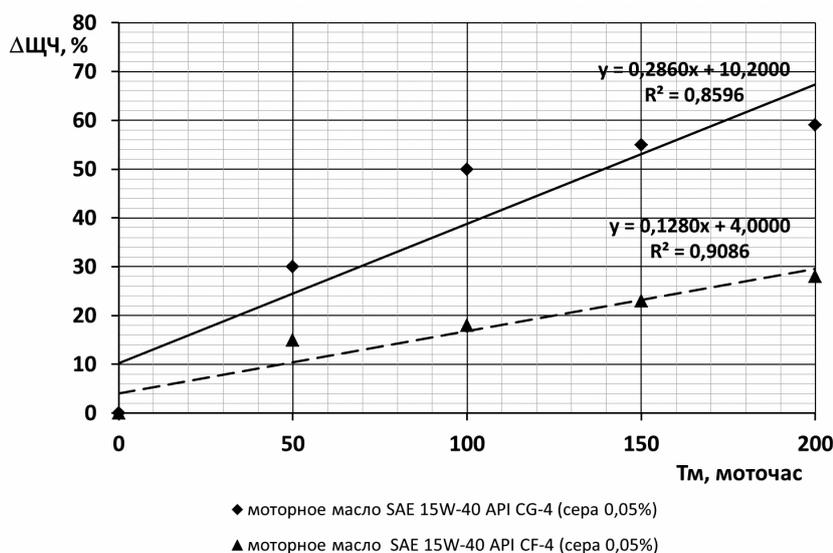


Рисунок 4. Зависимости относительной величины снижения щелочного числа моторных масел одного класса вязкости SAE 15W-40 разных классов API CF-4, CG-4 от наработки в двигателе КАМАЗ 740.50-360 (содержание серы в топливе до 0,05%)

Источник: разработано автором на основе [4]

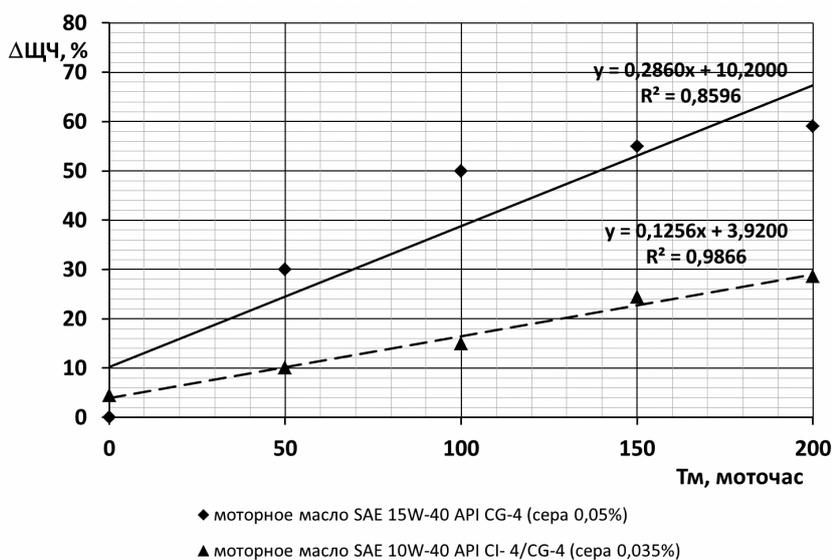


Рисунок 5. Зависимости относительной величины снижения щелочного числа моторных масел разного класса вязкости SAE 15W-40, 10W-40 одного класса API CG-4 от наработки в двигателе КАМАЗ 740.50-360 при разном содержании серы в топливе (до 0,05% и до 0,035%)

Источник: разработано автором на основе [4]

Заметно, что при работе двигателя на одинаковом топливе с содержанием серы до 0,05% процесс «старения» моторного масла SAE 15W-40 с более высоким классом API CG-4 протекает значительно быстрее (в 2,2 раза) по сравнению с маслом API CF-4. След-

ствием этого, срок замены масла API CG-4 ($T_M=139$ моточасов) меньше в 2,6 раза по сравнению со сроком замены масла API CF-4 ($T_M=359$ моточасов).

Вывод: срок замены масел высоких классов значительно снижается, по сравнению с маслами более

низких классов, при использовании в двигателях топлива с повышенным содержанием серы при прочих равных условиях.

Влияние содержания серы в топливе на срок замены моторных масел одного класса при одинаковой «жесткости» работы

На рисунке 5 показана зависимость $\Delta\text{ЩЧ}$ моторных масел разного класса вязкости SAE 15W-40, 10W-40, одного класса API CG-4 от наработки в двигателе КАМАЗ-740.50-360 ($E=16,5$; $N_e=264,7$ кВт; $G_m=25,5$ кг; $A=916$) с разным содержанием серы в топливе (до 0,05% и до 0,035%).

Видно, что при работе двигателя на топливе с содержанием серы до 0,05% процесс «старения» мотор-

ного масла протекает значительно быстрее (в 2,3 раза) по сравнению с содержанием серы до 0,035%. Как следствие – при содержании серы до 0,05% срок замены масла составляет $T_m=139$ моточасов, что в 2,6 раза меньше по сравнению со сроком $T_m=367$ моточасов при меньшем в 1,43 раза (до 0,035%) содержании серы.

На рисунке 6 показана зависимость $\Delta\text{ЩЧ}$ моторных масел одного класса вязкости SAE 10W-40, одного класса API CI-4 от наработки в двигателях КАМАЗ-740.632-400 ($E=17,9$; $N_e=294,1$ кВт; $A=1099$) и КАМАЗ-740.64-420 ($E=16,8$; $N_e=308,8$ кВт; $A=1176$) с разным содержанием серы в топливе (до 0,001% и до 0,035%). «Жесткость» работы масла практически одинакова.

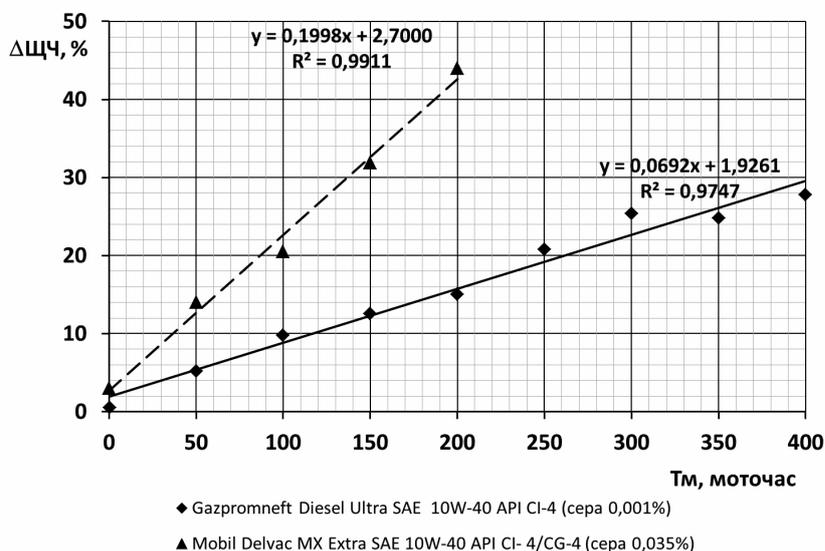


Рисунок 6. Зависимости относительной величины снижения щелочного числа моторных масел одного класса вязкости SAE 10W-40 одного класса API CI-4 от наработки в двигателях КАМАЗ-740.632-400 и КАМАЗ-740.64-420 с одинаковой «жесткостью» работы при разном содержании серы в топливе (до 0,001% и до 0,035%)

Источник: разработано автором на основе [4]

Здесь также видно, что при работе двигателя на топливе с содержанием серы до 0,035% процесс «старения» моторного масла протекает значительно быстрее (в 2,9 раза) по сравнению с содержанием серы до 0,001%. Как следствие – при содержании серы до 0,035% срок замены масла составляет $T_m=237$ моточасов, что в 2,3 раза меньше по сравнению со сроком $T_m=695$ моточасов при меньшем в 35 раз (до 0,001%) содержании серы.

Вывод: срок замены масла увеличивается при уменьшении содержания серы в топливе при прочих равных условиях.

Основные выводы

Основываясь на результатах исследований, сделаны следующие выводы:

- срок замены масла увеличивается при прочих равных условиях при применении масел более высоких классов – например, переход по API с CD на CF-4/SG – в 4,4 раза; однако при использовании топлива с повышенным содержанием серы (до 0,05%) срок замены масел более высоких классов становится меньше, чем у масел с пониженным классом – например, у масла API CG-4 в 2,6 раза, чем у масла API CF-4;
- срок замены масла увеличивается при прочих

равных условиях при уменьшении содержания серы в топливе – например, для класса API CG-4 в 2,6 раза при снижении с 0,05% до 0,035%, для класса API CI-4 в 2,3 раза при снижении от 0,035% до 0,001%;

– срок замены масла увеличивается при прочих равных условиях при уменьшении критерия «жёсткости» работы A – например, для масла API CF-4/SG с уменьшением (по мощности двигателя) $A=770$ до $A=550$ срок замены увеличивается в 4 раза; для масла API CI-4/CG-4 с уменьшением (по ёмкости масляного картера) $A=1176$ до $A=835$ срок замены масла увеличивается в 2,8 раза, и до $A=640$ – в 3,1 раза.

Заключение

Получен новый результат сравнительно с современной литературой, связанной с проблематикой исследования – впервые количественно оценено влияние выявленных факторов (применение масел высоких классов; увеличенный объём масляного картера; использование дизельного топлива с минимальным содержанием серы; снижение теплонапряжённости двигателя) на увеличение срока замены масла в дизельном двигателе.

Так, условиями для обеспечения максимального срока замены моторного масла в двигателях семейства КАМАЗ V8 являются:

- класс масла – не ниже API CI-4;
- содержание серы в топливе – менее 0,001%;
- критерий «жёсткости» работы масла (по ёмкости масляного картера) – не более 840.

Предварительная оценка показывает, что

максимальный срок замены масла в двигателе КАМАЗ-740.632-400 с увеличенным объёмом масла в масляном картере с 32 л. до 44 л. может составить 2085 моточасов, что эквивалентно пробегу магистрального тягача около 130 тыс. км.

Итогом решения поставленной задачи явилась формулировка базовых требований к моторному маслу двигателей семейства КАМАЗ Р6 [14]: класс по API не ниже CI-4, по ACEA E4, E7; класс вязкости по SAE 5W-30; зольность не менее 1,5; щелочное число не менее 12 мг КОН/г.

Выбранные масла двух разных марок Lukoil Avantgarde Professional ACEA E4/E7 SAE 5W-30 и Gazpromneft Diesel Ultra SAE 5W-30 API CI-4 обеспечили подтверждённый испытаниями [7; 14] увеличенный до 150 тыс. км. срок замены, и были допущены к применению заводом-изготовителем ПАО «КАМАЗ», что обуславливает адекватность теоретических положений.

В целом, выявленные факторы и закономерности вносят вклад в изучение эффективности, качества, характеристик, показателей работоспособности автомобильных эксплуатационных материалов, что свидетельствует о ценности проведенного исследования для развития отрасли науки «Эксплуатация автомобильного транспорта».

В качестве рекомендации для дальнейших исследований на основе данной работы автор видит в формализованной оценке влияния рассматриваемых факторов на срок замены моторного масла.

Литература

1. Бунаков Б. М., Первушин А. Н., Смирнов К. Ю. Моторные автомобильные масла. Состояние и пути повышения их качества // *Автомобильная промышленность*. – 2008. – № 10. – С. 28–30. – EDN: JWCJLL.
2. Влияние условий эксплуатации автомобилей на ресурс работы моторного масла / И. И. Ширлин [и др.] // *Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии*. – 2013. – № 4(32). – С. 42–45. – EDN: QZGGAB.
3. Двигатель внутреннего сгорания в будущем: актуальные задачи по развитию / М. Д. Ханнанов [и др.] // *Труды НАМИ*. – 2022. – № 1. – С. 82–90. – <https://doi.org/10.51187/0135-3152-2022-1-82-90>. – EDN: QYBSTD.
4. Динамика свойств моторного масла в эксплуатации как основа обоснования периодичности его замены для двигателей КАМАЗ нового поколения / А. Т. Кулаков [и др.] // *Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник*. – 2022. – № 6. – С. 31–37. – <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2022-06-5>. – EDN: NEVXSU.
5. Дубовик Е. А. Расчетное определение срока службы восстановленных моторных масел // *Автомобильная промышленность*. – 2012. – № 11. – С. 28–29.
6. Изменения требований к моторным топливам и маслам, связанные с совершенствованием ДВС / П. В. Клишин [и др.] // *Автомобильная промышленность*. – 2016. – № 9. – С. 29–33. – EDN: XBNTZX.
7. Калимуллин Р. Ф., Назаров Ф. Л. Выбор моторного масла для двигателей семейства КАМАЗ Р6 как основа для увеличения периодичности технического обслуживания автомобиля // *Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник*. – 2023. – № 5. – С. 37–44. – <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2023-05-6>. – EDN: NCQGWB.
8. Колесниченко Д. С., Корчагин Р. К., Соболев Д. А. Снижение стоимости владения техникой за счет применения высококачественных смазочных материалов // *Горная промышленность*. – 2016. – № 4 (128). – С. 38–40. – EDN: WKPBWT.

9. 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 (68). – С. 446–454. – EDN: EYVONU.
10. Оценка влияния эксплуатационных факторов на процесс старения моторного масла / Д. С. Голубев [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. – 2017. – № 3 (35). – С. 91–97. – EDN: ZHMYIN.
11. Развитие конструкции и технологии производства нового поколения дизельных двигателей КАМАЗ Р6 / И. Ф. Гумеров [и др.] // Двигателестроение. – 2020. – № 1 (279). – С. 30–39. – EDN: JEVYVI.
12. Салмин В. В. Способ оценки эксплуатационных свойств моторных масел // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003. – № 7. – С. 44–45. – EDN: VULZUR.
13. Храмов Н. В., Королев А. Е. Старение моторного масла // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2014. – № 4. – С. 134–138. – EDN: QMTUQS.
14. Экспериментальное подтверждение проектного срока замены моторного масла двигателя КАМАЗ Р6 / Ф. Л. Назаров [и др.] // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – № 6. – С. 99–112. – <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-6-99>. – EDN: NGEVHS.
15. Chhabra A., Singh K. (2022) Engine oil dialysis of heavy-duty engine oil 5W50, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 56, Part 1, pp. 72–76. – <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.156>. (In Eng.).
16. Kardos S., Pietrikova A. (2016) Evaluation of motor oil characteristics and degradation factors for possibilities of continuous diagnostics, *Acta Electrotechnica et Informatica*, Vol. 16, No. 2, pp. 20–24. – <https://doi.org/10.15546/aeei-2016-0010> (In Eng.).

References

1. Bunakov, B. M., Pervushin, A. N., Smirnov, K. Yu. (2008) [Motor car oils. Status and ways to improve their quality]. *Avtomobil'naya promyshlennost'* [Automotive industry]. Vol. 10, pp. 28–30. (In Russ.).
2. Shirlin, I. I. et al. (2013) [Influence of operating conditions of vehicles on the service life of motor oil]. *Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii* [Bulletin of the Siberian State Automobile and Road Academy]. Vol. 4 (32), pp. 42–45. (In Russ.).
3. Khannanov, M. D. et al. (2022) [Internal combustion engine in the future: current development challenges]. *Zhurnal Trudy NAMI* [Proceedings of NAMI]. Vol. 1, pp. 82–90. <https://doi.org/10.51187/0135-3152-2022-1-82-90>. (In Russ.).
4. Kulakov, A. T. et al. (2022) [Dynamics of engine oil properties in operation as a basis for substantiating the frequency of its replacement for new generation KAMAZ engines]. *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye*. [Transport: science, technology, management.]. Vol. 6, pp. 31–37. <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2022-06-5>. (In Russ.).
5. Dubovyk, E. A. (2012) [Estimated determination of the service life of remanufactured motor oils] *Avtomobil'naya promyshlennost'* [Automotive industry]. Vol. 11, pp. 28–29. (In Russ.).
6. Klishin, P. V. et al. (2016) [Changes in the requirements for motor fuels and oils associated with the improvement of internal combustion engines]. *Avtomobil'naya promyshlennost'* [Automotive industry]. Vol. 9, pp. 29–33. (In Russ.).
7. Kalimullin, R. F., Nazarov, F. L. (2023) [The choice of engine oil for engines of the KAMAZ R6 family as a basis for increasing the frequency of vehicle maintenance]. *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye. Nauchnyy informatsionnyy sbornik*. [Transport: science, technology, management. Scientific information collection]. Vol. 5, pp. 37–44. <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2023-05-6>. (In Russ.).
8. Kolesnichenko, D. S., Korchagin, R. K., Sobol, D. A. (2016) [Reducing the cost of ownership of equipment through the use of high-quality lubricants]. *Gornaya promyshlennost'* [Mining industry]. Vol. 4 (128), pp. 38–40. (In Russ.).
9. Machekhin, N. Yu., Shirlin, I. I., Pashukevich, S. V. (2019) [Features of equipment operation when using high-quality motor oils with extended drain intervals]. *Vestnik SibADI* [Bulletin of SibADI]. Vol. 16, No. 4 (68), pp. 446–454. (In Russ.).
10. Golubev, D. S. et al. (2017) [Evaluation of the influence of operational factors on the aging process of motor oil]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva* [Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University. P. A. Kostychev]. Vol. 3 (35), pp. 91–97. (In Russ.).
11. Gumerov, I. F. et al. (2020) [Development of the design and production technology of a new generation of KAMAZ R6 diesel engines]. *Dvigatelistroyeniye*. [Engine building]. Vol. 1 (279), pp. 30–39. (In Russ.).
12. Salmin, V. V. (2003) [Method for evaluating the performance properties of motor oils]. *Traktory*

i sel'skokhozyaystvennyye mashiny [Tractors and agricultural machines]. Vol. 7, pp. 44–45. (In Russ.).

13. Khramtsov, N. V., Korolev, A. E. (2014) [Aging of engine oil]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki* [Proceedings of the Tula State University. Technical science]. Issue 4, pp. 134–138. (In Russ.).

14. Nazarov, F. L. et al. (2022) [Experimental confirmation of the design period for replacing the engine oil of the KAMAZ R6 engine]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 6, pp. 99–112. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-6-99>. (In Russ.).

15. Chhabra, A., Singh, K. (2022) Engine oil dialysis of heavy-duty engine oil 5W50. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 56, Part 1, pp. 72–76. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.156> (In Eng.).

16. Kardos, S., Pietrikova, A. (2016) Evaluation of motor oil characteristics and degradation factors for possibilities of continuous diagnostics. *Acta Electrotechnica et Informatica*. Vol. 16. No. 2, pp. 20–24. <https://doi.org/10.15546/aei-2016-0010> (In Eng.).

Информация об авторе:

Федор Леонидович Назаров, генеральный директор, ФГУП «НАМИ», Москва; соискатель научной степени кандидата технических наук по научной специальности 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия
e-mail: nazarovf@yandex.ru

Статья поступила в редакцию: 21.06.2023; принята в печать: 11.09.2023.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Information about the author:

Fedor Leonidovich Nazarov, General Director, FSUE "NAMI", Moscow; applicant for the scientific degree of candidate of technical sciences in the scientific specialty 2.9.5. Operation of motor transport, Orenburg State University, Orenburg, Russia
e-mail: nazarovf@yandex.ru

The paper was submitted: 21.06.2023.

Accepted for publication: 11.09.2023.

The author has read and approved the final manuscript.