

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ПРОЕКТНОГО СРОКА ЗАМЕНЫ МОТОРНОГО МАСЛА ДВИГАТЕЛЯ КАМАЗ Р6

Ф. Л. Назаров¹, М. Ф. Тетерин², М. Д. Ханнанов³, А. М. Мугинова⁴

Публичное акционерное общество «КАМАЗ», Набережные Челны, Россия

¹ e-mail: nfl@kamaz.ru

² e-mail: maksim.teterin@kamaz.ru

³ e-mail: Marat.Hannanov@kamaz.ru

⁴ e-mail: KhaliullinaAM@kamaz.ru

Р. Ф. Калимуллин⁵

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

⁵ e-mail: rkalimullin@mail.ru

А. Т. Кулаков⁶

Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) федерального университета, Набережные Челны, Россия

⁶ e-mail: altrak09@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена решению актуальной научно-исследовательской задачи подтверждения проектного увеличенного срока замены моторного масла для перспективного автомобильного дизельного двигателя семейства КАМАЗ Р6. Основной целью научного исследования является повышение потребительских свойств и эффективности эксплуатации автомобилей с высокотехнологичными двигателями за счет увеличения периодичности их технического обслуживания. Решением задачи в рамках настоящей статьи является оценка работоспособности конкретной марки современного энергосберегающего моторного масла от длительной наработки и определение срока его замены в двигателях семейства КАМАЗ Р6.

Методический аппарат решения данной задачи базировался на разработанном алгоритме допуска моторных масел к применению в двигателях КАМАЗ. На основе полученных результатов комплекса из лабораторных, стендовых и эксплуатационных испытаний положительно оценена работоспособность моторного масла Lukoil Avantgarde Professional ACEA E4/E7 SAE 5W-30 в двигателях семейства КАМАЗ Р6, подтвержден заявленный срок его смены в 150 тыс. км.

Научная новизна полученных результатов заключается в том, что установлены новые конкретные зависимости показателей качества современного высокотехнологичного моторного масла Lukoil Avantgarde Professional ACEA E4/E7 SAE 5W-30 от длительной наработки при стендовых и эксплуатационных испытаниях дизельного двигателя семейства КАМАЗ Р6.

Теоретическая ценность для развития отрасли науки «Эксплуатация автомобильного транспорта» заключается в том, что выявленные закономерности вносят вклад в изучение эффективности и качества эксплуатационных материалов, закономерностей изменения характеристик, показателей работоспособности, определение нормативов расходования и рациональных сроков службы эксплуатационных материалов. Положительным эффектом этого является совершенствование процессов организации технического обслуживания автомобилей, что способствует обеспечению их эксплуатационной надежности и повышению эффективности эксплуатации.

Направлением дальнейших научных изысканий является решение следующей комплексной задачи – исследовать закономерности расходования моторного масла и изменения технического состояния дизельного двигателя семейства КАМАЗ Р6 от наработки для обоснования оптимальной периодичности технического обслуживания автомобиля.

Ключевые слова: дизельные двигатели, моторное масло, испытания, срок смены, показатели качества.

Для цитирования: Назаров Ф. Л. [и др.] Экспериментальное подтверждение проектного срока замены моторного масла двигателя КАМАЗ Р6 // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – № 6. – С. 99–112, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-6-99>.

EXPERIMENTAL CONFIRMATION OF THE PROJECT PERIOD TO REPLACE THE ENGINE OIL OF THE KAMAZ R6 ENGINE

F. L. Nazarov¹, M. F. Teterin², M. D. Khannanov³, A. M. Muginova⁴

Public Joint Stock Company KAMAZ, Naberezhnye Chelny, Russia

¹ e-mail: nfl@kamaz.ru

² e-mail: maksim.teterin@kamaz.ru

³ e-mail: Marat.Hannanov@kamaz.ru

⁴ e-mail: KhaliullinaAM@kamaz.ru

R. F. Kalimullin⁵

Orenburg State University, Orenburg, Russia

⁵ e-mail: rkalimullin@mail.ru

A. T. Kulakov⁶

Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga Region) Federal University, Naberezhnye Chelny, Russia

⁶ e-mail: altrak09@mail.ru

Abstract. The article is devoted to solving the actual scientific research task of confirming the design extended period for replacing engine oil for the advanced automobile diesel engine of the KAMAZ R6 family. The main goal of scientific research is to improve of consumer properties and efficiency of vehicle operation by increasing the frequency of their maintenance. The solution of the problem within the framework of this article is to assess the performance of a particular brand of modern high-tech engine oil from long-term operation and determine the period for its replacement in engines of the KAMAZ R6 family.

The methodological apparatus for solving this problem was based on the developed algorithm for allowing motor oils to be used in KAMAZ engines. Based on the results of a complex of laboratory, bench and operational tests, the performance of the Lukoil Avantgarde Professional ACEA E4 / E7 SAE 5W-30 engine oil in the KAMAZ R6 family engines was positively assessed, and the declared replacement period of 150 thousand km was confirmed.

The scientific novelty of the results obtained lies in the fact that new specific dependences of the quality indicators of modern high-tech engine oil Lukoil Avantgarde Professional ACEA E4 / E7 SAE 5W-30 on long-term operation during bench and operational tests of the KAMAZ R6 family diesel engine have been established.

The theoretical value for the development of the branch of science "Operation of road transport" lies in the fact that the identified patterns contribute to the study of the efficiency and quality of operating materials, the patterns of changes in characteristics, performance indicators, the determination of consumption standards and rational service life of operating materials. The positive effect of this is the improvement of the processes of organizing the maintenance of vehicles, which helps to ensure their operational reliability and increase the efficiency of operation.

The direction of further scientific research is the solution of the following complex problem - to investigate the patterns of consumption of engine oil and changes in the technical condition of the diesel engine of the KAMAZ R6 family from operating time to justify the optimal frequency of vehicle maintenance.

Key words: diesel engines, motor oil, tests, shift period, quality indicators.

Cite as: Nazarov, F. L. [et al.] (2022) [Experimental confirmation of the project period to replace 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>.

Введение

Современная концепция снижения стоимости владения автомобилями и повышения эффективности их эксплуатации (особенно грузового коммерческого транспорта) обуславливает специфические требования к организации технического обслуживания (ТО), когда его периодичность равна сроку замены масла, а она, в свою очередь, максимально

приближена к среднегодовому пробегу.

В работе¹ отмечено, что «... При стратегии назначения технического обслуживания по «наработке» в условиях Российской Федерации и эксплуатации автомобиля на качественном топливе будет наблюдаться значительное (до 1,5 раз) недоиспользование ресурса масла. Среднегодовой пробег магистрального тягача в России составляет 146,4 тыс. км, что

¹ Лаушкин А. В. Разработка методики оценки остаточного ресурса моторного масла с применением электрофизических показателей: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2022. – 160 с.

соответствует прохождению ТО 1,83 раза в год (*при межсервисном интервале 80 тыс. км – примечание авторов*). Увеличенный межсервисный интервал (*до 120 тыс. км – примечание авторов*) может сократить количество обслуживаний до 1,22 раз в год. При средней цене обслуживания 25 тыс. руб. для владельца четырех автомобилей экономия составит 61 тыс. руб.».

В фирмах, занимающихся междугородними перевозками, значительное количество подвижного состава имеет среднегодовой пробег от 100 до 240 тыс. км. Так, в работе [4] приводятся сведения о среднегодовых пробегах по дорогам с твёрдым покрытием седельных тягачей VOLVO FH–12 с полуприцепами при междугородних автоперевозках в 2008 г. ООО «Трактороторг–Авто–1» (г. Челябинск). Диапазон пробегов составил от 103972 км до 160403 км при среднем значении 134205 км. По данным авторов статьи, в ООО «ИМПОРТА ТРАНССЕРВИС» (г. Оренбург) за 2020–2021 годы среднегодовой пробег нефтевозов SCANIA составил 228791 км.

В ПАО «КАМАЗ» с 2019 года серийно выпускается новое поколение двигателей семейства КАМАЗ Р6 рабочим объемом 12 литров, рядной конструкции с широким диапазоном мощностей (от 400 л.с. до 700 л.с.), с высокими потребительскими свойствами для выполнения международных требований по безопасности, надежности, топливной экономичности и экологии.

При разработке двигателей семейства КАМАЗ Р6, учитывая потребительские свойства автомобилей КАМАЗ нового семейства К5 (например, на магистральных тягачах КАМАЗ-54901 увеличенная до 120 тыс. км. (или 1 раз в год) периодичность технического обслуживания (ТО)) и характеристики двигателей конкурентов аналогичного типоразмера и применения, был заявлен увеличенный срок замены моторного масла 150 тыс. км. (для магистральных тягачей и дорог I категории условий эксплуатации). Потенциал увеличения периодичности ТО нуждается не только в научном обосновании, но и должен подтверждаться оценкой технического состояния агрегатов и узлов, показателей качества масла в межсервисном интервале в ходе длительных стендовых и эксплуатационных испытаний. Таким образом, существует актуальная проблема обоснования и подтверждения увеличенных значений срока замены масла и периодичности ТО [12].

Ключевым фактором увеличения периодичности ТО является уменьшение скорости изменения показателей качества моторного масла до допустимого уровня при достижении проектных сроков его замены, что и определяет пути уменьшения эксплуатационных затрат [12].

Срок службы масла – время абсолютного срабатывания главных эксплуатационных свойств (или од-

ного из них) конкретного масла в данном двигателе.

Срок замены масла – время или пробег срабатывания в определённой мере главных эксплуатационных свойств масла, гарантирующие безотказную работу двигателя до замены масла.

У экспертов по маслам существует утверждение, что 50% износа двигателя приходится на последние 20% срока службы масла. Соответственно, главной задачей обеспечения надежности двигателя является установление момента, когда масло отработало 80% своего ресурса, и своевременная его замена с одновременной заменой масляного фильтра [16]. В связи с этим, способы оценки состояния работающего масла и определения его допустимого состояния представляют большой интерес.

Вопросами разработки новых масел, оценки их качества в эксплуатации автомобильных двигателей, обоснованного определения сроков его замены занимаются фирмы – производители смазочных материалов совместно с автопроизводителями, крупными автотранспортными предприятиями, научными и академическими организациями [1, 11].

В работе [7] авторы приходят к выводу, что «... учитывая такие тенденции развития современных двигателей, как увеличение литровой мощности за счёт повышения степени наддува, повышение температурных режимов системы смазки и охлаждения, применение альтернативных топлив, внедрение сложных систем нейтрализации отработавших газов, необходимо ужесточать далее и эксплуатационные требования к топливу и маслам... При этом внедрение новых марок топлив и масел требует современных подходов к разработке методов квалификационных испытаний горюче–смазочных материалов, одним из направлений которых являются полноразмерные моторные испытания на реальных двигателях в жёстких стендовых условиях...».

В работе [15] выявлено «...почти 50 физико–химических параметров, характеризующих качество моторного масла и процессы их изменения во время работы в двигателях». Из них автором в результате ранжирования выделены десять наиболее значимых: загрязненность механическими примесями, вязкость, диэлектрическая проницаемость, щелочное число, моюще–диспергирующе–стабилизирующие свойства, содержание воды, кислотное число, плотность, оптическая плотность, температура вспышки.

Во многих работах старение масла исследуется по таким физико–химическим показателям, как вязкость кинематическая, щелочное число, кислотное число, массовая доля воды, массовая доля механических примесей.

Так, например, исследованиям сроков замены моторных масел при эксплуатации в условиях горной местности посвящена работа [9], особенностей эксплуатации техники при использовании высококачественных моторных масел с увеличенными ин-

тервалами замены – [10], влияния условий эксплуатации автомобилей на ресурс моторного масла – [3, 14], сроков замены моторных масел при эксплуатации техники в условиях холодного климата [8], оптимизации сроков замены для тяжелонагруженной техники [2, 17, 19], автобусов [6].

Для определения физико-химических показателей свежего и работавшего масла применяются стандартные методы по ГОСТ, ISO, ASTM, а также экспресс-методы [19].

В настоящее время ПАО «КАМАЗ» совместно с партнерами проводит исследовательские работы с несколькими фирмами-производителями моторных масел с целью допуска их продукции к применению в двигателях КАМАЗ Р6.

Объектом настоящего исследования является процесс изменения качества моторного масла при эксплуатации автомобильного двигателя. Предмет исследования – закономерности изменения показателей качества моторного масла при эксплуатации дизельного двигателя семейства КАМАЗ Р6 [12].

Основной целью исследования является повышение потребительских свойств и эффективности эксплуатации автомобилей с высокотехнологичными двигателями за счет увеличения периодичности их ТО [12].

В рамках достижения цели ранее [5, 12] была решена задача по установлению группы факторов, влияющих на потенциал увеличения срока замены моторного масла с учётом современных и перспективных требований к автомобильным дизельным двигателям.

Следующая задача исследования заключается

в том, чтобы на основе результатов комплекса из лабораторных, стендовых и эксплуатационных испытаний оценить работоспособность конкретной марки современного высокотехнологичного моторного масла, определить срок его замены в двигателях семейства КАМАЗ Р6. В настоящей статье представлены методический аппарат и основные результаты решения поставленной задачи.

Основой методического аппарата является алгоритм допуска моторных масел для дизельных двигателей, разработанный соавторами статьи Мугиновой А. М. и Тетериным М. Ф. в Центральной лаборатории топлив и масел Научно-технического центра ПАО «КАМАЗ» (ЦЛТиМ НТЦ ПАО «КАМАЗ»).

Алгоритм допуска моторных масел для дизельных двигателей КАМАЗ

Алгоритм состоит из следующих основных пунктов (рисунок 1):

- 1) постановка задачи;
- 2) предварительная оценка моторного масла;
- 3) лабораторные испытания моторного масла;
- 4) стендовые испытания моторного масла;
- 5) эксплуатационные испытания моторного масла;
- 6) заключение о допуске;
- 7) доработка моторного масла производителем.

Рассмотрим каждый из перечисленных пунктов.

Постановка задачи содержит следующие варианты формулировок и соответствующие решения об объёме испытаний масла, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Постановка задачи при испытании моторного масла

Вариант формулировки	Объём испытаний масла
1. Испытания нового масла с целью получения допуска	лабораторные, стендовые, эксплуатационные
2. Испытания ранее допущенного масла, но изготовленного с применением нового базового масла либо другого пакета присадок	лабораторные, стендовые, эксплуатационные при необходимости
3. Испытания масла, ранее допущенного, производство которого перенесено на другой завод, но без изменений технологии производства	лабораторные
4. Испытания ранее допущенного масла с целью увеличения периодичности технического обслуживания автомобиля	стендовые и эксплуатационные испытания в увеличенном объёме

Источник: разработано авторами

Предварительная оценка моторного масла включает:

- 1) определение общей характеристики моторного масла:
 - сезонность по классу вязкости;
 - группа эксплуатации масла и его применяемость по типам двигателей;
 - зольность (малозольное, среднезольное, полнозольное);

- низкотемпературные свойства (температура застывания, динамическая вязкость, индекс вязкости);
- эксплуатационные свойства в части продолжительности смены (масла с обычным сроком смены или с увеличенным);
- тип масла по базовому – минеральное, синтетическое, полусинтетическое.

- 2) сравнение паспорта масла и требований ТУ или СТО на него;

3) сравнение масла с аналогичными маслами других производителей.

Целью **лабораторных испытаний моторного масла** является определение его соответствия паспортным данным и стандарту производителя масла (ТУ или СТО). Так же в ходе лабораторных испытаний могут определяться показатели, не заявленные изготовителем моторного масла, но входящие в методику производителя двигателей. Лабораторные испытания могут понадобиться в случае изменения места производства масла с сохранением рецептуры.

Структура алгоритма лабораторных испытаний моторных масел включает следующие пункты:

- 1) определение стандартных физико-химических показателей масла (согласно ТУ или СТО);
- 2) определение дополнительных показателей масла (по требованиям производителя двигателей);
- 3) решение о допуске масла к стендовым испытаниям (или допуске к применению в двигателе) или о доработке масла;
- 4) доработка моторного масла производителем.

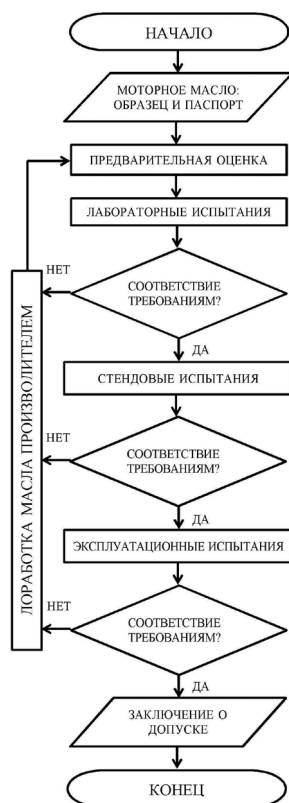


Рисунок 1. Схема алгоритма допуска моторных масел для дизельных двигателей
Источник: разработано авторами

Определение стандартных показателей масла позволяет определить соответствие масла требованиям ТУ или СТО и паспорту качества.

В ходе лабораторных испытаний определяются следующие *стандартные физико-химические показатели* свежего масла:

- кинематическая вязкость масла при температуре 100 и 40 °С по ГОСТ 33–2000, ASTM D 445;
- индекс вязкости по ГОСТ 25371–2018;
- щелочное число по ГОСТ 11362–76 (ISO 6619:1988);
- кислотное число по ГОСТ 11362–76 (ISO 6619:1988);
- сульфатная зола по ГОСТ 12417–94 (ISO 3987–80);

– температура вспышки масла по ГОСТ 4333–2014 (ISO 2592:2000);

– температура застывания масла по ГОСТ 20287–91, ASTM D 97;

– массовая доля механических примесей по ГОСТ 6370–2018;

– массовая доля воды по ГОСТ 2477–2014;

– плотность масла по ГОСТ 3900–85, ГОСТ Р 51069–97;

– склонность к пенообразованию по ASTM D 892;

– смазывающие свойства масла по ГОСТ 9490–75.

Определение дополнительных показателей требуется для того, чтобы учесть особенности изготов-

ления двигателя (а именно материал РТИ и прокладок, применяемых в соединениях деталей и систем), а также материал самих деталей.

Лабораторные испытания моторных масел проводятся на соответствующем аттестованном оборудовании.

Результат лабораторных испытаний получается в виде:

1) решение о допуске масла к стендовым испытаниям, эксплуатационным испытаниям или к применению в двигателе в зависимости от программы работ;

2) доработка моторного масла производителем.

Модуль алгоритма лабораторных испытаний «Определение стандартных физико-химических показателей масла» может применяться и в других алгоритмах испытаний масел.

Алгоритм стендовых испытаний моторных масел включает следующие этапы:

- 1) подготовка двигателя к испытаниям;
- 2) обкатка двигателя;
- 3) снятие необходимых характеристик двигателя;
- 4) отбор пробы масла с целью контроля попадания охлаждающей жидкости и дизельного топлива;
- 5) замена моторного масла и масляного фильтроэлемента;
- 6) испытания моторного масла на двигателе;
- 7) снятие характеристик двигателя по окончании испытаний;
- 8) оценка состояния двигателя после испытаний масла;
- 9) оценка изменения физико-химических показателей масла;
- 10) анализ результатов;
- 11) решение о допуске масла или о его доработке.

Особенностью стендовых испытаний моторных масел с целью допуска является их отличие от стандартных испытаний (на безотказность, и т. д.), а также их индивидуальность.

Рассмотрим только те этапы, которые особенны и индивидуальны с позиций испытания моторного масла.

Испытания моторного масла проводятся на режимах работы двигателя согласно утвержденным программам-методикам испытаний. Объем испытаний для двигателя КАМАЗ Р6 – 1500 мото-часов.

В ходе проведения испытаний объем масла при заправке двигателя и доливках фиксируется в журнале испытаний. Доливки производятся после отбора проб масла. Отбор проб масла производится через 20 минут после начала испытаний и далее для двигателя КАМАЗ Р6 через каждые 200 мото-часов работы в объеме 500 мл.

В пробах работавшего масла определяются следующие параметры:

- вязкость кинематическую при температуре 100 °С по ГОСТ33–2000, ASTM D 445;
- щелочное число по ГОСТ 11362–76 (ISO 6619:1988);
- кислотное число по ГОСТ 11362–76 (ISO 6619:1988);
- массовую долю нерастворимых в бензине примесей по ГОСТ 20684–75;
- массовую долю воды по ГОСТ 2477–2014;
- продукты износа методом спектрального анализа по ГОСТ 20759–90;
- сульфатную золу по ГОСТ 12417–94 (ISO 3987–80);
- температуру вспышки по ГОСТ 4333–87 (ISO 2592:2000).

Работавшее масло контролируется на ИК-Фурье спектрометре с определением накопления продуктов окисления (углерода, азота и серы), сажи и определением расхода присадки.

Оценка изменения физико-химических показателей масла в ходе испытаний проводится по следующим критериям:

- 1) максимально допустимое снижение величины щелочного числа должно быть не более 50%, либо величина щелочного числа должна быть не меньше значения кислотного числа по абсолютной величине;
 - 2) предельно допустимая величина загрязнения масла, характеризующаяся величиной нерастворимых в бензине примесей, должна быть не более 3,0% (масс);
 - 3) содержание воды в масле не должно превышать 0,5% по объему;
 - 4) по величине вязкости кинематической при 100 С – снижение более чем на 25% или рост вязкости больше, чем на 35%;
 - 5) не должен наблюдаться резкий рост содержания металлов износа;
 - 6) при применении метода ИК-Фурье спектроскопии предельные значения по величинам окисления, нитрования масла установлены в 0,2 А/0,1мм, по накоплению содержания сажи – 0,7 А/0,1мм.
 - 7) загрязненность деталей цилиндро-поршневой группы должна быть ниже или на уровне загрязненности аналогичных двигателей, прошедших ранее испытания с положительными результатами.
- Анализ результатов испытаний моторного масла* выполняется на основе:
- анализа изменения физико-химических показателей масла;
 - анализа результатов оценки нагаро- и лакообразования, подвижности поршневых колец;
 - анализа износа контролируемых деталей и узлов двигателя (цилиндро-поршневой группы, кривошипно-шатунного механизма, газораспределительного механизма);
 - анализа соответствия характеристик двигателя техническим условиям на него после испытаний.

По результатам анализа стендовых испытаний возможны следующие решения о допуске масла или о его доработке:

1) допустить моторное масло к эксплуатационным испытаниям (если это масло ранее не испытывалось и не было допущено) при положительных результатах стендовых испытаний;

2) допустить моторное масло к применению в двигателе (если это масло ранее проходило стендовые и эксплуатационные испытания, но было изготовлено с другим базовым маслом или другим пакетом присадок) при положительных результатах стендовых испытаний;

3) доработать моторное масло по результатам испытаний с указанием производителю масла на критические изменения его физико-химических показателей в ходе испытаний.

Алгоритм эксплуатационных испытаний моторных масел включает следующие этапы:

1) разработка программы-методики испытаний;

2) подготовка автомобилей к испытаниям масла;

3) проведение испытаний моторного масла на автомобилях;

4) оценка изменения физико-химических показателей масла;

5) анализ результатов;

6) решение о допуске масла или о его доработке.

Разработка программы-методики для эксплуатационных испытаний моторных масел выделяется отдельным пунктом в связи с их индивидуальностью в каждом случае.

На этом этапе проводятся следующие работы:

1) определение требований к автомобильному парку (количество единиц техники, наличие своей ремонтной базы с возможностью самостоятельно в полном объеме проводить сервисное обслуживание автомобилей, закупка предприятием комплектующих у производителей, исключительно допущенных ПАО «КАМАЗ», расположение автотранспортного предприятия без сильного удаления от транспортных узлов);

2) поиск подходящего автомобильного парка (при испытаниях масла на двигателях КАМАЗ Р6 автомобили могут быть новыми без пробега либо быть не старше 3-х лет, с годовым пробегом не менее 100000 км (для магистрального тягача), автомобили должны эксплуатироваться с нагрузкой);

3) определение категорий условий эксплуатации автомобилей;

4) оформление и согласование программы-методики со стороны предприятия-изготовителя и эксплуатирующей организации.

Подготовка автомобилей к испытаниям масла содержит следующие этапы:

1) перед проведением испытаний выполняется техническое обслуживание автомобилей (при необходимости); оценивается техническим специалистом предприятия-изготовителя состояние двигателя на наличие подтеков масла с составлением акта осмотров в присутствии представителей эксплуатирующей организации; наносятся маркировочные наклейки, информирующие об используемом моторном масле;

2) к каждому автомобилю прикладывается канистра объемом 10 л с испытуемым моторным маслом для доливки;

3) каждый автомобиль комплектуется бортовым журналом, в котором отмечается: Ф.И.О. водителя, пробег на начало испытаний, пробег на начало и окончание каждой смены, пробег на момент заправки автомобиля и объем заправляемого топлива, пробег на момент отбора проб, пробег на момент окончания испытаний; проводится инструктаж с каждым водителем по методике ведения бортового журнала.

При проведении испытаний моторного масла на автомобилях учитываются следующие моменты:

1) срок эксплуатационных испытаний моторного масла – не менее периодичности технического обслуживания для данной модели двигателя и автомобиля;

2) при достижении рекомендуемого срока смены масла согласно сервисной книжке, определяется фактическое состояние масла (запас эксплуатационных свойств) и принимается решение о продлении или прекращении испытаний;

3) в ходе проведения испытаний объем масла при заправке и доливках фиксируется в бортовом журнале. Доливки производятся только после отбора проб масла;

4) визуальный осмотр (без разборки) двигателя для оценки состояния цилиндро-поршневой группы, уровня высоко- и низкотемпературных отложений (по возможности) осуществляется с помощью бороскопа (технический эндоскоп). Данные визуального осмотра внутренних полостей фиксируются и прилагаются к отчету.

5) пробы отбираются в чистую, сухую тару в объеме 150 мл для лаборатории предприятия-изготовителя и в объеме 50 мл для независимого испытательного центра (при необходимости). Каждая тара с пробой масла сопровождается следующей информацией: гос. № автомобиля; пробег автомобиля; наработка масла; дата отбора пробы.

6) интервал отбора проб составляет для двигателей КАМАЗ Р6 – 1-я проба через (40000 ± 500) км; 2-я проба через (80000 ± 500) км; 3-я проба через (120000 ± 500) км; интервал отбора проб в конкретном случае может быть скорректирован по взаимной договоренности между НТЦ ПАО «КАМАЗ» и производителем масла.

Оценка изменения физико-химических показателей масла проводится по критериям, аналогичным для стендовых испытаний.

Анализ результатов испытаний моторного масла выполняется на основе:

- анализа изменения физико-химических показателей масла;
- анализа состояния деталей цилиндро-поршневой группы.

По результатам анализа эксплуатационных испытаний возможны следующие решения о допуске масла или о его доработке:

1) допустить моторное масло к применению в двигателе при положительных результатах испытаний;

2) доработать моторное масло по результатам испытаний с указанием производителю масла на критические изменения его физико-химических показателей в ходе испытаний, либо другие.

Алгоритмы стендовых и эксплуатационных испытаний учитывают основные ситуации при допуске моторных масел, являются универсальными в зависимости от поставленных задач (модели двигателя, применяемости масла и т. д.).

Результаты испытания нового моторного масла в двигателях КАМАЗ Р6

Описанный алгоритм допуска моторных масел был использован при испытаниях новых масел для двигателей КАМАЗ Р6.

Были сформулированы конкретные базовые требования к моторному маслу для двигателей КАМАЗ Р6:

- группа эксплуатации 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;

Исходя из требований, в качестве объекта испытаний было выбрано новое моторное масло Lukoil Avantgarde Professional ACEA E4/E7 SAE 5W-30 производства ООО «ЛЛК-Интернешнл».

Постановка задачи. В данном случае мы имеем вариант формулировки задачи «Испытания нового масла с целью получения допуска». Конкретной задачей будет являться «Оценить работоспособность моторного масла Lukoil Avantgarde Professional ACEA E4/E7 SAE 5W-30 производства ООО «ЛЛК-Интернешнл» на рядных 6-цилиндровых дизельных двигателях КАМАЗ при длительной наработке. Определить срок замены моторного масла».

Предварительная оценка моторного масла. Анализ паспорта качества показал, что моторное масло соответствует требованиям нормативной документации, и по основным показателям соответствует аналогичным маслам других производителей.

Лабораторные испытания свежего масла про-

водились в ЦЛТиМ НТЦ ПАО «КАМАЗ». Подтверждено соответствие показателей свежего масла требованиям нормативной документации и оно допущено к стендовым испытаниям.

Стендовые испытания проведены в НТЦ ПАО «КАМАЗ». При лабораторном анализе масла щелочное число определялось по методу ASTM D 4739, кислотное число – ASTM D664. Общая наработка моторного масла составила 1326 и 1946 часов на двух двигателях КАМАЗ 910.10-550 и разных режимах работы. При испытаниях применялось топливо дизельное ЕВРО по ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009), вид III (с содержанием серы не более 10 ppm).

На рисунках 2 и 3 показано изменение некоторых основных показателей моторного масла от наработки в ходе стендовых испытаний.

Оценка изменения физико-химических показателей масла в ходе стендовых испытаний показала следующее:

- снижение вязкости не более 5,65%;
- снижение величины щелочного числа не более 12,8% (до 14,32 мг КОН/г);
- кислотное число увеличилось до 9,24 мг КОН/г и не превышает величины щелочного числа;
- вода в пробах масла отсутствует;
- резкого роста металлов износа не отмечено;
- разбавление масла дизельным топливом не отмечено.

По результатам комплексного анализа стендовых испытаний принято решение о допуске масла к эксплуатационным испытаниям.

Проведены эксплуатационные испытания масла в двигателях КАМАЗ 910.12-450 автомобилей КАМАЗ-54901 в количестве 21 шт., эксплуатируемые в ООО «ИТЕКА» и ООО «ТЕМПО» (г. Набережные Челны). Период испытаний – с мая 2019 г. по февраль 2021 г. Пробеги автомобилей среднесуточные составили 432 км, среднегодовые – 138208 км. Перед началом испытания автомобили были без пробега. Эксплуатация автомобилей соответствовала I категории условий. Использовалось дизельное топливо по ГОСТ 32511-20013 экологического класса К5 с содержанием серы не более 10 ppm. В ходе испытаний проводилось ТО при пробегах около 120000 км и 150000 км с продолжающимся отбором масла для анализа. Анализ работавшего масла в ходе эксплуатационных испытаний проводился в ЦЛТиМ НТЦ ПАО «КАМАЗ». На рисунках 4 и 5 показано изменение некоторых показателей моторного масла от наработки в ходе эксплуатационных испытаний [13].

Оценка изменения физико-химических показателей масла в ходе эксплуатационных испытаний показала следующее:

- снижение вязкости не более 22,3%, увеличение не более 1%;

- снижение величины щелочного числа не более 37,6% (до 8,56 мг КОН/г);
- кислотное число увеличилось до 4,02 мг КОН/г и не превышает величины щелочного числа;
- содержание нерастворимых примесей составило не более 0,15%;
- содержание воды составило не более 0,03% по массе;
- резкого роста металлов износа не отмечено;
- разбавление масла дизельным топливом не отмечено.

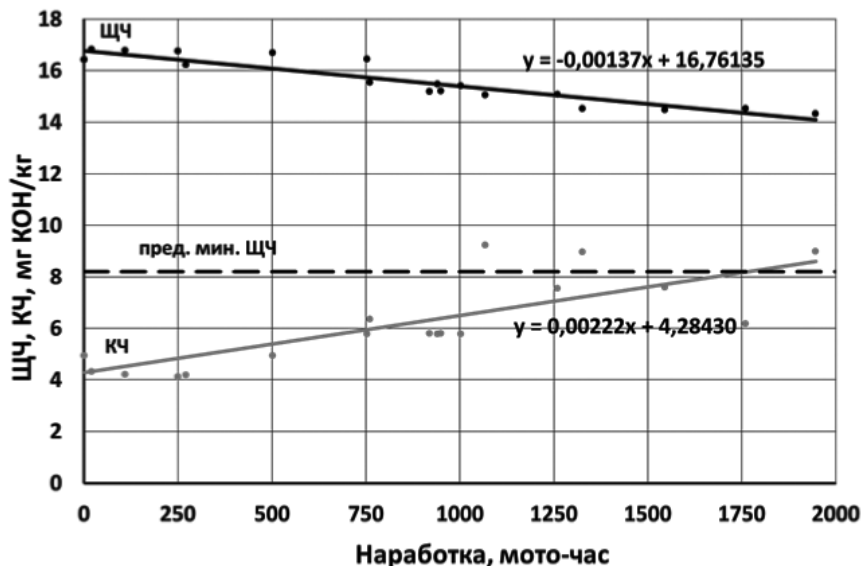


Рисунок 2. Изменения щелочного (ЩЧ) и кислотного чисел (КЧ) моторного масла Lukoil Avantgarde Professional ACEA E4/E7 SAE 5W-30 от наработки в ходе стендовых испытаний двигателя КАМАЗ 910.10-550
Источник: разработано авторами

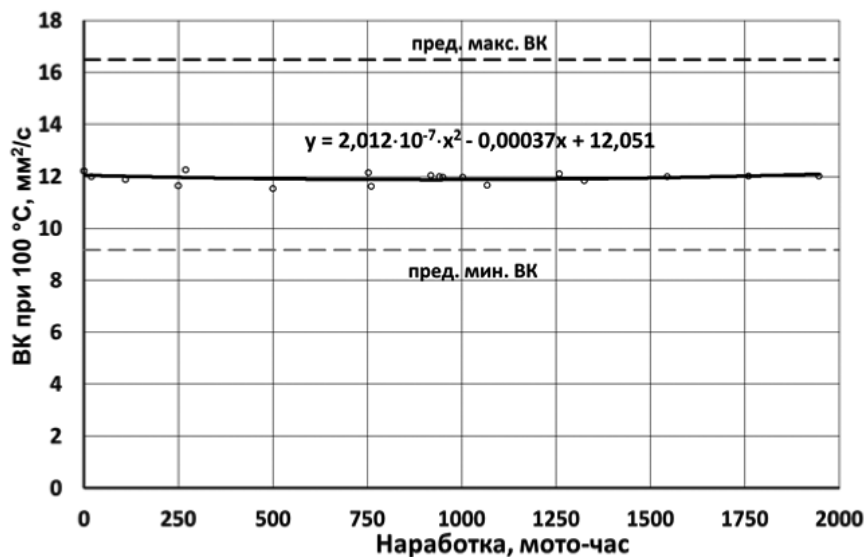


Рисунок 3. Изменение вязкости кинематической (ВК) при 100 °С моторного масла Lukoil Avantgarde Professional ACEA E4/E7 SAE 5W-30 от наработки в ходе стендовых испытаний двигателя КАМАЗ 910.10-550
Источник: разработано авторами

- Проведен также анализ по принятым до 12,6 мм²/с;
- ПАО «КАМАЗ» допускаемым значениям контролируемых показателей:
- вязкость кинематическая при 100 °С, от 9,3
 - щелочное число, не ниже 6,0 мг КОН/г;
 - кислотное число, не более 6,0 мг КОН/г;
 - содержание воды, не более 0,05%;

– содержание механических примесей, не более 2,0%.

Установлено, что только у одного двигателя, начиная с наработки 55 тыс. км, вязкость опустилась ниже допустимого минимального значения.

Сделан вывод, что моторное масло Lukoil Avantgarde Professional ACEA E4/E7 SAE 5W-30 при пробеге до 150 тыс. км автомобилями КАМАЗ-54901

работоспособно, имеет достаточный запас эксплуатационных свойств, и поэтому *допущено к применению* в двигателе КАМАЗ Р6 в составе автомобиля при условии эксплуатации автомобиля по I категории и применении дизельного топлива по ГОСТ 32511-20013 экологического класса К5 с содержанием серы не более 10 ppm.

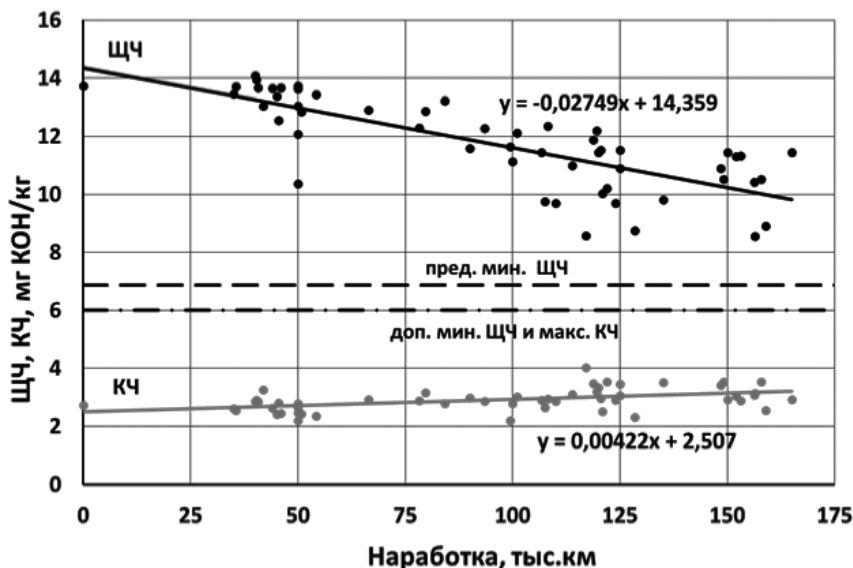


Рисунок 4. Изменение щелочного (ЩЧ) и кислотного чисел (КЧ) моторного масла Lukoil Avantgarde Professional ACEA E4/E7 SAE 5W-30 от наработки в ходе эксплуатационных испытаний

Источник: разработано авторами

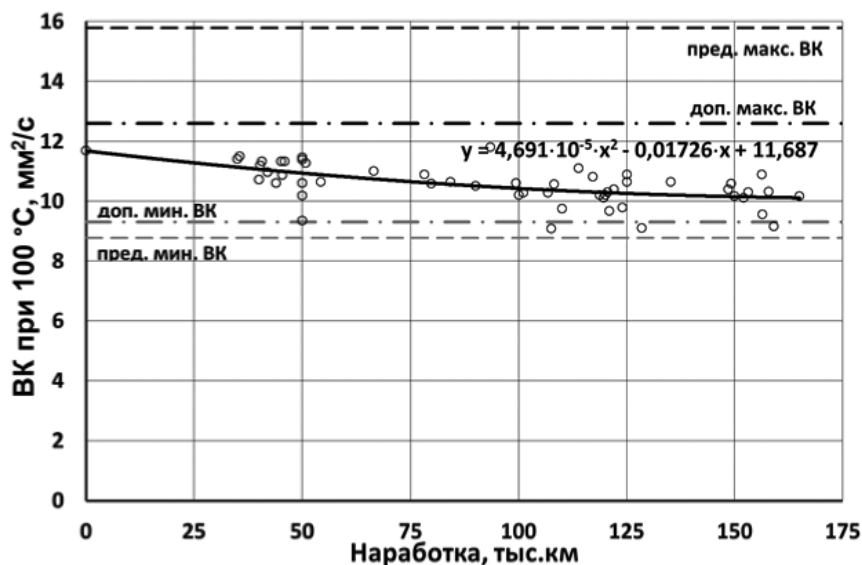


Рисунок 5. Изменение вязкости кинематической (ВК) при 100 °C моторного масла Lukoil Avantgarde Professional ACEA E4/E7 SAE 5W-30 от наработки в ходе эксплуатационных испытаний

Источник: разработано авторами

Основные результаты

С использованием разработанного алгоритма

допуска моторных масел к применению в дизельных двигателях на основе полученных результатов

комплекса из лабораторных, стендовых и эксплуатационных испытаний положительно оценена работоспособность современного высокотехнологичного моторного масла Lukoil Avantgarde Professional ACEA E4/E7 SAE 5W-30 в двигателях семейства КАМАЗ Р6, подтвержден заявленный срок его замены в 150 тыс. км, и причем имеется потенциал его увеличения до 180–200 тыс. км. С учетом этого, периодичность ТО автомобиля КАМАЗ-54901 до 120 тыс. км обоснована, и также имеется потенциал увеличения до 150 тыс. км.

Заключение

Научная новизна полученных результатов заключается в том, что установлены новые зависимости показателей качества современного высокотехнологичного энергосберегающего моторного масла (на примере Lukoil Avantgarde Professional ACEA E4/E7 SAE 5W-30) от длительной наработки при стендовых и эксплуатационных испытаниях дизельного двигателя семейства КАМАЗ Р6.

Теоретическая ценность для развития отрасли науки «Эксплуатация автомобильного транспорта» заключается в том, что выявленные закономерности вносят вклад в изучение эффективности и качества эксплуатационных материалов, закономерностей

изменения характеристик, показателей работоспособности, определения нормативов расходования и рациональных сроков службы эксплуатационных материалов. Положительным эффектом этого является совершенствование процессов организации ТО автомобилей, что способствует для них обеспечение эксплуатационной надежности и повышение эффективности эксплуатации и потребительских свойств.

В настоящее время специалистами ПАО «КАМАЗ» продолжаются комплексные испытания другого отечественного масла Gazpromneft Diesel Ultra SAE 5W-30 API CI-4 производства ООО «Газпромнефть-СМ» для принятия решения о его допуске к применению на двигателях КАМАЗ Р6 как аналога масла Lukoil Avantgarde Professional ACEA E4/E7 SAE 5W-30, но более доступного для потребителя. Результаты испытаний будут представлены авторами в следующих публикациях.

Направлением дальнейших научных изысканий авторского коллектива является также решение следующей комплексной задачи – исследовать закономерности расходования моторного масла и изменения технического состояния двигателя КАМАЗ Р6 от наработки для обоснования оптимальной периодичности ТО автомобиля.

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. Бурцев С. В., Духнов П. А. Мониторинг и оптимизация применения смазочных материалов в соответствии с условиями работы карьерной техники // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2017. – № 2. – С. 76–88. EDN: YTDKAX
3. Влияние условий эксплуатации автомобилей на ресурс работы моторного масла / И. И. Ширлин [и др.] // Вестник СибАДИ. – 2013. – № 4(32). – С. 42–45. EDN: QZGGAB
4. Горяев Н. К., Горяева И. А. Влияние возраста подвижного состава на среднесуточные пробеги при междугородных автоперевозках // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. – 2014. – Т. 8. – №. 1. – С. 153–155. EDN: SAGIVV
5. 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. – 2022. – № 6. – С. 31–37, <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2022-06-5>. EDN: NEVXSU
6. Изменение характеристик моторного масла при эксплуатации двигателей CUMMINS автобусного парка г. Омска / С. В. Корнеев [и др.] // Вестник СибАДИ. – 2017. – № 2 (54). – С. 66–70. EDN: YRGNTF
7. 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
8. Корректирование сроков замены моторных масел при эксплуатации техники в условиях холодного климата на ОАО «СУРГУТНЕФТЕГАЗ» / С. В. Корнеев [и др.] // Вестник СибАДИ, – 2009. – № 1 (11). – С. 17–21. EDN: PBOIKL
9. Магдиев Ш. П., Базаров Б. И. О сроках замены моторных масел АТС в горных условиях // Автомобильная промышленность. – 2011. – № 11. – С. 23–24. EDN: TSGBIH
10. Мачехин Н. Ю., Ширлин И. И., Пашукевич С. В. Особенности эксплуатации техники при использовании высококачественных моторных масел с увеличенными интервалами замены // Вестник СибАДИ. – 2019. – № 4 (68). – С. 446–454. EDN: EYVONY
11. Моторные масла для автотракторных двигателей. Свойства. Классификация. Ассортиментные группы / А. С. Сафонов [и др.]. – СПб.: НПИКЦ, 2004. – 199 с.
12. Назаров Ф. Л., Ханнанов М. Д., Калимуллин Р. Ф. Обоснование потенциала увеличения интервала

замены моторного масла двигателя КАМАЗ Р-6 // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – № 3. – С. 71–80, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-3-71/>. EDN: RQILCQ

13. Некоторые результаты эксплуатационных испытаний моторных масел для двигателей КАМАЗ-910.10-550 / Ф. Л. Назаров [и др.] // Прогрессивные технологии в транспортных системах: материалы XVI Международ. науч.-практ. конф., 11–13 нояб. 2021 г., Оренбург. – Оренбург, 2021. – С. 351–356. EDN: LSMQNZ.

14. 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.

15. Салмин В. В. Способ оценки эксплуатационных свойств моторных масел // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003. – № 7. – С. 44–45. EDN: VULZUR.

16. Храмов Н. В., Королев А. Е. Старение моторного масла // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2014. – Вып. 4. – С. 134–138. EDN: QMTUQS.

17. Chhabra A., Singh K. (2021) Engine oil dialysis of heavy-duty engine oil 5W50. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 5, Part 1, pp. 72–76. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.156>. (In Eng.).

18. Rosenbaum J. M. et al. (2010). Effect of base oil viscosity on wear in heavy duty engines. *17th International Colloquium Tribology 2010 – Solving Friction and Wear Problems*. Vol. 2, pp. 837–852. (In Eng.).

19. Wolak A., Zajac G. (2017) Changes in the operating characteristics of engine oils: A comparison of the results obtained with the use of two automatic devices. *Measurement*. Vol. 113C, pp. 53–61, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.08.037>. (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. EDN: JWCJLL (In Russ.).

2. Burcev, S. V., Duxnov, P. A. (2017) [Monitoring and optimizing the use of lubricants in accordance with the operating conditions of mining equipment]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle* [News of the Tula State University. Earth sciences]. Vol. 2, pp. 76–88. EDN: YTDKAX (In Russ.).

3. Shirlin, I. I. et al. (2013) [Influence of operating conditions of vehicles on the service life of motor oil]. *Vestnik SibADI* [Bulletin of SibADI]. Vol. 4 (32), pp. 42–45. EDN: QZGGAB (In Russ.).

4. Goryaev, N. K., Goryaeva, I. A. (2014) [Influence of rolling stock age on average daily mileage in long-distance trucking]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika i menedzhment* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Economics and Management]. Vol. 8 (11), pp. 153–155. EDN: SAGIVV (In Russ.).

5. 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>. EDN: NEVXSU (In Russ.).

6. Korneev, S. V. et al. (2017) [Changing the characteristics of engine oil during the operation of CUMMINS engines of the Omsk bus depot]. *Vestnik SibADI* [Bulletin of SibADI]. Vol. 2 (54), pp. 66–70. EDN: YRGNTF (In Russ.).

7. 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. EDN: XBNTZX (In Russ.).

8. Korneev, S. V. et al. (2009) [Correction of the timing of the replacement of motor oils when operating equipment in a cold climate at OAO «SURGUTNEFTEGAZ»]. *Vestnik SibADI* [Bulletin of SibADI]. Vol. 1 (11), pp. 17–21. EDN: PBOIKL (In Russ.).

9. Magdiev, Sh. P., Bazarov, B. I. (2011) [On the timing of the replacement of motor oils ATS in the mountains]. *Avtomobil'naya promyshlennost'* [Automotive industry]. Vol. 11, pp. 23–24. EDN: TSGBIH (In Russ.).

10. 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. EDN: EYVOHY (In Russ.).

11. Safonov, A. S. et al. (2004) *Motornyye masla dlya avtotraktornykh dvigateley. Svoystva. Klassifikatsiya. Assortimentye grupy* [Motor oils for automotive engines. Properties. Classification. assortment groups]. St. Petersburg: NPIKTS, 199 p.

12. Nazarov, F. L., Khannanov, M. D., Kalimullin, R. F. (2022) [Substantiation of the potential for increasing the engine oil change interval for the KAMAZ R-6 engine]. *Intellekt. Innovacii. Investicii*. [Intellect. Innovation.

Investments.]. Vol. 3, pp. 71–80, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-3-71/>. EDN: RQILCQ (In Russ.).

13. Nazarov, F. L. et al. (2021) [Some results of operational tests of motor oils for KAMAZ–910.10–550 engines]. *Progressivnyye tekhnologii v transportnykh sistemakh: materialy XVI Mezhdunar. nauch.–prakt. konf., 11–13 noyab. 2021 g., Orenburg*. [Progressive technologies in transport systems: materials of the XVI Intern. scientific-pract. conf., 11–13 Nov. 2021, Orenburg. – Orenburg]. Orenburg, pp. 351–356. EDN: LSMQNZ (In Russ.).

14. 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. EDN: ZHMYIN (In Russ.).

15. 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. EDN: VULZUR (In Russ.).

16. 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]. Vol. 4, pp. 134–138. EDN: QMTUQS (In Russ.).

17. Chhabra, A., Singh, K. (2021) Engine oil dialysis of heavy-duty engine oil 5W50. *Materials Today: Proceedings*. Vol.5, Part 1, pp. 72–76. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.156> (In Eng.).

18. Rosenbaum, J. M. et al. (2010) Effect of base oil viscosity on wear in heavy duty engines. *17th International Colloquium Tribology 2010 – Solving Friction and Wear Problems*. Vol. 2, pp. 837–852. (In Eng.).

19. Wolak, A., Zając, G. (2017) Changes in the operating characteristics of engine oils: A comparison of the results obtained with the use of two automatic devices. *Measurement*. Vol. 113C, pp. 53–61, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.08.037>. (In Eng.).

Информация об авторах:

Федор Леонидович Назаров, главный технолог – директор Технологического центра, ПАО «КАМАЗ», Набережные Челны, Россия
e-mail: nfl@kamaz.ru

Максим Федорович Тетерин, главный специалист по химмотологии Научно–технического центра, ПАО «КАМАЗ», Набережные Челны, Россия
e-mail: maksim.teterin@kamaz.ru

Марат Дамирович Ханнанов, начальник конструкторского отдела двигателей Научно–технического центра, ПАО «КАМАЗ», Набережные Челны, Россия
e-mail: Marat.Hannanov@kamaz.ru

Айгуль Марселевна Мугинова, инженер–исследователь II категории Центральной лаборатории топлив и масел Научно–технического центра, ПАО «КАМАЗ», Набережные Челны, Россия
e-mail: KhaliullinaAM@kamaz.ru

Руслан Флюрович Калимуллин, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автомобильного транспорта, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия
ORCID ID: 0000–0003–4016–2381, **Researcher ID:** E–9031–2015, **Scopus Author ID:** 6602711766
e-mail: rkalimullin@mail.ru

Александр Тихонович Кулаков, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации автомобильного транспорта, Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, Набережные Челны, Россия
ORCID ID: 0000–0002–6443–0136, **Researcher ID:** ADD–9570–2019, **Scopus Author ID:** 56454050300
e-mail: alttrak09@mail.ru

Вклад соавторов:

Конфликт интересов отсутствует.

Назаров Ф. Л. – формирование первичной структуры исследования, постановка цели и задач исследования, обзор литературных источников, формулировка заключения, оформление рукописи.

Тетерин М. Ф. – экспериментальные исследования, интерпретация результатов исследования.

Ханнанов М. Д. – экспериментальные исследования, интерпретация результатов исследования.

Мугинова А. М. – экспериментальные исследования.

Калимуллин Р. Ф. – структурирование материалов и обобщение результатов, оформление рукописи.

Кулаков А. Т. – систематизация и анализ полученных результатов.

Статья поступила в редакцию: 16.09.2022; принята в печать: 10.10.2022.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Fedor Leonidovich Nazarov, Chief Technologist, Director of the Technological Center, KAMAZ PJSC, Naberezhnye Chelny, Russia
e-mail: nazarovf@yandex.ru

Maxim Fedorovich Teterin, Chief specialist in chemmotology of the Scientific and Technical Center, KAMAZ PJSC, Naberezhnye Chelny, Russia
e-mail: maksim.teterin@kamaz.ru

Marat Damirovich Khannanov, Head of the Engine Design Department of the Scientific and Technical Center, KAMAZ PJSC, Naberezhnye Chelny, Russia
e-mail: Marat.Hannanov@kamaz.ru

Aigul Marselevna Muginova, research engineer of the II category of the Central Laboratory of Fuels and Oils of the Scientific and Technical Center, KAMAZ PJSC, Naberezhnye Chelny, Russia
e-mail: KhaliullinaAM@kamaz.ru

Ruslan Flyurovich Kalimullin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of automobile transport, Orenburg state University, Orenburg, Russia
ORCID ID: 0000-0003-4016-2381, **Researcher ID:** E-9031-2015, **Scopus Author ID:** 6602711766
e-mail: rkalimullin@mail.ru

Alexander Tikhonovich Kulakov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Motor Transport Operation, Naberezhnye Chelny Institute (branch) of Kazan (Volga Region) Federal University, Naberezhnye Chelny, Russia
ORCID ID: 0000-0002-6443-0136, **Researcher ID:** ADD-9570-2019, **Scopus Author ID:** 56454050300
e-mail: altrak09@mail.ru

Contribution of the authors:

There is no conflict of interest

Nazarov F. L. – formation of the primary structure of the study, setting the goal and objectives of the study, review of literary sources, wording of the conclusion, design of the manuscript.

Teterin M. F. – experimental studies, interpretation of the results of the study.

Khannanov M. D. – experimental studies, interpretation of the results of the study.

Muginova A. M. – experimental studies.

Kalimullin R. F. – structuring of materials and generalization of results, design of the manuscript.

Kulakov A. T. – systematization and analysis of the obtained results.

The paper was submitted: 16.09.2022.

Accepted for publication: 10.10.2022.

The authors have read and approved the final manuscript