

ОБОСНОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА УВЕЛИЧЕНИЯ ИНТЕРВАЛА ЗАМЕНЫ МОТОРНОГО МАСЛА ДВИГАТЕЛЯ КАМАЗ Р-6

Ф. Л. Назаров¹, М. Д. Ханнанов²

Публичное акционерное общество «КАМАЗ», Набережные Челны, Россия

¹ e-mail: nazarovf@yandex.ru

² e-mail: Marat.Hannanov@kamaz.ru

Р. Ф. Калимуллин³

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

³ e-mail: rkalimullin@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена решению актуальной научно-практической задачи обоснования на этапе проектирования потенциала увеличения периодичности технического обслуживания автомобильного дизельного двигателя, отличающегося усовершенствованной конструкцией, улучшенными показателями надежности, экономичности, экологичности и качества применяемых эксплуатационных материалов. Генеральной целью научного исследования является снижение эксплуатационных затрат и повышение эффективности использования автомобилей с высокотехнологичными двигателями за счет увеличения периодичности их технического обслуживания. Решением задачи в рамках настоящей статьи является установление факторов, влияющих на потенциал увеличения интервала замены моторного масла с учетом современных и перспективных требований к автомобильным дизельным двигателям.

Методический аппарат решения данной задачи состоял в аналитическом исследовании многолетнего опыта конструирования, производства, испытаний и эксплуатации двигателей семейства КАМАЗ V8, а также двигателей ведущих мировых производителей. Установлено, что для современных высокотехнологичных автомобильных дизельных двигателей потенциалом увеличения интервала замены моторного масла является сочетание комплекса факторов, а именно: применение масел только высоких групп эксплуатации; увеличенный объем масляного поддона; высокоэффективная фильтрация воздуха, топлива и масла; использование дизельного топлива с минимальным содержанием серы; снижение теплонпряжённости смазываемых деталей.

Основные результаты состоят в том, что сформулированы конкретные базовые требования к моторному маслу, дизельному топливу, конструкции и технологиям изготовления деталей, узлов, систем дизельного двигателя для увеличения периодичности технического обслуживания и интервала замены масла двигателей нового семейства КАМАЗ Р-6.

Научная новизна заключается в том, что выявлен комплекс факторов, сочетание которых влияет на уменьшение скорости ухудшения показателей качества моторного масла, учёт которого позволяет увеличивать интервалы его замены при эксплуатации дизельного двигателя.

Теоретическая ценность для развития отрасли науки «Эксплуатация автомобильного транспорта» заключается в том, что выявленные факторы и взаимосвязи вносят вклад в изучение и совершенствование процессов организации технического обслуживания автомобилей, что способствует повышению их эксплуатационной надежности и эффективности эксплуатации.

Направлением дальнейших исследований является решение следующей комплексной задачи – проведение стендовых и эксплуатационных испытаний двигателя нового семейства КАМАЗ Р-6 для подтверждения обоснованности потенциала увеличения периодичности технического обслуживания.

Ключевые слова: дизельные двигатели, эксплуатация, качество масла, техническое обслуживание, замена масла.

Для цитирования: 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>.

SUBSTANTIATION OF THE POTENTIAL FOR INCREASING THE ENGINE OIL CHANGE INTERVAL OF THE KAMAZ R-6 ENGINE

F. L. Nazarov¹, M. D. Khannanov²

Public Joint Stock Company «KAMAZ», Naberezhnye Chelny, Russia

¹ e-mail: nazarovf@yandex.ru

² e-mail: Marat.Hannanov@kamaz.ru

R. F. Kalimullin³

Orenburg State University, Orenburg, Russia

³ e-mail: rkalimullin@mail.ru

Abstract. *The article is devoted to solving the actual scientific and practical problem of substantiating at the design stage the potential for increasing the frequency of maintenance of an automobile diesel engine, which is distinguished by an improved design, improved indicators of reliability, efficiency, environmental friendliness and quality of the operating materials used. The general goal of scientific research is to reduce operating costs and increase the efficiency of using cars with high-tech engines by increasing the frequency of their maintenance. The solution of the problem within the framework of this article is to establish the factors that affect the potential for increasing the engine oil change interval, taking into account modern and future requirements for automotive diesel engines.*

The methodological apparatus for solving this problem consisted in an analytical study of many years of experience in designing, manufacturing, testing and operating engines of the KAMAZ V8 family, as well as engines from leading world manufacturers. It has been established that for modern high-tech automotive diesel engines, the potential for increasing the engine oil change interval is a combination of a set of factors, namely: the use of diesel fuel with a minimum sulfur content; reduction of heat stress of lubricated parts.

The main results are that specific basic requirements have been formulated for engine oil, diesel fuel, design and manufacturing technologies for parts, assemblies, diesel engine systems to increase the frequency of maintenance and oil change intervals for engines of the new KAMAZ R6 family.

The scientific novelty lies in the fact that a complex of factors has been identified, the combination of which affects the reduction in the rate of deterioration of the quality indicators of engine oil, taking into account which allows increasing the intervals for its replacement during the operation of a diesel engine.

The theoretical value for the development of the branch of science "Operation of road transport" lies in the fact that the identified factors and relationships contribute to the study and improvement of the processes of organizing car maintenance, which helps to increase their operational reliability and operational efficiency.

The direction of further research is the solution of the following complex task – bench and operational tests of the engine of the new KAMAZ R6 family to confirm the validity of the potential for increasing the frequency of maintenance.

Key words: *diesel engines, operation, oil quality, maintenance, oil change.*

Cite as: Nazarov, F. L., Khannanov, M. D., Kalimullin, R. F. (2022) [Substantiation of the potential for increasing the engine oil change interval of the KAMAZ R-6 engine]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 3, pp. 71–80, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-3-71>.

Введение

Рост конкурентоспособности среди мировых автопроизводителей постоянно ставит перед ними важную задачу по снижению стоимости владения автомобилем, одним из решений которой является увеличение периодичности его технического обслуживания (ТО). В настоящее время периодичность ТО нормируется интервалом замены моторного масла, поэтому он является одним из основных потребительских свойств современного автомобиля.

ПАО «КАМАЗ» выпускает высокотехнологичные дизельные и газовые двигатели, удовлетворяющие современным требованиям экологии, экономичности, удельно-массовых показателей и надежности.

Двигатели семейства КАМАЗ V-8 прошли все этапы развития от двигателей без наддува до двигателей экологического класса 5 с системой топливоподачи Common Rail и системой каталитической нейтрализации SCR [kamaz.ru]. Однако наступил предел развития двигателей КАМАЗ V-8, поскольку стало невозможно получить более высокие показатели эффективности, экономичности, энерговооруженности, мощности и надежности, которые требуются для автомобилей КАМАЗ нового поколения К5.

При разработке автомобилей нового поколения К5 ПАО «КАМАЗ» изначально поставил целевые показатели, которые обеспечат высокий уровень конкурентоспособности с лучшими аналогами за-

рубежной техники. Так, на магистральных тягачах КАМАЗ-54901 проектная периодичность ТО возросла до 120 тыс. км., ресурс – до 1200 тыс. км. (для I категории условий эксплуатации). У автомобилей предыдущего поколения К4 аналогичные показатели составляют 50 тыс. км. и 1000 тыс. км.

Для перехода в сегмент магистральных автомобилей, а также для повышения энерговооруженности автомобилей КАМАЗ, необходим совершенно новый двигатель, соответствующий современным представлениям и требованиям, и имеющий большой запас по уровню форсирования.

Перед разработчиками на этапе проектирования встает вопрос об обоснованности потенциала увеличения периодичности ТО для нового двигателя КАМАЗ. Ответ на этот вопрос нуждается в научном обосновании проектной периодичности ТО на основе выявления конструктивно-технологических и эксплуатационных факторов, влияющих, прежде всего, на скорость старения и расхода масла, 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 требующая решения актуальная проблема обоснования и подтверждения увеличенной периодичности ТО, учитывающей совершенствование конструкции и технологий, повышение надежности, улучшение экономичности, экологичности и качества эксплуатационных материалов двигателя. Ключевым фактором увеличения периодичности ТО является снижение скорости срабатывания до допустимого уровня показателей качества моторного масла для достижения проектных сроков его замены, что и определяет пути уменьшения эксплуатационных затрат.

Объектом 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.

Генеральной целью исследования является снижение эксплуатационных затрат и повышение эффективности использования автомобилей с высоко-технологичными двигателями за счет увеличения периодичности их ТО.

Для достижения цели была сформулирована первая задача исследования, заключающаяся в том, чтобы на основе анализа опыта конструирования, производства, испытаний и эксплуатации двигателей семейства КАМАЗ V8, а также двигателей ведущих мировых производителей, установить комплекс взаимосвязанных факторов, влияющий на скорость старения моторного масла, и обосновать потенциал увеличения периодичности ТО двигате-

ля семейства КАМАЗ Р6. В настоящей статье представлены методический аппарат и основные результаты решения поставленной задачи.

Аналитическое исследование

Увеличение периодичности ТО достигается за счёт повышения долговечности деталей и сохранения конструкционных и эксплуатационных материалов, учёта дополнительных требований к свойствам моторного масла (минимизация расхода на угар, уровень и стабильность вязкостных, противоизносных, противоокислительных, антикоррозионных свойств и др.) [9].

Моторное масло может длительное время выполнять свои функции, обеспечивая заданный ресурс двигателя, только при точном соответствии его свойств тем термическим, механическим и химическим воздействиям, которым оно подвергается в системе смазки и на поверхностях смазываемых и охлаждаемых деталей [3, 8, 12]. Поэтому, требования к моторным маслам постоянно изменяются по мере развития двигателей, повышения их удельно-эффективных и экологических показателей и увеличения периодичности ТО [1, 4, 7, 13, 16, 17].

Далее рассмотрены этапы развития двигателей КАМАЗ с 1976 года по настоящее время [2, 10]. Основными критериями разделения на этапы является факт появления в производстве двигателя более высокого экологического класса, либо имеющего лучшие удельно-эффективные показатели и показатели топливной экономичности по отношению к имеющемуся в производстве.

Этап 1 (1976-1983 гг.). Производится двигатель КАМАЗ-740 (модели 740.10 и 740.10-20), который являлся базовым для последующих моделей: без наддува; степень сжатия 17; число цилиндров – 8; расположение цилиндров – V-образное; диаметр цилиндра и ход поршня – по 120 мм; рабочий объём 10,85 л.; номинальная мощность 155 кВт и 162 кВт (210 л.с. и 220 л.с.) при 2600 мин⁻¹; максимальный крутящий момент 680 Н·м при частоте вращения 1700 мин⁻¹; минимальный удельный расход топлива – 155 г/(л.с.·ч.); объём масла – от 26 л. до 28 л. в зависимости от комплектации; моторные масла групп СС, СD (по API) и Д2 (по ГОСТ 17479-72); интервал замены масла 8000 км (здесь и далее для I категории условий эксплуатации); расход масла на угар на режиме номинальной мощности (далее расход масла на угар) – не более 0,6 % от расхода топлива; ресурс – до 400 тыс. км пробега в составе магистральных автомобилей.

Этап 2 (1983-1996 гг.). Производится двигатель модели 7403.10 экологического класса ЕВРО-0: с газотурбинным наддувом; номинальная мощность 191 кВт (260 л.с.) при 2600 мин⁻¹; максимальный крутящий момент 758 Н·м при частоте вращения 1600-1800 мин⁻¹; минимальный удельный

расход топлива – 155 г/(л.с.·ч.); объём масла – от 28 л. до 32 л. в зависимости от комплектации; моторные масла группы CF-4 (по API) и ДЗ (по ГОСТ 17479-72); интервал замены масла 12000 км; расход масла на угар – не более 0,5% от расхода топлива; ресурс – до 400 тыс. км.

Этап 3 (1996-1998 гг.). Производятся модели двигателей с газотурбинным наддувом экологического класса ЕВРО-1: 740.11-240, 740.13-260. Номинальная мощность от 240 л.с. до 260 л.с. при частоте 2200 мин⁻¹; минимальный удельный расход топлива – от 152 г/(л.с.·ч.) до 155 г/(л.с.·ч.); расход масла на угар – не более 0,3% от расхода топлива; ресурс – до 800 тыс. км. Конструкция этих двигателей характеризовалась появлением масляного охлаждения поршней и водомасляного теплообменника, обеспечивающего охлаждение моторного масла охлаждающей жидкостью, а также масляного насоса увеличенной с 87 до 150 л/мин производительности. Объём заправляемого масла не изменился и остался в диапазоне от 28 л. до 32 л. в зависимости от комплектации. Для этих двигателей применялись моторные масла группы CF-4 по API, причем интервал замены был увеличен до 16000 км, и здесь уже учитывалось условие применения дизельного топлива по ГОСТ 305-82 с содержанием серы до 2000 ppm (или 0,2%).

Этап 4 (1998-2004 гг.). Этот этап характеризуется разработкой двигателей следующего экологического класса ЕВРО-2: 740.31-240, 740.30-260, 740.50-360 и др. Для обеспечения соответствия двигателей новым экологическим требованиям и для увеличения удельно-массовых и эффективных показателей был применен охладитель наддувочного воздуха (ОНВ), новые топливная аппаратура и турбокомпрессоры. Кроме этого, они имели увеличенные до 130 мм ход поршня и до 11,76 л рабочий объём. Номинальная частота вращения коленчатого вала – 2200 мин⁻¹. Минимальный удельный расход топлива – 152 г/(л.с.·ч.); расход масла на угар – не более 0,2% от расхода топлива; ресурс работы – до 800 тыс. км. Для этих двигателей применялись моторные масла группы CF-4 и CG-4 по API. Интервал замены при этом составил 16000 км при условии применения дизельного топлива ГОСТ 305-82 с содержанием серы до 500 ppm (или до 0,05%). При применении моторных масел группы SE-4 по API интервал замены уменьшался до 11000 км.

Накопившийся к этому времени опыт конструирования, производства, испытаний и эксплуатации двигателей семейства КАМАЗ V8 и других производителей позволил сделать важные выводы [11]:

1) применение масел более высоких эксплуатационных групп при прочих равных условиях приводит к увеличению интервала замены масла;

2) увеличение уровня форсирования двигателя с одновременным уменьшением расхода масла на

угар приводит к более интенсивному срабатыванию моюще-диспергирующих присадок, и такой характер изменения показателей масла ведет к уменьшению интервала замены масла;

3) моторные масла более высоких групп эксплуатации предъявляют к дизельному топливу высокие требования по содержанию серы;

4) увеличение объёма заправки системы смазки моторным маслом позволяет увеличить интервал замены масла; для двигателей мощностью от 360 л.с. до 450 л.с. объём должен быть не менее 40 литров.

Учёт таких факторов позволил увеличить интервал замены моторного масла для двигателей ЕВРО-2 (моделей 740.30-260 и 740.50-360) с 16000 до 30000 км. при условии применения моторных масел группы эксплуатации CI-4, CH-4 и CG-4 по API и дизельного топлива ГОСТ 305-82 с содержанием серы до 500 ppm (или до 0,05 %). Однако необходимо отметить, что объём масла в масляном картере при этом не увеличивался.

Этап 5 (2004-2008 гг.). Выпускаются двигатели экологического класса ЕВРО-3: 740.60-360, 740.61-320, 740.62-280, 740.63-400 и др. Номинальная частота снижена до 1900 мин⁻¹, степень сжатия увеличена до 17,5; минимальный удельный расход топлива – 152 г/(л.с.·ч.); расход масла на угар – не более 0,1% от расхода топлива; ресурс работы – до 800 тыс. км. Для этих двигателей применялись моторные масла групп CI-4 и CH-4 по API. Срок смены составил 30000 км при условии применения дизельного топлива по ГОСТ Р 52368-2005 с содержанием серы до 350 ppm (или до 0,035%). Для двигателя КАМАЗ-740.63-400 срок смены масла составил 16500 км в связи с большей удельной мощностью. Объём масла в масляном картере сохранился прежним.

Этап 6 (2008-2012 гг.). Производятся двигатели экологического класса ЕВРО-4: 740.70-280, 740.71-320, 740.72-360, 740.73-400, 740.74-420, 740.75-440 и др. Эти двигатели отличались наличием топливной системы типа Common Rail, новой цилиндропоршневой группой со степенью сжатия 17,9, что позволило улучшить топливно-экономические и экологические показатели. Ресурс работы увеличился до 1000 тыс. км; минимальный удельный расход топлива уменьшился до 143 г/(л.с.·ч.); расход масла на угар – не более 0,06% от расхода топлива. Для этих двигателей применялись моторные масла групп CI-4 и CH-4 по API. Интервал замены составил 30000 км и 50000 км при условии применения дизельного топлива по ГОСТ Р 52368-2005 с содержанием серы до 50 ppm (до 0,005%) и до 10 ppm (до 0,001%) соответственно. Объём масла в масляном картере был увеличен, и составил от 33 л до 36 л.

Этап 7 (2012 г. по настоящее время). Выпускаются двигатели экологического класса ЕВРО-5: 740.705-300, 740.715-320, 740.725-360,

740.735–400, 740.745–420, 740.755–440 и др. – с индивидуальными алюминиевыми головками, газотурбинным наддувом, ОНВ, электронным управлением и системами топливоподачи типа Common Rail, обработки отработавших газов и бортовой диагностики. При условии применения дизельного топлива с содержанием серы до 10 ppm и моторных масел групп эксплуатации CI-4 и CJ-4 по API для двигателей мощностью 400 л.с. и более интервал замены вначале составил 20000 км, для двигателей мощностью менее 400 л.с. – 30000 км. Впоследствии интервал был увеличен до 50000 км при условии применения дизельного топлива с содержанием серы до 10 ppm. Ресурс – до 1000 тыс. км; минимальный удельный расход топлива – 140 г/(л.с.·ч.); расход масла на угар – не более 0,06% от расхода топлива;

объём масла сохранился – от 33 л до 36 л.

Представленные в таблице 1 сведения свидетельствуют о том, что за 45 лет своего развития у двигателей семейства КАМАЗ V8 улучшились экологические показатели до экологического класса ЕВРО-5, номинальная мощность увеличилась в 2 раза, минимальный удельный расход топлива снизился на 10%, литровая мощность выросла в 1,9 раза, ресурс вырос в 5 раз, расход масла на угар снизился в 13 раз, группы эксплуатации моторных масел выросли с СС до CJ-4 по API, интервал замены моторного масла увеличился в 6 раз, объём масла в масляном картере увеличился в среднем в 1,3 раза, удельный объём масла уменьшился в 1,9 раза, допустимое содержание серы в дизельном топливе уменьшилось в 200 раз.

Таблица 1. Этапы развития двигателей КАМАЗ

Этапы/годы	1 1976–1983	2 1983–1996	3 1996–1998	4 1998–2004	5 2004–2008	6 2008–2012	7 2012–по н.в.
Модели	740.10, 740.10–20	7403.10	740.11–240, 740.13–260	740.31–240, 740.30–260, 740.50–360 и др.	740.60–360, 740.61–320, 740.62–280, 740.63–400 и др.	740.70–280, 740.71–320, 740.72–360, 740.73–400, 740.74–420, 740.75–440 и др.	740.705–300, 740.715–320, 740.725–360, 740.735–400, 740.755–440 и др.
Экологический класс	–	ЕВРО–0	ЕВРО–1	ЕВРО–2	ЕВРО–3	ЕВРО–4	ЕВРО–5
Номинальная мощность, л.с.	210–220	260	240–260	240–360	280–400	280–440	300–440
Номинальная частота, мин ⁻¹	2600	2600	2200	2200	1900	1900	1900
Минимальный удельный расход топлива, г/(л.с.·ч.)	155	155	152–155	152	152	143	140
Литровая мощность, л.с./л	19,35– 20,28	23,96	22,12–23,96	20,41–30,61	23,81–34,01	23,81–37,41	25,51–37,41
Ресурс, тыс. км (в составе магистральных автомобилей)	до 200–400	до 400	до 800	до 800	до 800	до 1000	до 1000
Расход масла на угар, не более % от расхода топлива	0,8–0,6	0,5	0,3	0,2	0,1	0,06	0,06
Группы эксплуатации моторных масел	СС, CD по API	CF–4 по API	CF–4 по API	CF–4, CG–4, CH–4, CI–4 по API	CH–4, CI–4 по API	CH–4, CI–4 по API	CI–4, CJ–4 по API, не ниже E7 по ACEA
Интервал замены масла (для I категории условий эксплуатации), км	до 8000	до 12000	до 16000	до 16000–30000	до 30000	до 30000–50000	до 50000
Объём заправляемого масла, л.	26–28	28–32	28–32	28–32	28–32	33–36	33–36
Удельный объём масла, л/л.с.	0,118–0,133	0,108–0,123	0,108–0,133	0,078–0,133	0,070–0,114	0,075–0,129	0,075–0,110
Содержание серы в дизельном топливе, %	до 0,2	до 0,2	до 0,2	до 0,05	до 0,035	до 0,005–0,001	до 0,001

Источник: разработано авторами

Для нового поколения автомобилей К5 ПАО «КАМАЗ» совместно с немецкой фирмой LIEBHERR создает семейство перспективных дизельных и газовых двигателей КАМАЗ Р6 рабочим объемом 12 литров, рядной конструкции с широким диапазоном мощностей (от 300 л.с. до 700 л.с.), с высокими потребительскими свойствами для выполнения экологических требований стандартов

ЕВРО-5 и ЕВРО-6, а также международных требований по безопасности, надежности, топливной экономичности и экологии.

Новое семейство двигателей КАМАЗ Р6 по своим характеристикам и потребительским свойствам конкурирует с лучшими зарубежными двигателями данного класса (таблица 2).

Таблица 2. Сравнение коммерческих дизельных двигателей Р6 лучших мировых производителей

Параметры двигателя	Страна	Швеция		Германия		Италия	Китай		Россия
	Фирма	Volvo/ Renault	Scania	MAN	Daimler	Iveco	Cummins	Weichai	КАМАЗ
	Модель	D13	DC13	MAN D2676	OM 471	Cursor 13	ISG12	WP12.460E50	910/10-550
Диаметр цилиндра и ход поршня	мм	131×158	130×160	126×166	132×155	135×150	132×144	126×155	130×150
Рабочий объем двигателя	л	12,8	12,7	12,42	12,8	12,88	11,8	11,596	11,95
Номинальная мощность	кВт	397	334	397	390	397	373	340	405
Максимальный крутящий момент $M_{кр. max}$	Н·м	2600	2350	2500	2600	2300	2300	2100	2540
Частота вращения коленчатого вала при $M_{кр. max}$	мин ⁻¹	1000–1450	1000–1300	950–1400	1100	1000–1525	1100	1000–1400	1000–1400
Удельная литровая мощность	кВт/л	31	26,3	32	30,5	30,8	31,6	29,32	33,75
Удельная масса	кг/кВт	2,64	3,1	2,76	2,82	2,77	2,3	3,1	2,67
Минимальный удельный расход топлива	г/(кВт·ч) или г/(л.с.·ч)	189 или 137,3	186 или 135,1	188 или 136,6	185 или 134,4	185 или 134,4	186 или 135,1	190 или 138,0	183 или 132,6
Интервал замены моторного масла	тыс. км	100	90	50	60	150	60	30	150
Ресурс	тыс. км	1500	1500	1500	1500	1500	1000	800	1500
Масса	кг	1050	1050	1095	1100	1100	856	1050	1080
Экологический класс	–	ЕВРО-6	ЕВРО-6	ЕВРО-6	ЕВРО-6	ЕВРО-6	ЕВРО-5	ЕВРО-5	ЕВРО-5,6

Источник: разработано ПАО «КАМАЗ»

Так, двигатель модели КАМАЗ 910.10-550 по ряду важных параметров не уступает и выигрывает у двигателей ведущих мировых производителей с аналогичными техническими характеристиками, а, именно, имеет большую удельную литровую мощность (33,75 кВт/л), наименьший минимальный удельный расход топлива (182,5 г/(кВт·ч) или 132,6 г/(л.с.·ч)), максимальный ресурс двигателя (1500 тыс. км), максимальный интервал замены моторного масла (150 тыс. км).

При проектировании современного высоко-технологичного двигателя семейства КАМАЗ Р6,

учитывая потребительские свойства автомобилей К5 и характеристики двигателей конкурентов аналогичного типоразмера и применения, был заявлен интервал замены моторного масла не менее 150 тыс. км. Для достижения столь беспрецедентного для российского и мирового двигателестроения уровня был учтен опыт конструирования, производства, испытаний и эксплуатации двигателей семейства КАМАЗ V8 и других производителей.

Анализ генезиса двигателей КАМАЗ V8 и результатов многочисленных исследований факторов, влияющих на процесс изменения качества мотор-

ного масла [1, 4–7, 13–18], позволил сделать вывод о том, что для современных высокотехнологичных автомобильных двигателей потенциалом увеличения интервала замены моторного масла является сочетание комплекса факторов, а именно: применение масел только высоких групп эксплуатации; увеличение объёма масляного поддона; высокоэффективная фильтрация воздуха, топлива и масла; использование топлива с минимальным содержанием серы; снижение теплонапряжённости смазываемых деталей.

Основные результаты

Исходя из выявленного комплекса факторов, влияющего на уменьшение скорости ухудшения показателей качества моторного масла, были сформулированы конкретные базовые требования к моторному маслу, дизельному топливу, конструкции и технологиям изготовления деталей, узлов, систем дизельного двигателя для увеличения периодичности ТО и интервала замены масла двигателей нового семейства КАМАЗ Р6:

- а) требования к моторному маслу:
 - 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;
- б) требования к дизельному топливу – соответствовать требованиям ГОСТ 32511-2013 и иметь содержание серы не более 0,001%;
- в) требования к конструкции и технологиям изготовления деталей, узлов, систем двигателя:
 - система смазки с объёмом не менее 40 л. должна обеспечивать запас производительности масляного насоса и сохранение давления и расхода на заданном уровне на весь ресурс, а также минимизировать время подачи масла на основные сопряжения;
 - система охлаждения должна гибко регулировать температурный режим двигателя;
 - влияние теплопередачи от нагретых элементов

в масло на его температуру должно быть минимальным, например, за счёт теплоизоляции элементов турбокомпрессора и применении масляной рампы;

- потери масла через уплотнения и сапун системы вентиляции картера должны быть минимальными;
- интенсивность изнашивания цилиндро-поршневой группы и кривошипно-шатунного механизма за счёт высокопрочных покрытий должна быть низкая, позволяющая достичь стабильно малых угаров и снижения давления в системе смазки из-за больших зазоров;
- системы фильтрации воздуха, топлив и масел должны обеспечивать высокую степень очистки на весь период между ТО.

Выполнение указанного комплекса требований должно обеспечить для двигателя КАМАЗ-910.10-550 проектный увеличенный интервал замены масла 150 тыс. км.

Заключение

Научная новизна полученных результатов заключается в том, что выявлен комплекс факторов, влияющий на уменьшение скорости ухудшения показателей качества моторного масла, учёт которого позволяет увеличивать интервалы его замены при эксплуатации автомобильного дизельного двигателя.

Теоретическая ценность для развития отрасли науки «Эксплуатация автомобильного транспорта» заключается в том, что выявленные факторы и взаимосвязи вносят вклад в изучение и совершенствование процессов организации ТО автомобилей, что способствует повышению их эксплуатационной надёжности и эффективности эксплуатации.

Направлением дальнейших исследований является решение следующей комплексной задачи – проведение стендовых и эксплуатационных испытаний двигателя нового семейства КАМАЗ Р6 для экспериментального подтверждения обоснованности потенциала увеличения периодичности ТО.

Литература

1. 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.
2. Валеев Д. Х. Разработка, исследование и освоение производства модернизированных дизельных двигателей КАМАЗ для большегрузных автотранспортных средств: дис. ... канд. техн. наук. – Казань, 2003. – 213 с.
3. Венцель С. В. Смазка и долговечность двигателей внутреннего сгорания. – Киев: Техніка, 1977. – 207 с.
4. Влияние условий эксплуатации автомобилей на ресурс работы моторного масла / И. И. Ширлин [и др.] // Вестник СибАДИ. – 2013. – № 4(32). – С. 42–45.
5. Гринченко К. В., Корнеев С. В., Буравкин Р. В. Изменение свойств моторного масла при попадании топлива // Динамика систем, механизмов и машин. – 2016. – № 1. – С. 158–163.
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.

7. Мачехин Н. Ю., Ширлин И. И., Пашукевич С. В. Особенности эксплуатации техники при использовании высококачественных моторных масел с увеличенными интервалами замены // Вестник СибАДИ. – 2019. – Том 16. – № 4 (68). – С. 446–454.
8. Моторные масла для автотракторных двигателей. Свойства. Классификация. Ассортиментные группы / А. С. Сафонов [и др.]. – СПб.: НПИКЦ, 2004. – 199 с.
9. Наглюк И. С. Оценка качества моторных масел при эксплуатации легковых автомобилей // Автомобильный транспорт. – 2011. – Вып. 29. – С. 184–186.
10. Основные этапы развития конструкции двигателей КАМАЗ в соответствии с требованиями технического регламента / И. Ф. Гумеров [и др.] // Журнал автомобильных инженеров. – 2011. – № 5 (70). – С. 23–27.
11. Оценка возможности увеличения сроков смены моторного масла в двигателях КАМАЗ / И. Ф. Гумеров [и др.] // В сборнике трудов «Образование и наука – производству: международная научно-техническая конференция», г. Набережные Челны, 2010. Часть 1, книга 2. С. 54–58.
12. Порохов В. С. Трибологические методы испытания масел и присадок. – М.: Машиностроение, 1983. – 183 с.
13. Пресняков В. А., Каминский Н. С., Петренко С. С. Обоснование периодичности замены моторных масел при эксплуатации автомобиля // Успехи современной науки и образования. – 2016. – Т. 3. – № 6. – С. 115–117.
14. Тимохова О. М., Тимохов Р. С. Влияние сернистых соединений топлива на коррозионный износ деталей машин // Воронежский научно-технический вестник. – 2014. – Т.3. – № 3(9). – С. 122–126.
15. Храмов Н. В., Королев А. Е. Старение моторного масла // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2014. – Вып.4. – С. 134–138.
16. Chhabra A., Singh K. (2021) Engine oil dialysis of heavy-duty engine oil 5W50. *Materials Today: Proceedings*. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.12.156.
17. 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.
18. 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. DOI: 10.1016/j.measurement.2017.08.037.

References

1. 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* [Proceedings of the Tula State University. Earth sciences]. Vol. 2, pp. 76–88. (In Russ.).
2. Valeev, D. H. (2003) Razrabotka, issledovanie i osvoenie proizvodstva modernizirovannykh dizel'nykh dvigatelej KAMAZ dlya bol'shegruznykh avtotransportnykh sredstv. *Kand.Diss* [Development, research and development of production of upgraded KAMAZ diesel engines for heavy-duty vehicles. Cand.Diss.]. Kazan, 213 p. (In Russ.).
3. Wenzel, S. V. (1977) *Smazka i dolgovechnost' dvigatelej vnutrennego sgoraniya* [Lubrication and durability of internal combustion engines]. Kiev: Technika, 207 p.
4. Shirlin, I. I. et al. (2013) [Influence of operating conditions of vehicles on the service life of motor oil]. *Vestnik SibADI* [Bulletin of SibARI]. Vol. 4 (32), pp. 42–45. (In Russ.).
5. Grinchenko, K. V., Korneyev, S. V., Buravkin, R. V. (2016) [Changes in the properties of motor oil when fuel enters]. *Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin* [Dynamics of systems, mechanisms and machines]. Vol. 1. pp. 158–163. (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 SibARI]. Vol. 2 (54), pp. 66–70. (In Russ.).
7. Machehin, 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.).
8. Safonov, A. S. et al. (2004) *Motornyye masla dlya avtotraktornykh dvigateley. Svoystva. Klassifikatsiya. Assortimentnyye gruppy* [Motor oils for automotive engines. Properties. Classification. assortment groups]. St. Petersburg: NPIKTS, 199 p.
9. Naglyuk, I. S. (2011) [Assessment of the quality of motor oils in the operation of passenger cars]. *Avtomobil'nyy transport* [Road transport]. Issue 29, pp. 184–186. (In Russ.).
10. Gumerov, I. F., et al. (2011) [The main stages in the development of the design of KAMAZ engines in accordance with the requirements of the technical regulations]. *Zhurnal avtomobilnykh inzhenerov* [Journal of

Automotive Engineers]. Vol. 5 (70), pp. 23–27. (In Russ.).

11. Gumerov, I. F. et al. (2010) [Estimation of the possibility of increasing the timing of engine oil change in KAMAZ engines]. *Obrazovaniye i nauka – proizvodstvu: mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya* [Education and Science – to Production: International Scientific and Technical Conference]. Naberezhnye Chelny. Part 1, book 2, pp. 54–58. (In Russ.).

12. Porokhov, V. S. (1983) *Tribologicheskiye metody ispytaniya masel i prisadok* [Tribological methods for testing oils and additives]. Moscow: Mechanical Engineering, 183 p.

13. Presnyakov, V. A., Kaminsky, N. S., Petrenko, S. S. (2016) [Justification of the frequency of replacement of motor oils during the operation of the car]. *Uspekhi sovremennoy nauki i obrazovaniya* [Successes of modern science and education]. Vol. 6, pp. 115–117. (In Russ.).

14. Timokhova, O. M., Timokhov, R. S. (2014) [Influence of sulfur compounds of fuel on corrosive wear of machine parts]. *Voronezhskiy nauchno-tekhnicheskiiy vestnik* [Voronezh Scientific and Technical Bulletin]. Vol. 3, pp. 122–126. (In Russ.).

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

16. Chhabra, A., Singh, K. (2021) Engine oil dialysis of heavy-duty engine oil 5W50. *Materials Today: Proceedings*. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.12.156. (In Eng.).

17. 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.).

18. 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. DOI: 10.1016/j.measurement.2017.08.037. (In Eng.).

Информация об авторах:

Фёдор Леонидович Назаров, Главный технолог – Директор Технологического центра, ПАО «КАМАЗ», Naberezhnye Chelny, Россия
e-mail: nazarovf@yandex.ru

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

Руслан Флюорович 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

Вклад соавторов:

Конфликт интересов отсутствует.

Назаров Ф. Л. – формирование первичной структуры исследования, подготовка и обработка аналитического обзора источников информации, формулировка выводов.

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

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

Статья поступила в редакцию: 01.02.2022; принята в печать: 18.04.2022.

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

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

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

Contribution of the authors:

There is no conflict of interest

Nazarov F. L. – formation of the primary structure of the study, preparation and processing of an analytical review of information sources, formulation of conclusions.

Hannanov M. D. – content of the study, interpretation of the results of the study.

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

The paper was submitted: 01.02.2022.

Accepted for publication: 18.04.2022.

The authors have read and approved the final manuscript.