

Научная статья
УДК 629.113
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-1-102-111>
EDN: ZUYGRP



ПРЕЖДЕВРЕМЕННЫЕ ОТКАЗЫ ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ КАМАЗ С АККУМУЛЯТОРНОЙ ТОПЛИВОПОДАЮЩЕЙ СИСТЕМОЙ В УСЛОВИЯХ РЕАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

С.Н. Кривцов ✉, А.К. Бычков

Иркутский национальный исследовательский технический университет (ИРНИТУ),
г. Иркутск, Россия

✉ ответственный автор
Krivcov_sergei@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Для завода-изготовителя и предприятий-потребителей продукции представляют интерес данные о реальной эксплуатационной надежности силовых агрегатов автомобилей КамАЗ, их наиболее слабых местах, причинах преждевременных отказов, а также методов выявления и предотвращения их возникновения, в связи с чем выполнение научного исследования, направленного на решение указанной выше задачи, является актуальным и своевременным.

Материалы и методы. Исследование надежности систем, узлов и агрегатов двигателей автомобилей КамАЗ проводилось в условиях официального дилерского центра «Техцентр Северный» (г. Иркутск), специализирующегося на продаже, обслуживании и ремонте автомобилей марки КамАЗ в течение 2020–2024 гг. В исследовании участвовали автомобили марки КамАЗ с двигателем 740, в том числе находящиеся на гарантии. Автомобили с этими силовыми агрегатами эксплуатировались преимущественно в Иркутской области, в том числе в северных регионах. При этом в каждом наряде-заказе фиксировалась причина обращения в сервис, пробег автомобиля, а также выполненные виды работ. Важным этапом являлось выявление закона распределения наиболее частых отказов систем и узлов двигателей.

Обсуждение и заключение. Анализ полученных в ходе исследования данных свидетельствует о преобладании двух групп преждевременных отказов-головок блока цилиндров, а также системы топливоподачи, прежде всего электрогидравлических форсунок. Установлено, что их преждевременные отказы подчиняются закону распределения Вейбулла и имеют математические ожидания наработки на отказ 49,6 тыс. км для форсунок и 41,9 тыс. км для головок блока цилиндров. При этом отказы головок блока цилиндров высокофорсированных двигателей семейства КамАЗ-740.7 (мощностью свыше 360 л.с.) вызваны повышенной тепловой напряженностью и их можно классифицировать как конструкционные и как эксплуатационные.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: надежность двигателя, дизельный двигатель, вероятность отказа, головки блока цилиндров, топливоподающая система, закон распределения, ресурс, автомобиль КамАЗ

БЛАГОДАРНОСТИ: авторы выражают благодарность редакции журнала «Вестник СиБАДИ» и рецензентам статьи.

Статья поступила в редакцию 31.10.2024; одобрена после рецензирования 24.11.2024; принята к публикации 24.02.2025.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Кривцов С.Н., Бычков А.К. Преждевременные отказы двигателей автомобилей КамАЗ с аккумуляторной топливоподающей системой в условиях реальной эксплуатации // Вестник СиБАДИ. 2025. Т. 22, № 1. С. 102–111. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-1-102-111>

© Кривцов С.Н., Бычков А.К., 2025



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-1-102-111>

EDN: ZUYGRP

PREMATURE ENGINE FAILURES OF KAMAZ VEHICLES WITH COMMON RAIL FUEL SUPPLY SYSTEM IN REAL OPERATION

Sergey N. Krivtsov ✉, Alexey K. Bychkov

Irkutsk state national research technical university,
Irkutsk, Russia

✉ corresponding author
Krivcov_sersei@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. For the manufacturer and consumer enterprises of the products, it is of interest to know the real operational reliability of power units of KamAZ vehicles, their weakest points, the causes of premature failures, as well as methods for identifying and preventing their occurrence, and therefore carry out scientific research aimed at solving the above task is relevant and timely.

Methods. the study of the reliability of systems, components and assemblies of engines of KamAZ vehicles was carried out in the conditions of the official dealership center "Technical center Severny" (Irkutsk), specializing in the sale, maintenance and repair of KamAZ vehicles during 2020–2024. the study involved KamAZ vehicles with 740 engine, including those under warranty. The automobiles with these power units were operated primarily in the Irkutsk region, including server regions. at the same time, each work order recorded the reason for contacting the service, the mileage of the car, as well as the types of work performed. An important step was to identify the distribution law of the most frequent failures of engine systems and components.

Discussion and conclusion. The analysis of the data obtained during the study indicates the predominance of two types of premature failures – cylinder heads, as well as fuel supply systems, primarily electrohydraulic injectors. It was found that premature failures of cylinder head and electrohydraulic injectors obey the Weibull distribution law and have mathematical expectations of a failure time of 49.6 thousand km for injectors and 41.9 thousand km for cylinder heads. At the same time, the failures of the cylinder head of the highly accelerated engines of the KamAZ-740.7 family (with a capacity of over 360 hp) are caused by increased thermal stress and can be classified as structural and operational.

KEYWORDS: Reliability of engines, diesel engine, probability of failures, cylinder heads, fuel supply system, law of distribution, lifetime, automobile KamAZ

ACKNOWLEDGEMENTS: The authors express their gratitude to the editorial board of the Russian Automobile and Highway Industry Journal and the reviewers of the article.

The article was submitted: 31.10.2024; **approved after reviewing:** 24.11.2024; **accepted for publication:** 24.02.2025.

All authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Krivtsov S.N., Bychkov Al. K. Investigation of traction and dynamic properties of wheeled vehicles with electric and hybrid power plants on the test stands with running drums. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2025; 22 (1): 102-111. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-1-102-111>

© Krivtsov S.N., Bychkov Al. K., 2025



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

ВВЕДЕНИЕ

Автомобили КамАЗ используются во многих сферах народного хозяйства страны, особенно на предприятиях с государственным участием (муниципальные, ведомственные и т.д.). Они являются достойной альтернативой зарубежной технике, поскольку способны выполнять жесткие требования по токсичности отработавших газов и при этом имеют привлекательную для потребителей стоимость. Это достигается применением современных топливоподающих систем с электронным управлением – систем с общим аккумулятором давления (или Common Rail от англ. общая магистраль). Заводом-изготовителем выпускается широкая гамма двигателей одинаковой размерности и компоновки, но разной степени форсировки. Одним из таких распространенных семейств силовых установок являются двигатели КамАЗ 740.7 – восьмицилиндровые V-образные двигатели рабочим объемом 11,76 л с турбонаддувом мощностью от 280 до 440 л.с. (таблица 1).

В условиях Иркутской области чаще всего эксплуатируются двигатели мощностью 320 и 400 л.с. (см. таблицу 1). На эти двигатели установлена топливоподающая система Алтайского завода прецизионных изделий (АЗПИ). Для завода-изготовителя и предприятий-потребителей продукции, безусловно, представляют интерес данные о реальной эксплуатационной надежности силовых агрегатов автомобилей

КамАЗ, их наиболее слабых местах, причинах преждевременных отказов, а также методов выявления и предотвращения их возникновения, поэтому выполнение научного исследования, направленного на решение указанной выше задачи, является актуальным и своевременным.

Известно, что отказы, в том числе преждевременные, по происхождению делятся на конструкционные, технологические и эксплуатационные [1, 2], в связи с чем детальный анализ причин происхождения также крайне важен.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование надежности систем, узлов и агрегатов двигателей автомобилей КамАЗ проводилось в условиях официального дилерского центра «Техцентр Северный» (г. Иркутск), специализирующегося на продаже, обслуживании и ремонте автомобилей марки КамАЗ в течение 2020–2024 гг. В исследовании участвовали автомобили марки КамАЗ с двигателем 740, в том числе находящиеся на гарантии. Автомобили с этими силовыми агрегатами эксплуатировались преимущественно в Иркутской области, в том числе в северных регионах. При этом в каждом наряде-заказе фиксировалась причина обращения в сервис, пробег автомобиля, а также выполненные виды работ. Важным этапом являлось выявление закона распределения наиболее частых отказов систем и узлов двигателей.

Таблица 1
Технические характеристики двигателей КамАЗ
Источник: составлено авторами.

Table 1
Technical characteristics of engines KamAZ
Source: compiled by the author.

Модель Model	740.75– 440	740.74– 420	740.73– 400*	740.72– 360	740.71– 320*	740.70– 280
Расположение и число цилиндров Configuration and number of cylinders	V-8					
Диаметр цилиндра и ход поршня, мм Bore and stroke, mm	120x130					
Степень сжатия Compression ratio	16,8					
Рабочий объем, л Working value, l	11,76					
Номинальная частота вращения, мин ⁻¹ Nominal speed, min ⁻¹	1900					
Мощность, кВт (л.с.) Power, kWt (h p)	323,5 (440)	308,8 (420)	294,1 (400)	264,7 (360)	235,3 (320)	205,9 (280)
Максимальный крутящий момент, Нм Maximal torque, Nm	1177	1373	1570	1766	1864	2060

* полужирным шрифтом выделены наиболее распространенные в регионе силовые установки

Вид функции распределения определялся путем последовательного выполнения следующих этапов [3, 4, 5, 6]:

- выдвижение и принятие гипотезы о виде функции распределения;
- оценка значений параметров функции распределения предполагаемого типа;
- проверка непротиворечивости экспериментальных данных принятой гипотезе распределения.

В дальнейшем строилась дифференциальная функция распределения (плотности вероятности) и в интегральной форме – вероятность отказа.

При анализе данных нами была принята гипотеза о том, что отказы головок блока цилиндров и топливоподающей системы имеют закон распределения Вейбулла. Функция распределения Вейбулла имеет вид:

$$F = 1 - e^{-(l/a)^b} \quad (1)$$

В свою очередь плотность распределения вероятности закона Вейбулла:

$$f(l|\lambda, b) = \frac{b}{a} \left(\frac{l}{a}\right)^{b-1} e^{-(l/a)^b}, \quad (2)$$

где l – пробег автомобиля;

a и b параметры закона распределения Вейбулла.

Среднюю наработку на отказ при распределении по закону Вейбулла можно определить на основании следующего выражения:

$$\bar{l} = a \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right), \quad (3)$$

где Γ – гамма-функция.

Обработку экспериментальных данных выполняли с помощью программного обеспечения MS Excel и MatLab от MathWorks.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Распределение отказов по системам, узлам и агрегатам двигателей КамАЗ 740.4 в условиях эксплуатации Восточной Сибири приведено на рисунке 1.

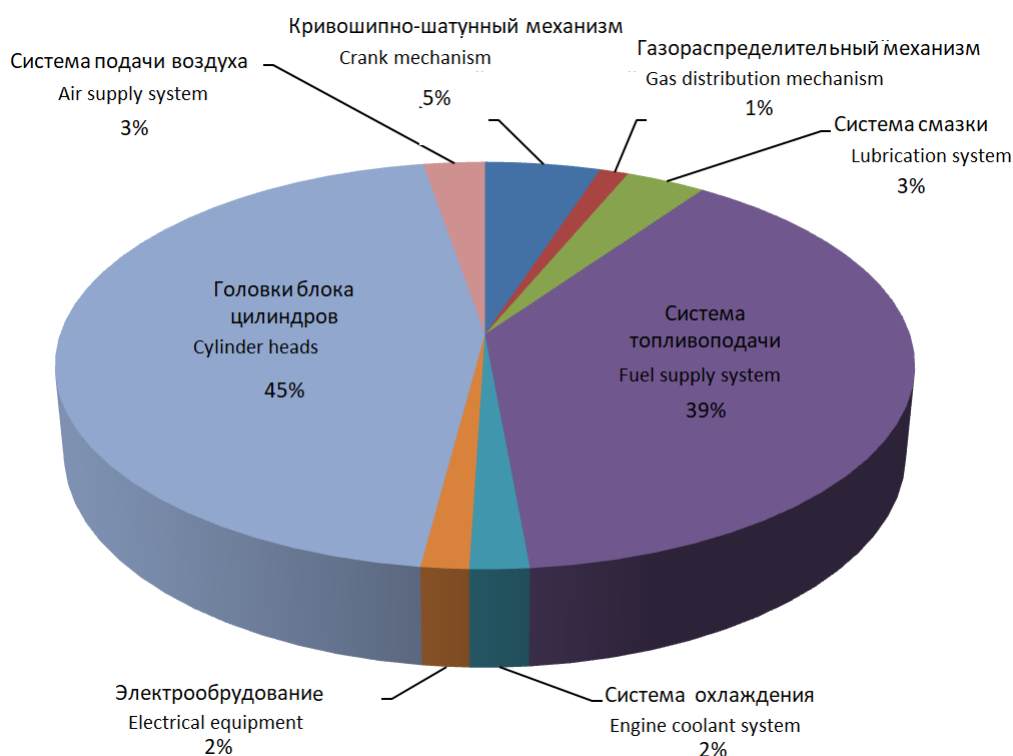


Рисунок 1 – Процентное соотношение отказов двигателей КамАЗ-740.7
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – The percentage of failures of engines KamAZ-740.7
Source: compiled by the authors.

Анализ данных, представленных на рисунке 1, свидетельствует о преобладании двух групп отказов – головок блока цилиндров (ГБЦ), а также системы топливоподачи, прежде всего электрогидравлических форсунок (ЭГФ). И если отказы топливоподающей системы являются довольно часто упоминающимися в литературе, то дефекты головок блока цилиндров являются специфическим типом отказов именно для двигателей КамАЗ семейства 740.7. Сами по себе неисправности ГБЦ зачастую приводят к снижению уровня антифриза в системе охлаждения, но могут и никак себя не проявлять. Иногда течь антифриза обнаруживают только снятие форсунок в виде следов на корпусе инжекторов и в форсуночном колодце (рисунок 2, а). После опрессовки головок воздухом через трещины отчетливо видны пузырьки (рисунок 2, б).

В ходе исследований была подтверждена гипотеза о том, что закон распределения отказов ГБЦ подчиняется закону Вейбулла (рисунок 3, таблица 2). Установлено, что средний ресурс головок блока цилиндров составляет 41,9 тыс. км пробега.

Примечательно, что вероятность отказа в первую очередь зависит от мощности сило-

вой установки. Причем вероятность отказа ГБЦ двигателей мощностью 400 л.с. значительно выше, а ресурс меньше примерно на 80%. Данный тип отказов заключается в том, что головки трескаются, нарушается и герметичность прилегания к плоскости блока цилиндров, в результате чего чаще всего происходит попадание антифриза в смазочную систему. Данный дефект редко своевременно замечается водителями и предсказуемо приводит к сокращению ресурса других узлов и агрегатов двигателей, в частности, деталей кривошипно-шатунного механизма (прежде всего поршневого комплекта) и турбокомпрессора.

Учитывая то, что двигатели, имеющие разную мощность, по сути, имеют одинаковую поршневую группу, топливоподающую систему и ГБЦ, можно сделать вывод о том, что увеличение мощности достигается за счет корректировки карт топливоподачи. Это неизбежно приводит к увеличению тепловой напряженности головок блока и сокращению их ресурса. Доказательством является положительная динамика снижения потока отказов ГБЦ при дефорсировании двигателя. Однако это неизбежно приводит к снижению производительности автомобиля.



а



б

Рисунок 2 – Фотографии дефектных головок блока цилиндров двигателей КамАЗ-740.7
а – следы антифриза в форсуночном колодце; б – опрессовка головки блока цилиндров
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Photography of failed cylinder heads of engines KamAZ-740.7
a – The antifreeze traces in fuel injector holes; b – The pressure testing of cylinder heads
Source: compiled by the authors.

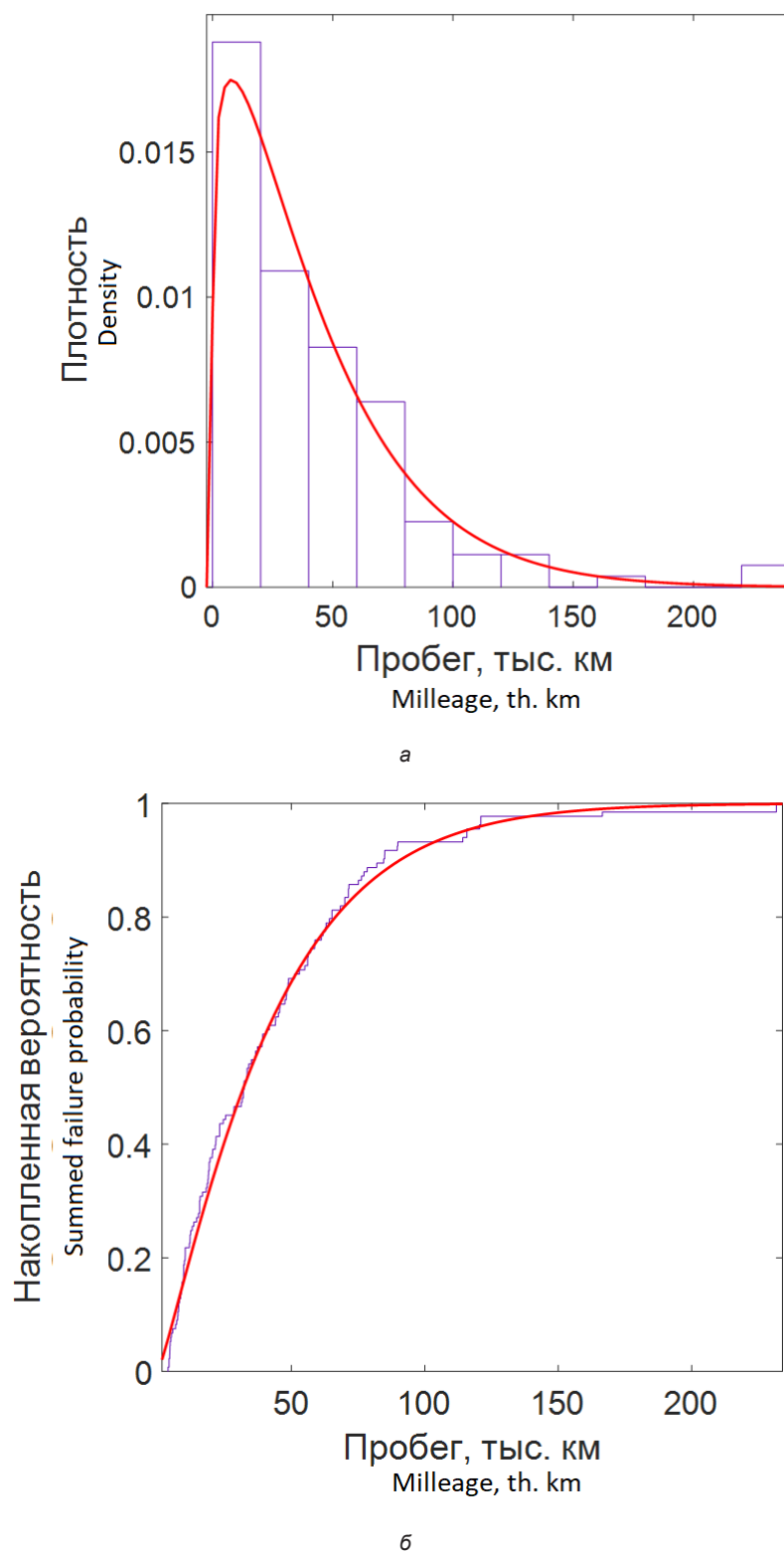
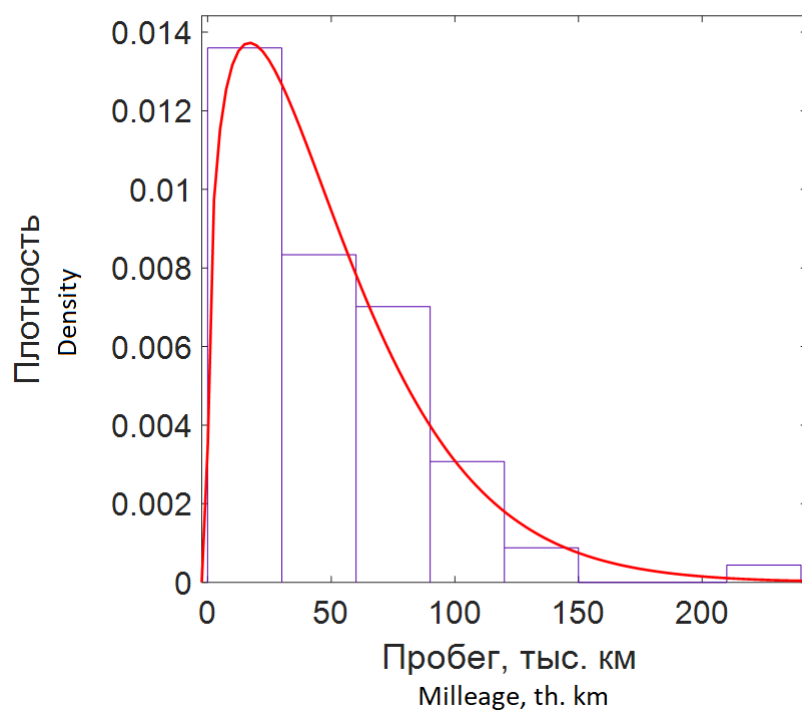
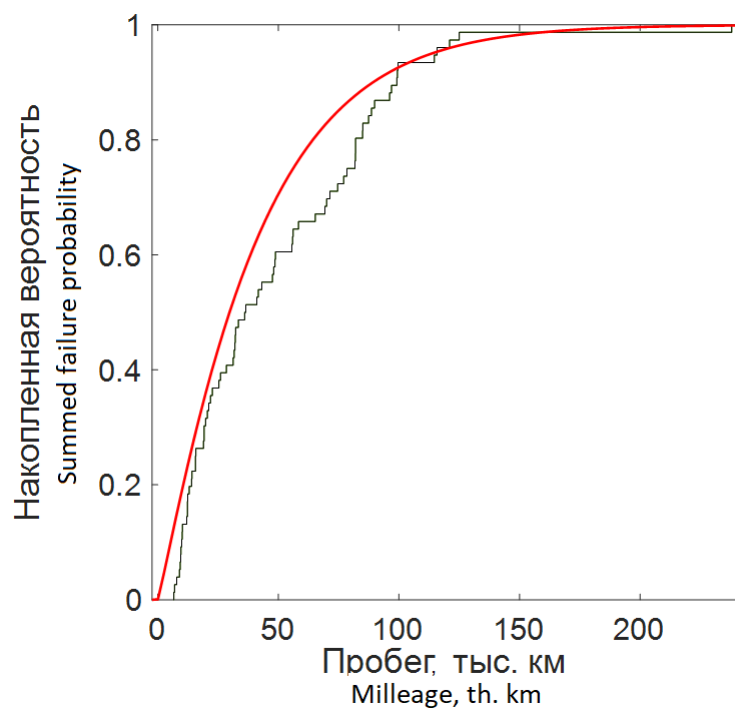


Рисунок 3 – Плотность вероятности и вероятность отказа головок блока цилиндров силовых установок автомобилей КамАЗ
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Density of probability and failure probability of cylinder heads of engines KamAZ
Source: compiled by the authors.



a



б

Рисунок 4 – Плотность вероятности и вероятность отказа электрогидравлических форсунок силовых установок автомобилей КамАЗ
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Density of probability and failure probability of Common Rail injectors of engines KamAZ
Source: compiled by the authors.

Таблица 2

Статистические характеристики закона распределения наиболее частых отказов двигателей автомобилей КамАЗ
Источник: составлено авторами.

Table 2

Statistical characteristics of the distribution law of most frequent failures of engines KamAZ
Source: compiled by the authors.

№	Элемент Element	Закон распределения The law of distribution	Параметры закона распределения Parameters of distribution law		
			a	b	$\bar{t}$, тыс. км
1	Головки блока цилиндров Cylinder heads	Вейбулла	44,06	1,16	41,9
2	Форсунки Injectors	Вейбулла	53,65	1,29	49,6

Все сказанное выше позволяет отнести отказы головок блока цилиндров как к конструкционным, так и эксплуатационным, поскольку они могут возникнуть вследствие, например, перегрева.

В свою очередь отказы форсунок практически не зависят от мощности силовой установки автомобилей КамАЗ. Гипотеза о том, что закон распределения отказов форсунок подчиняется закону Вейбулла (рисунок 4, таблица 2) была также подтверждена. Установлено, что средний ресурс головок форсунок КамАЗ производства АЗПИ составляет 49,6 тыс. км пробега.

Среди причин, вызывающих их преждевременный отказ, многие специалисты из числа инженерно-технических работников предприятий приоритет отдают качеству применяемого топлива, не уточняя, какие показатели качества имеются в виду. Это несколько противоречит данным, представленным в работах¹ [7], которые были получены методом экспертных оценок для двигателей КамАЗ предыдущих поколений. Но в то же время природно-климатические факторы, безусловно, способны влиять на качество топлива, поскольку происходит смена летнего топлива на зимнее либо арктическое. Такие топлива могут иметь пониженные смазывающие свойства, выражаемые диаметром пятна износа шарика по методу HFRR [8]. В подавляющем большинстве случаев неисправности связаны с наличием воды в топливе и абразивным износом седла клапана-мультипликатора и отверстий распылителя. К аналогичным выводам пришли авторы статей [9, 10, 11]. Износ указанных частей приводит к значительным

отклонениям подач и расхода на управления от нормативных точек тест-плана [11, 12]. Для форсунок АЗПИ выявлен также специфический вид дефекта их электромагнита. Дело в том, что при подозрении на неисправность инжекторы проверялись на специализированных стендах для проверки электрогидравлических форсунок систем Common Rail. При этом зачастую их показатели топливоподачи соответствовали допускам, указанным в тест-планах, но при этом возникали ошибки блока управления с ограничением мощности. Замена на полностью новые устраняла симптомы на определенный промежуток пробега. Дефекты электромагнитов форсунок АЗПИ выявлялись только на фирменном стенде Bosch DCI 200 (приблизительно до 25% случаев). При этом возникала специфическая ошибка «Ток ускорителя не достигнут», что явно свидетельствовало об отклонениях зависимости хода якоря электромагнита клапана от величины приложенного управляющего импульса как и в случае, например, деградации пьезоэлемента [13].

Анализ данных, приведенных в таблице 2, указывает на то, что интенсивность отказов как форсунок, так и ГБЦ монотонно возрастает, о чем свидетельствует величина параметра b. Средние наработки на отказ пробега составляют 49,6 тыс. км для форсунок и 41,9 тыс. км для ГБЦ.

В качестве наиболее вероятной причины преждевременного выхода из строя головок блока цилиндров выступает их повышенная тепловая напряженность на двигателях повышенной мощности. Это свидетельствует о

¹ Гусельников А.С. Методика обеспечения работоспособности топливной аппаратуры автомобильных дизельных двигателей в холодном климатическом регионе: автореф... дис. кан. наук. Тюмень, 2024. 17 с.

необходимости модернизации ГБЦ и их охлаждения со стороны завода-изготовителя и необходимости периодического контроля за их техническим состоянием с позиции эксплуатирующей стороны. Необходимо отметить также, что неисправности электрогидравлических форсунок также способствуют повышенной тепловой напряженности цилиндра и его головки, поскольку с течением времени, как правило, подача топлива при неизменной длительности управляющего импульса увеличивается.

ВЫВОДЫ

1. Преждевременными отказами двигателей семейства КамАЗ-740.7 являются отказы головок блока цилиндров, а также элементов топливоподающей системы, прежде всего электрогидравлических форсунок.

2. Установлено, что преждевременные отказы головок блока цилиндров и электрогидравлических форсунок подчиняются закону распределения Вейбулла и имеют математические ожидания наработки на отказ 49,6 тыс. км для форсунок и 41,9 тыс. км для головок блока цилиндров.

3. Отказы головок блока цилиндров высокофорсированных двигателей семейства КамАЗ-740.7 (мощностью свыше 360 л.с.) вызваны повышенной тепловой напряженностью и их можно классифицировать как конструкционные и как эксплуатационные.

4. Отказы топливоподающей системы относятся в значительной степени к эксплуатационным, и наиболее вероятной причиной является качество топлива, прежде всего его смазывающие свойства, а также загрязнение топлива водой и механическими абразивными примесями и их плохая фильтрация.

5. Преждевременные отказы влияют на надежность других элементов двигателей, поэтому контроль технического состояния наименее надежных элементов целесообразно приурочить к выполнению очередного номерного технического обслуживания автомобиля (например, ТО-2).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Карагодин В.И., Павлов А.П. Обеспечение надежности наземных транспортно-технологических средств методами резервирования // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2018. № 5. С. 36–40.

2. Pavlov A., Karagodin V. Ensuring reliability of transportation vehicles with redundancy methods // MATEC Web of Conferences. 2021. Т. 334. С. 02028.

3. Y. Huang et al., "Impact of potential engine malfunctions on fuel consumption and gaseous emissions of a Euro VI diesel truck," *Energy Conversion and Management*, vol.184, pp. 521–529, Mar. 2019, doi: <https://doi.org/10.1016>.

4. Cui Y., Mu H., Yi X., Wei, S. Reliability Optimization Design of Diesel Engine System Based on the GO Method. *Appl. Sci.* 2023, 13, 3727. <https://doi.org/10.3390/>

5. Wang D.F., Yang H.X. Reliability Design Analysis of Engine. *Intern. Combust. Engine Accessories* 2021, 333, pp. 37–38.

6. Кулаков А.Т., Якубович И.А. Эксплуатационная надежность КамАЗов // Автотранспортное предприятие. 2013. № 3. С. 45–48.

7. Гусельников А.С., Захаров Н.С. Исследование влияния условий эксплуатации на надежность элементов топливной аппаратуры автомобилей Урал-4320 // Транспорт Урала. 2023. № 4 (79). С. 83–89.

8. Кривцов С.Н., Кривцова Т.И. Изменение смазывающих свойств дизельного топлива при добавлении в него растительного масла // Вестник СибАДИ. 2021; 18(5): 534–543. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-5-534-543>

9. Малахов А.Ю., Юрин П.А., Лихачева Т.Е. [и др.]. Исследование причин выхода из строя топливных форсунок современных автомобилей // Вестник МАДИ. 2017. № 4 (51). С. 38–47.

10. Кривцов С.Н., Кузакова В.В. Надежность автомобильных электрогидравлических форсунок с пьезопроводом // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2019. № 10. С. 56–60.

11. Krivtsov S.N., Yakimov I.V., Ozornin S.P. Numerical analysis and experimental studies on solenoid common rail diesel injector with worn control valve // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment*. 2018. С. 042–057.

12. Stoeck T. Methodology of testing common rail fuel injectors with the use of Gauss's formulas. *Combustion Engines*. 2021, 184(1), 11–15. DOI: 10.19206/CE-133505

13. Krivtsov S.N., Krivtsova T.I. Variations in health of piezoelectric elements of the common rail electric hydraulic nozzles in the operating conditions // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. С. 012022.

REFERENCES

1. Karagodin V.I., Pavlov A.P. Reliability ensuring of ground transport-technological facilities by redundancy methods. *Remont, Vosstanovlenie, Modernizatsiya (Repair, Reconditioning, Modernization)*. 2018; 5: 36–40. (in Russ)

2. Pavlov A., Karagodin V. Ensuring reliability of transportation vehicles with redundancy methods // *MATEC Web of Conferences*. 2021. Т. 334. С. 02028.

3. Y. Huang et al., "Impact of potential engine malfunctions on fuel consumption and gaseous

emissions of a Euro VI diesel truck," *Energy Conversion and Management*. Mar. 2019; vol.184: 521–529, <https://doi.org/10.1016>.

4. Cui Y., Mu H., Yi X., Wei S. Reliability Optimization Design of Diesel Engine System Based on the GO Method. *Appl. Sci.* 2023, 13, 3727. <https://doi.org/10.3390/>

5. Wang D.F., Yang H.X. Reliability Design Analysis of Engine. *Intern. Combust. Engine Accessories* 2021, 333. 37–38.

6. Kulakov A.T., Yakubovich I.A. Operational reliability of KAMAZ. *Motor transport enterprise*. 2013; 3: 45–48. (in Russ)

7. Guselnikov A.S., Zakharov N.S. The research of the influence of the exploitation conditions on the safety of the parts of the fuel system parts of Ural-4320 vehicle. *Transport of the Urals*. 2023. No. 4 (79). pp. 83–89. (in Russ)

8. Krivtsov S.N., Krivtsova T.I. Changing the lubricity of diesel fuel with vegetable oil additive. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021; 18(5): 534–543. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-5-534-543>

9. Malakhov A.Yu., Yurin P.A., Likhacheva T.E. [et al.] Research of the causes of failure of fuel injectors in modern automobile. *Vestnik Moskovskogo avtomobilno-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*. 2017. No. 4 (51). pp. 38–47. (in Russ)

10. Reliability of automotive electrohydraulic injectors with piezo drive / Krivtsov S.N., Kuzakova V.V. // *Transport: science, technology, management. Scientific information collection*. 2019. No. 10. pp. 56–60.

11. Krivtsov S.N., Yakimov I.V., Ozornin S.P. Numerical analysis and experimental studies on solenoid common rail diesel injector with worn control valve. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment. 2018: 042–057.

12. Stoeck T. Methodology of testing common rail fuel injectors with the use of Gauss's formulas. *Combustion Engines*. 2021; 184(1): 11–15. DOI: 10.19206/CE-133505

13. Krivtsov S.N., Krivtsova T.I. Variations in health of piezoelectric elements of the common rail electric hydraulic nozzles in the operating conditions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021: C. 012022.

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Кривцов С.Н. Сбор статистических данных, обработка данных, получение зависимостей вероятности отказа двигателей КамАЗа, расчет

статистических характеристик закона распределения отказов. Проведение сравнительного анализа, формулировка выводов, интерпретация результатов исследования.

Бычков А.К. Анализ и обобщение данных литературы, сбор и систематизация данных, написание текста рукописи, редактирование текста рукописи, оформление рукописи, работа с графическим материалом.

CO-AUTHORS' CONTRIBUTION

Krivtsov S.N. Collection of statistical data, data processing, obtaining dependences of the probability of failure of engines KamAZ, calculation of statistical characteristics of the law of distribution of failures. Comparative analysis; formulation of conclusions; interpretation of research results;

Bychkov A.K. Analysis and generalization of literature data; collection and systematization of data; writing the text of the manuscript; editing the text of the manuscript; design of the manuscript; work with graphic material.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кривцов Сергей Николаевич – д-р техн. наук, доц., проф. кафедры «Автомобильный транспорт» Иркутского национального исследовательского технического университета (664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0462-8455>,

SPIN-код: 9278-4018,

e-mail: krivcov_sergei@mail.ru

Бычков Алексей Константинович – магистрант кафедры «Автомобильный транспорт» Иркутского национального исследовательского технического университета (664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83).

ORCID: <https://orcid.org/009-0009-0520-1411>.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Krivtsov Sergey N. – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; Professor of the Department of Automobile Transport, Irkutsk National Research Technical University (83, Lermontov str., Irkutsk, 664074).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0462-8455>,

SPIN-код: 9278-4018,

e-mail: krivcov_sergei@mail.ru

Bychkov Alexey K. – magistant of the Department of Automobile Transport, Irkutsk National Research Technical University (83, Lermontov str., Irkutsk, 664074).

ORCID: <https://orcid.org/009-0009-0520-1411>.