

**И. Ф. Воронина, канд. техн. наук, Ф. М. Судак, канд. техн. наук,
Ф. В. Молозин**

**Автомобильно-дорожный институт (филиал) федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донецкий
национальный технический университет» в г. Горловка**

РАСЧЕТ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЯ КАМАЗ-65222-38 В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР

Предложена методика определения вероятностных характеристик надежности и оценки закономерностей изменения технического состояния автомобилей КАМАЗ-65222-38, эксплуатирующихся в условиях низких отрицательных температур.

В дальнейшем предполагается использовать результаты исследования для разработки рекомендаций по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей.

***Ключевые слова:** КАМАЗ-65222-38, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, дисперсия числа отказов, средневзвешенная величина отказов, средний пробег в интервале*

Введение

На современном этапе эксплуатации автомобилей в различных условиях, особенно при низких отрицательных температурах, важнейшей задачей является обеспечение их эксплуатационной надежности.

Сложность конструкций автомобилей и возросшие требования к ним привели к тому, что обеспечение их надежности стало критически важным. Автотранспортные средства, не соответствующие высоким стандартам надежности и потребительских характеристик, теряют конкурентоспособность.

Ненадежный автомобиль не способен эффективно функционировать, так как каждый его отказ влечет значительные материальные потери и может привести к дорожно-транспортным происшествиям. Это особенно критично при эксплуатации в условиях низких отрицательных температур, где снижение надежности может поставить под угрозу человеческие жизни.

Анализ публикаций

В [1–3] показана система непрерывного мониторинга условий эксплуатации и изменений технического состояния автомобилей, предложено возродить климатические испытания, как условие повышения безопасности качества автомобилей на Севере, также рассмотрено влияние режимов движения транспортного средства и температуры окружающей среды на КПД трансформатора и др. Но до конца не раскрыта проблема эксплуатационной надежности грузовых автомобилей отечественного производства, эксплуатирующихся в условиях низких отрицательных температур.

Цель статьи

Определение фактической надежности в условиях низких отрицательных температур для дальнейшей разработки рекомендаций по обслуживанию и ремонту автомобилей.

Методика и результаты исследования

В качестве подконтрольных автомобилей авторами была проведена выборка группы автомобилей-самосвалов КАМАЗ-65222-38, которые выполняли обычную транспортную

работу в поселке Ямбург, в условиях Крайнего Севера. Исследования проводились с октября 2023 года по март 2024 года в соответствии с ГОСТ Р 50992 – 2019 «Климатическая безопасность транспортных средств» [4], при этом точность результатов определялась доверительными интервалами, за пределы которых не выйдут значения оцениваемого показателя с доверительной вероятностью P_x при допустимой ошибке ε_x .

Критерий надежности – это признак, по которому оценивается надежность автомобиля или его механизмов и агрегатов. В качестве критериев, позволяющих количественно оценивать эксплуатационную надежность автомобилей, принимают следующие статистические показатели:

- 1) вероятность безотказной работы;
- 2) средний пробег между двумя соседними отказами;
- 3) характеристика опасности или интенсивности отказов;
- 4) коэффициент профилактики.

Данные по отказам и эксплуатационным показателям фиксировались в специальной форме – информационной карте, которая является основным документом по надежности автомобиля. Подконтрольных автомобилей было выбрано $N = 50$ единиц (таблица 1).

Средняя температура воздуха в Ямбурге, где проводились исследования, была следующей:

- октябрь 2023 года – 2,4 °С;
- ноябрь 2023 года – 14,7 °С;
- декабрь 2023 года – 19,1 °С;
- январь 2024 года – 23,4 °С;
- февраль 2024 года – 20,5 °С;
- март 2024 года – 14,6 °С.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета средней наработки до отказа

№ интервал i		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Границы интервала	от	22	26,4	30,8	35,2	39,6	44	48,4	52,8	57,2	61,6
	до	26,4	30,8	35,2	39,6	44	48,4	52,8	57,2	61,6	66
Количество отказов n_i		3	5	7	9	7	6	5	4	3	1

Определим вероятность безотказной (исправной) работы, которая заключается в том, что в пределах заданной наработки на отказ объекта не возникает. Вероятность безотказной работы по кумулятивным пробегам определяется, исходя из предположения, что в начальный момент времени исчисления заданной наработки объект был работоспособен [5], по формуле

$$R(X) = e^{-\lambda x}, \quad (1)$$

где λ – функция распределения наработки до отказа;

X – пробег, км.

Поскольку возникновение отказов есть величина случайная, необходимо найти дисперсию (рассеивание) числа отказов в рассматриваемом интервале пробегов, по формуле

$$D[X] = \frac{\sum (X_i - \mu)^2 \cdot n_i}{N}. \quad (2)$$

Получаем

$$D[X] = 102,44 \text{ тыс. км,}$$

где X_i – средний пробег в интервале;

μ – средневзвешенная величина отказов;

n_i – количество отказов;

N – общее количество испытуемых автомобилей.

Для этого необходимо найти среднее значение пробега для каждого интервала:

$$MTBF = \sum \bar{x} \cdot \mu, \quad (3)$$

где \bar{x} – среднее значение на каждом интервале пробега.

Получаем $MTBF = 41,36$ тыс. км.

Результаты вычислений заносим в сводную таблицу 2.

Определим среднеквадратичное отклонение рассеивания случайной величины:

$$\sigma = \sqrt{D[X]}. \quad (4)$$

В результате проведенных расчетов, получаем

$$\sigma = \sqrt{102,44} = 10,12 \text{ тыс. км.}$$

Определим коэффициент вариации CV , т. е. степень изменчивости по отношению к среднему показателю выборки, по формуле

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \cdot 100 \%. \quad (5)$$

Коэффициент вариации составил: $CV = 24,47 \%$. Полученное значение $CV < 33 \%$, поэтому совокупность является однородной.

Найдем доверительный интервал полученных экспериментальных значений, соответствующих доверительной вероятности:

$$CI = \mu \pm Z \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right), \quad (6)$$

где Z – значение для нормального распределения (для 95 % доверительного интервала это 1,96). Ввиду ограниченной возможности получения большего значения экспериментальных значений, воспользуемся t -критерием Стьюдента, учитывая малый объем выборки. Выполним расчет доверительного интервала для 95 % уровня доверия.

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}; \quad (7)$$

$$38,48 < CI < 44,24 \text{ тыс. км.}$$

Предположим, что гипотетическое значение t -критерия равно 40 тыс. км пробега, проверим, является ли это значение средним значением пробега до отказа. Для этого сравним значение $t = 40$, по таблице в [6], с критическим значением t и соответствующими степенями свободы: для 95 % уровня доверия (или уровня значимости $\alpha = 0,05$) и степенями свободы:

$$\begin{aligned} \nu &= N - 1; \\ \nu &= 50 - 1 = 49. \end{aligned} \quad (8)$$

Соответственно, значение критерия Стьюдента будет равно 2,009, что меньше критического значения t , поэтому значение t -критерия для проверки гипотезы о том, что среднее значение пробега до отказа является 40 тыс. км будет с вероятностью 95 %.

Для этого определяем середины интервалов пробега \bar{X} и относительные частоты μ :

$$\mu_i = \frac{n_i}{N}, \quad (9)$$

где μ – относительная частота (частость) экспериментальных значений, попавших в i -й интервал вариационного ряда;

n_i – число попаданий экспериментальных значений в i -й интервал, т. е. число автомобилей, имевших отказы за пробег l ;

N – число автомобилей в начале испытаний. Результаты расчета сводим в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчета параметров экспериментального распределения пробегов автомобилей до отказа

№ интервала, i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Границы интервала	от	22	26,4	30,8	35,2	39,6	44	48,4	52,8	57,2	61,6
	до	26,4	30,8	35,2	39,6	44	48,4	52,8	57,2	61,6	66
n_i	3	5	7	9	7	6	5	4	3	1	
μ_i	0,06	0,1	0,14	0,18	0,14	0,12	0,1	0,08	0,06	0,02	
\bar{x}_i	24,2	28,6	33	37,4	41,8	46,2	50,6	55	59,4	63,8	
$\bar{x}_i \mu_i$	1,452	2,86	4,62	6,732	5,852	5,544	5,06	4,4	3,564	1,276	
$(\bar{x}_i - \bar{x})^2$	294,47	162,82	69,89	15,68	0,19	23,43	85,38	186,05	325,44	503,5	
$(\bar{x}_i - \bar{x})^2 \cdot n_i$	883,40	814,09	489,23	141,13	1,36	140,55	426,89	744,20	976,32	503,5	

Рассчитаем интенсивность отказов λ , которая обратно пропорциональна среднему значению вероятности отказов:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}; \lambda = \frac{1}{41,36} = 0,0242, \quad (10)$$

т. е. интенсивность отказов λ составляет 0,0242 отказа на единицу пробега.

Для поиска коэффициента профилактики отказов в нашем случае недостаточно данных, т. к. необходимо знать количество предотвращенных отказов (например, количество проведенных профилактических мероприятий, которые привели к предупреждению отказов) и спрогнозировать общее количество возможных отказов (например, суммарное количество отказов, которые произошли без проведения профилактических мероприятий). При наличии соответствующих экспериментальных значений, коэффициент интенсивности отказов можно вычислить по формуле

$$K_{\text{проф}} = \frac{n_{\text{пред}}}{n_{\text{возм}}}, \quad (11)$$

где $n_{\text{пред}}$ – количество предотвращенных отказов;

$n_{\text{возм}}$ – количество возможных отказов.

Определим вероятность безотказной работы для нашего эксперимента (1): поскольку при помощи (10) мы вычислили интенсивность отказов, получим вероятность безотказной работы с увеличением пробега (таблица 3).

Таблица 3 – Вероятность безотказной работы с увеличением кумулятивного пробега

№ интервала, i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кумулятивный пробег	24,2	59,4	94,6	129,8	165	200,2	235,4	270,6	305,8	341
Вероятность безотказной работы	0,557	0,238	0,101	0,043	0,018	0,008	0,003	0,001	0,001	0,000

Полученные значения представим в виде графика функции (рисунок 1).

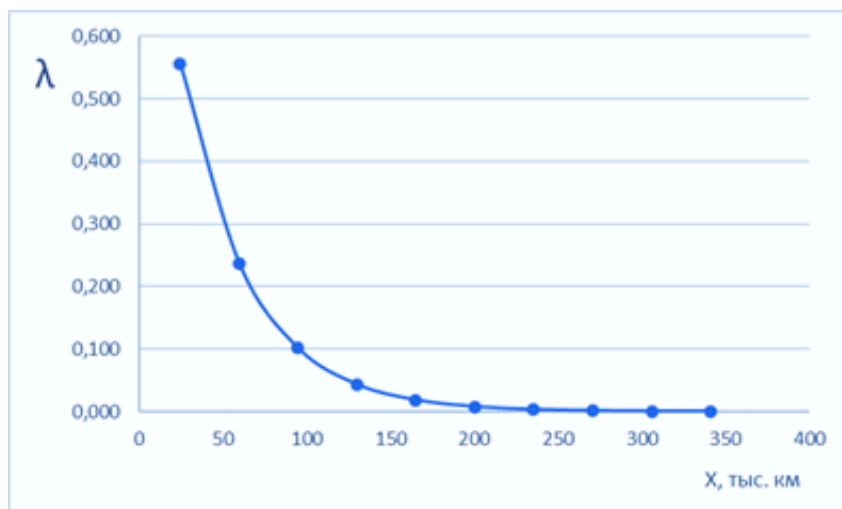


Рисунок 1 – Вероятность безотказной работы по кумулятивным пробегам

Найдем вероятность отказов $P(X_i)$ в заданных интервалах пробега, вероятность безотказной работы $R(X_i)$, а также плотность распределения вероятности $f(X_i)$.

$$P(X_i) = \frac{n}{N}; \quad (12)$$

$$f(X_i) = \frac{P(X_i)}{\Delta X_i}; \quad (13)$$

$$R(X_i) = 1 - \sum_{i=1}^N P(X_i). \quad (14)$$

Результаты расчетов сведем в таблицу 4.

Таблица 4 – Зависимость вероятности безотказной работы и вероятности отказов от пробега

№ интервала, i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Границы интервала, i	от	22	26,4	30,8	35,2	39,6	44	48,4	52,8	57,2	61,6
	до	26,4	30,8	35,2	39,6	44	48,4	52,8	57,2	61,6	66
n_i	3	5	7	9	7	6	5	4	3	1	
\bar{x}_i	24,2	28,6	33	37,4	41,8	46,2	50,6	55	59,4	63,8	
$f(X_i)$	0,014	0,023	0,032	0,041	0,032	0,027	0,023	0,018	0,014	0,005	
$\sum P(X_i)$	0,06	0,1	0,14	0,18	0,14	0,12	0,1	0,08	0,06	0,02	
$\sum R(X_i)$	0,94	0,9	0,86	0,82	0,86	0,88	0,9	0,92	0,94	0,98	

По полученным значениям построим графики функций (рисунки 2, 3).

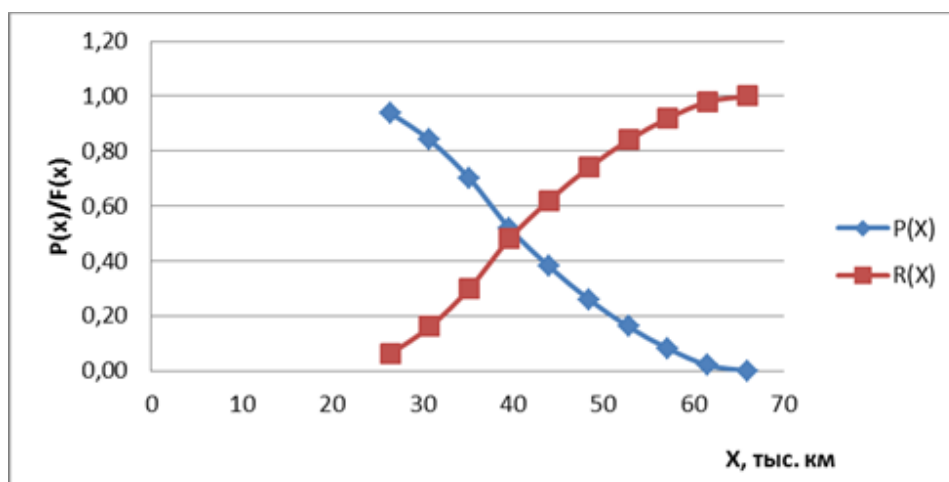


Рисунок 2 – График зависимости вероятности безотказной работы и вероятности отказов от пробега X

Из полученного графика можно сделать вывод, что с увеличением пробега, увеличивается вероятность возникновения отказов и прямо пропорционально снижается вероятность безотказной работы. Переход осуществляется в точке среднего значения пробега 41,36 тыс. км.

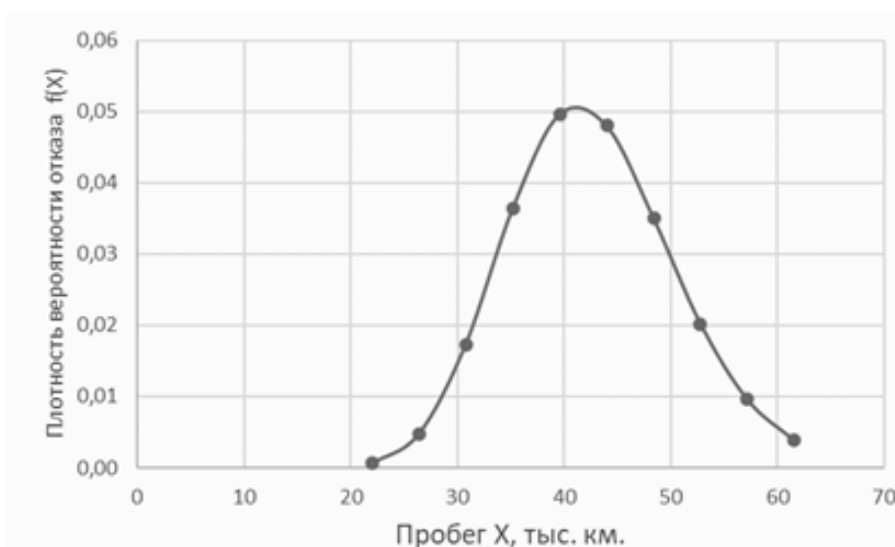


Рисунок 3 – Зависимость теоретической плотности вероятности отказа $f(X)$ от пробега X

Выводы

По отчетным данным и наблюдениям за автомобилями, была дана вероятностная характеристика свойствам надежности, а также оценка закономерности изменения технического состояния автомобилей КАМАЗ-65222-38, эксплуатирующихся в условиях низких отрицательных температур. По результатам исследования были построены графики (рисунки 2, 3), которые можно использовать для разработки рекомендаций по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей.

Список литературы

1. Озорнин, С. П. Методики и результаты оценки эффективности эксплуатации грузовых автотранспортных средств в условиях холодного климата / С. П. Озорнин, И. А. Тарасов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – Т. 22, № 3. – С. 234–243.

2. Мярин, А. Н. Возрождение климатических испытаний модификаций автотранспорта для Севера и Арктики и снегоболотоходов в Якутии / А. Н. Мярин. – Текст : электронный // Журнал автомобильных инженеров. – 2016. – С. 48–53. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_26492898_75541360.pdf .
3. Хлопотов, Р. А. О влиянии температуры окружающей среды на КПД гидротрансформатора / Р. А. Хлопотов // Транспортные и транспортно-технологические системы : материалы международной научно-технической конференции, Тюмень, 16 апреля 2015 года / ответственный редактор Н. С. Захаров. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2015 г. – С. 357–360. – Текст : электронный. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_25269935_71004006.pdf .
4. ГОСТ Р 50992- 2019. Автомобильные транспортные средства. Климатическая безопасность. Технические требования и методы испытаний : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 октября 2019 г. №1165-ст : взамен ГОСТ Р 50992–96 : дата введения 2020–05–01 / разработан ФГУП «НАМИ». – Москва : Стандартинформ, 2019. – 27 с.
5. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 июня 2016 г. № 654-ст : дата введения 2017–03–01 / разработан ООО «ИНМиТ». – Москва : Стандартинформ, 2016. – 29 с.
6. Судак, Ф. М. Влияние эксплуатационных, транспортных и технологических факторов на надежность АТС при их эксплуатации в условиях низких температур / Ф. М. Судак, И. Ф. Воронина, Ф. В. Молозин // Актуальные проблемы науки и техники. 2023 : материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 15–17 марта 2023 года / ответственный редактор Н. А. Шевченко. – Ростов-на-Дону, 2023. – С. 596 – 597. – Текст : электронный. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54103247&ysclid=m2eztfqmbb728573186> .

И. Ф. Воронина, Ф. М. Судак, Ф. В. Молозин
Автомобильно-дорожный институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Донецкий национальный технический университет» в г. Горловка
Расчет критериев оценки эксплуатационной надежности автомобиля КАМАЗ-65222-38
в условиях низких отрицательных температур

На современном этапе эксплуатации автомобилей в различных условиях, особенно при низких отрицательных температурах, важнейшей задачей является обеспечение их эксплуатационной надежности.

Сложность конструкций автомобилей и возросшие требования к ним привели к тому, что обеспечение их надежности стало критически важным. Автотранспортные средства, не соответствующие высоким стандартам надежности и потребительским характеристикам, теряют конкурентоспособность.

Ненадежный автомобиль не способен эффективно функционировать, так как каждый его отказ влечет значительные материальные потери и может привести к дорожно-транспортным происшествиям. Это особенно критично при эксплуатации в условиях низких отрицательных температур, где снижение надежности может поставить под угрозу человеческие жизни. В качестве подконтрольных автомобилей была проведена выборка группы автомобилей-самосвалов КАМАЗ-65222-38, которые выполняли обычную транспортную работу в поселке Ямбург, в условиях Крайнего Севера.

Рассчитаны критерии фактической надежности в условиях низких отрицательных температур для дальнейшей разработки рекомендаций по обслуживанию и ремонту автомобилей.

КАМАЗ-65222-38, ВЕРОЯТНОСТЬ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ, ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ, ДИСПЕРСИЯ ЧИСЛА ОТКАЗОВ, СРЕДНЕВЗВЕШЕННАЯ ВЕЛИЧИНА ОТКАЗОВ, СРЕДНИЙ ПРОБЕГ В ИНТЕРВАЛЕ

I. F. Voronina, F. M. Sudak, F. V. Molozin
Automobile and Road Institute (Branch) of the Federal State Budget Educational Institution
of Higher Education «Donetsk National Technical University» in Gorlovka
Assessment Criteria Calculation of the KAMAZ-65222-38 Operational Reliability
in Conditions of Low Negative Temperatures

At the current stage of the vehicle operation in various conditions, especially at low negative temperatures, the most important task is to ensure their operational reliability.

The complexity of vehicle designs and increased requirements for them have led to the fact that ensuring their reliability has become critical. The vehicles that do not meet high standards of reliability and consumer characteristics lose their competitiveness.

An unreliable car is unable to function effectively, since each failure entails significant material losses and can lead to road accidents. This is especially critical when operating in low-freezing temperatures, where reduced reliability can put human lives at risk.

A group of KAMAZ-65222-38 dump trucks, which performed routine transport work in the village of Yamburg, in the conditions of the Far North, was sampled as control vehicles. The criteria of actual reliability under conditions of low negative temperatures are calculated for the further development of recommendations for vehicle maintenance and repair.

KAMAZ-65222-38, FAULT-FREE OPERATION PROBABILITY, FAILURE RATE, FAILURE NUMBER DISPERSION, AVERAGE MILEAGE IN THE INTERVAL, FAILURE WEIGHTED AVERAGE VALUE

Сведения об авторах:

И. Ф. Воронина

Телефон: +7 949 425-11-65

Эл. почта: voronina.adi@mail.ru

Ф. М. Судак

Телефон: (+7 8564) 55-29-82

Эл. почта: fmsudak@mail.ru

Ф. В. Молозин

Телефон: (+7 8564) 55-29-60

Эл. почта: molozin88@mail.ru

Статья поступила 21.08.2024

© И. Ф. Воронина, Ф. М. Судак, Ф. В. Молозин, 2024

Рецензент: С. В. Никульшин, канд. техн. наук, доц.

*Автомобильно-дорожный институт
(филиал) ДонНТУ в г. Горловка*