

## ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ УСЛОВИЙ НА ПАРАМЕТР ПОТОКА ОТКАЗОВ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ КАМАЗ-43118

А. С. Гусельников<sup>1</sup>, Н. С. Захаров<sup>2</sup>

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

<sup>1</sup> e-mail: andrey45-45@mail.ru

<sup>2</sup> e-mail: zakharov\_ns@mail.ru

**Аннотация.** Надёжность двигателя в большой степени зависит от технического состояния топливной аппаратуры. Известно, что эффективность автомобилей зависит от условий эксплуатации, которые меняются в течение сезонов года.

Целью исследования является установление влияния сезонных условий эксплуатации на параметр потока отказов элементов системы питания двигателей автомобилей КАМАЗ-43118. В статье представлен фрагмент результатов исследований. Для решения поставленной цели в теоретической части рассмотрены факторы, влияющие на надёжность исследуемой системы. Из анализа источников установлено, что со сменой сезона года на систему питания существенно влияют дорожные и транспортные условия, природно-климатические факторы. В связи с этим выдвинута гипотеза исследования: природно-климатические факторы существенно влияют на надёжность системы питания двигателей автомобилей КАМАЗ-43118.

На первом этапе экспериментальных исследований выполнена обработка статистических данных о наработках на отказ системы питания двигателей автомобилей КАМАЗ-43118, выявлены элементы системы с наибольшим количеством отказов. На втором этапе установлено влияние температуры воздуха на параметр потока отказов элементов системы питания двигателей автомобилей КАМАЗ-43118. С помощью корреляционного анализа доказана значимость сезонных изменений природно-климатических факторов. На третьем этапе предложена методика использования полученных данных для корректирования объёма запасных частей и материалов на складе. Научная новизна исследований заключается в установлении закономерностей влияния температуры воздуха на параметр потока отказов элементов топливной аппаратуры автомобилей КАМАЗ-43118. Практическая значимость состоит в возможности использования результатов исследования в разработке методики оптимизации объёма запасных частей и материалов на складе. Дальнейшие исследования будут направлены на повышение надёжности системы питания с учётом сезонных условий эксплуатации путём корректирования периодичности ТО.

**Ключевые слова:** надёжность, топливная аппаратура, система питания двигателя, КАМАЗ-43118, турбокомпрессор, распылитель форсунки, топливный насос высокого давления, автомобиль, условия эксплуатации, температура воздуха.

**Для цитирования:** Гусельников А. С., Захаров Н. С. Влияние сезонных условий на параметр потока отказов элементов системы питания двигателей автомобилей КАМАЗ-43118 // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – № 2. – С. 111–120, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-2-111>.

Original article

## INFLUENCE OF SEASONAL CONDITIONS ON THE FAILURE RATE PARAMETER OF ELEMENTS OF THE KAMAZ-43118 ENGINE POWER SUPPLY SYSTEM

A. S. Guselnikov<sup>1</sup>, N. S. Zakharov<sup>2</sup>

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

<sup>1</sup> e-mail: andrey45-45@mail.ru

<sup>2</sup> e-mail: zakharov\_ns@mail.ru

**Abstract.** The reliability of the engine largely depends on the technical condition of the fuel equipment. It is known that the efficiency of cars depends on the operating conditions that change during the seasons of the year.

The aim of the study is to establish the influence of seasonal operating conditions on the parameter of the

failure rate of elements of the power supply system of KAMAZ-43118 car engines. The article presents a fragment of the research results. To achieve this goal, the theoretical part considers the factors affecting the reliability of the system under study. From the analysis of sources, it was found that with the change of the season of the year, road and transport conditions, natural and climatic factors significantly affect the food system. In this regard, the hypothesis of the study is put forward: natural and climatic factors significantly affect the reliability of the power supply system of KAMAZ-43118 car engines.

At the first stage of experimental studies, statistical data on the operating time for failure of the power supply system of KAMAZ-43118 cars were processed, the elements of the system with the greatest number of failures were identified. At the second stage, the influence of air temperature on the parameter of the failure flow of the elements of the power supply system of KAMAZ-43118 car engines was established. With the help of correlation analysis, the significance of seasonal changes in natural and climatic factors is proved. At the third stage, a methodology for using the obtained data to adjust the volume of spare parts and materials in the warehouse is proposed. The scientific novelty of the research is to establish the regularities of the influence of air temperature on the parameter of the failure flow of fuel equipment elements of KAMAZ-43118 vehicles. The practical significance lies in the possibility of using the results of the study in the development of a methodology for optimizing the volume of spare parts and materials in the warehouse. Further research will be aimed at improving the reliability of the power supply system taking into account seasonal operating conditions by adjusting the frequency of maintenance.

**Key words:** reliability, fuel equipment, engine power system, KAMAZ-43118, turbocharger, nozzle sprayer, high-pressure fuel pump, car, operating conditions, air temperature.

**Cite as:** Guselnikov, A. S., Zakharov, N. S. (2023) [Influence of seasonal conditions on the failure rate parameter of elements of the KAMAZ-43118 engine power supply system]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 2, pp. 111–120, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-2-111>.

### Введение

Автомобиль является одним из ключевых видов транспортных средств, так как имеет ряд преимуществ перед другими. По данным Минтранса за I квартал 2022 года на долю автотранспорта пришлось порядка 77,5% перевезенных грузов. По сравнению с началом 2020 года объём перевозок увеличился на 7,4%<sup>1</sup>. Повышение спроса ведет к увеличению наработок и, следовательно, к росту количества отказов, обостряется проблема обеспечения надёжности эксплуатируемых автомобилей.

Из анализа работ авторов, рассматривающих проблему обеспечения надёжности [1, 8, 9, 13, 14, 16, 19, 22, 26, 27, 23, 25, 24], известно, что надёжность автомобиля закладывается при проектировании и производстве, реализуется при эксплуатации.

На стадии эксплуатации для обеспечения эффективности автомобилей возможно повысить надёжность системы питания автомобильных дизельных двигателей путем соблюдения сроков проведения ТО, но это не всегда возможно, так как автомобили могут эксплуатироваться на большом расстоянии от мест технического обслуживания. Организация проведения ТО на местах эксплуатации автомобилей в отрывах от постоянных баз повысит надёжность элементов системы питания, но при этом данная мера увеличит затраты.

Для повышения эффективности автомобилей необходимо найти причины снижения уровня

надёжности систем автомобиля. Известно, что эффективность автомобилей зависит от условий эксплуатации, которые меняются в течение сезона года. Для реализации заложенного качества автомобилей следует учесть их переменный характер [11].

Для решения данной проблемы необходимо установление влияния сезонных условий эксплуатации на параметр потока отказов элементов системы питания двигателей автомобилей КАМАЗ-43118.

Задачи исследования, решаемые в рамках данной статьи:

- 1) установить фактические наработки на отказ элементов системы питания;
- 2) установить фактические значения параметра потока отказов по месяцам;
- 3) оценить значимость сезонных изменений параметра потока отказов системы питания.

В данной статье представлен фрагмент результатов исследований.

### Теоретические исследования

Анализ ранее выполненных исследований [3, 4, 5, 6, 14, 19, 20, 21] показал наличие большого количества факторов, которые оказывают влияние на надёжность системы питания автомобильных дизельных двигателей.

Кузнецов Е. С. [13, 14] выделяет следующие группы факторов:

- дорожные условия;
- условия движения;

<sup>1</sup> ТРАНСПОРТ РОССИИ. Информационно-статистический бюллетень. Январь-март 2022 года. // Официальный Интернет-ресурс Министерства транспорта Российской Федерации: [сайт]. – 2010 – 2020. – URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/7/11885> (дата обращения: 15.11.2022).

- природно-климатические и сезонные условия;
- транспортные условия.

Проников А. С. [19] рассматривает в своём исследовании внешние (окружающая среда, человек) и внутренние (рабочие процессы автомобиля) воздействия, которым подвергаются эксплуатируемые автомобили.

Ко всем вышеперечисленным факторам в своей работе Газарян А. А. [7] относит дополнительно следующие факторы, влияющие на надёжность: дефекты конструкции, рациональную организацию технической эксплуатации автомобилей на АТП, способы хранения автомобилей.

Вохмин Д. М. [2, 4, 5, 6] относит к значимым факторам следующие: интенсивность эксплуатации автомобиля, природно-климатические и дорожные

условия, квалификацию водителей, возрастную структуру парка автомобилей.

Мусин К. С. и соавторы [17] выделяют следующие факторы, которые снижают уровень надёжности: некачественные материалы, нарушение технологии производства, недостаточный контроль качества, неудовлетворительные испытания, квалификация водителей и обслуживающего персонала, качество ГСМ, температурные режимы.

Попцов В. В. [18] связывает понижение надёжности со следующими основными факторами: интенсивность эксплуатации и природно-климатические условия (низкую температуру воздуха).

Для проведения дальнейшего анализа факторы, рассмотренные выше, необходимо систематизировать и классифицировать (рисунок 1).



Рисунок 1. Факторы, влияющие на надёжность системы питания автомобильных дизельных двигателей  
Источник: разработано авторами

Подводя итог анализа источников, можно сделать вывод, что проблема обеспечения надёжности системы питания автомобильных двигателей не в полной мере изучена, так как большинство исследователей рассматривают факторы, влияющие на надёжность в целом на все системы автомобилей, но не отдельно по системам.

Известно, что со сменой сезона года на надёжность системы питания существенно влияют дорожные и транспортные условия, а также природно-климатические факторы [11].

Из ранее выполненных исследований [2, 11, 12, 15] установлено, что существенно на надёжность автомобилей влияют климатические факторы (температура воздуха, количество осадков, давление, влажность и др.). Ввиду корреляции между природно-климатическими факторами принято учитывать наиболее значимый [11]. В данном исследовании рассматривается среднемесячная температура воздуха в течение года.

Надёжность двигателя в большой степени зависит от технического состояния топливной аппаратуры. Первая задача исследования – рассчитать основные статистические характеристики распределений наработок на отказ элементов системы питания двигателей автомобилей КАМАЗ-43118 – решается оценкой фактической надёжности топливной аппаратуры. Предполагается, что наработки на отказ имеют существенную вариацию и подчиняются закону Вейбулла, так как относятся к закономерностям изменения качества автомобилей по наработке типа 1 ( $Y_{\min}; +\infty$ ) [11].

Вторая задача решается сопоставлением среднего значения параметра потока отказов по каждому месяцу со среднемесячной температурой воздуха.

Для решения заключительной задачи установлены закономерности изменения параметра потока отказов в течение года. Гипотеза: предполагается, что параметр потока отказов существенно меняется в течение года.

**Экспериментальные исследования**

Первая часть экспериментальных исследований заключается в обработке статистических данных о наработках на отказ системы питания двигателей автомобилей КАМАЗ-43118. Установлено, что наибольшее количество отказов имеют турбоком-

прессор, топливная форсунка, топливный насос высокого давления (ТНВД). Для оценки фактической надёжности произведен расчёт основных статистических характеристик наработок на отказ элементов системы питания двигателей автомобилей КАМАЗ-43118 (таблица 1).

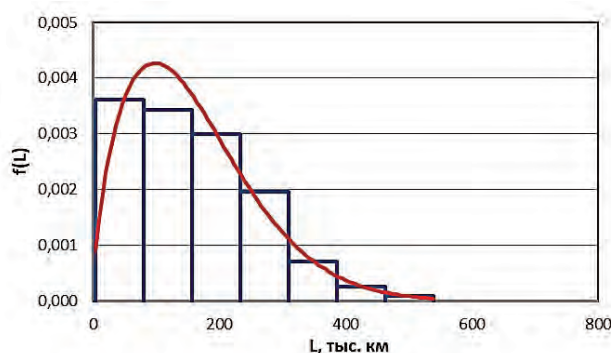
Таблица 1. Основные статистические характеристики распределений наработок на отказ элементов системы питания автомобиля КАМАЗ-43118

Наименование параметра	Значение		
	Турбокомпрессор	Распылитель форсунки	ТНВД
Закон распределения	закон Вейбулла	закон Вейбулла	закон Вейбулла
Объем выборки	293	675	468
Минимальное значение (тыс.км)	4,12	5,76	4,70
Максимальное значение (тыс.км)	539,09	534,05	591,21
Выборочное среднее (тыс.км)	159,45	123,83	157,02
Среднее квадратическое отклонение среднего	6,01	3,32	4,57
Дисперсия	10583,81	7458,94	9776,55
Среднее квадратическое отклонение	102,88	86,37	98,88
Коэффициент вариации	0,645	0,697	0,630
Коэффициент асимметрии	0,716	1,112	0,806
Коэффициент эксцесса	0,032	1,300	0,468
Статистика Пирсона:			
нормальный закон	0,981	5,530	2,416
логнормальный закон	1,082	1,265	3,925
закон Вейбулла	0,115	0,142	0,304
ГР-закон	4,971	1,096	2,332
Вероятность соответствия закону распределения	0,950	0,950	0,950
Параметры закона Вейбулла:			
$\alpha =$	1,611	1,481	1,654
$\beta =$	4239,7092	1462,4645	5178,7347

Источник: разработано авторами

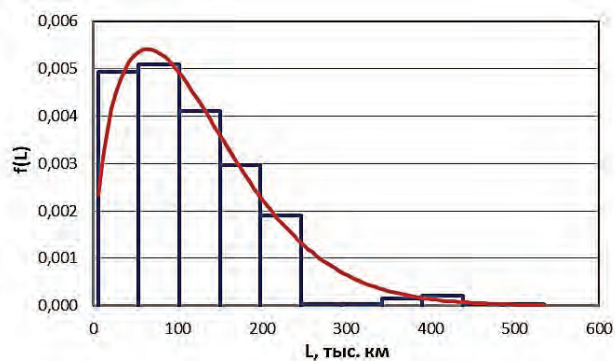
Закон распределения во всех рассмотренных случаях соответствует закону Вейбулла (по критерию Пирсона вероятности соответствия закону более 0,95).

Далее были построены графики распределения наработок на отказ элементов топливной аппаратуры (рисунок 2).

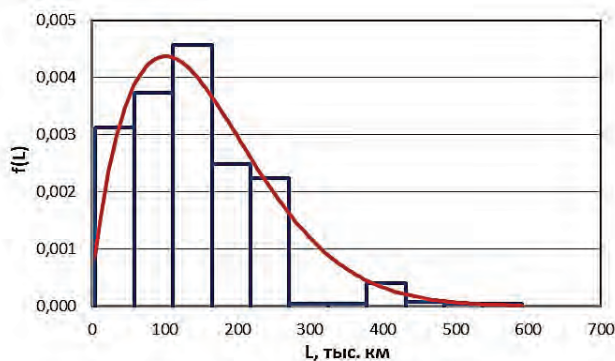


а)





б)



в)

Рисунок 2. Распределения наработок на отказ элементов топливной аппаратуры: а) турбокомпрессор; б) топливная форсунка; в) ТНВД

Источник: разработано авторами

Далее установлено влияние температуры окружающего воздуха на параметр потока отказов (рисунок 3). На графике хорошо прослеживается уве-

личение количества отказов элементов топливной аппаратуры с понижением температуры воздуха.

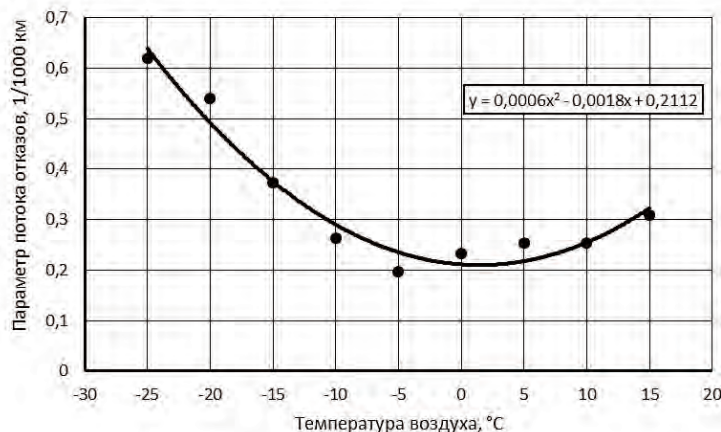


Рисунок 3. Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов элементов системы питания двигателей автомобилей КАМАЗ-43118

Источник: разработано авторами

На следующем этапе исследований необходимо проверить значимость сезонного изменения пара-

метра потока отказов элементов системы питания от температуры воздуха [11]. При моделировании

использованы гармонические модели изменения параметра потока отказов по времени.

Влияние сезонных условий на параметр потока отказов считалось значимым, если он имел статистически значимую корреляционную связь с линеа-

ризованной первой гармоникой (период – один год). Расчеты показали, что указанный коэффициент корреляции составляет 0,5778. Расчетное значение t-статистики Стьюдента для него превышает табличное значение с вероятностью более 0,95 (таблица 2).

Таблица 2. Статистическая характеристика гармонической модели

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	$r$	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,19	9,29	0,3339	0,5778	2,24	2,23
2	0,19	7,15	0,3208	0,5664	2,17	2,23
3	0,14	6,37	0,1765	0,4201	1,46	2,23
4	0,12	4,63	0,1375	0,3708	1,26	2,23
5	0,04	7,36	0,0131	0,1145	0,36	2,23

Источник: разработано авторами

В ходе исследования выяснилось, что первая гармоника (с периодом колебаний в один год) (рисунок 4) статистически значима, соответственно

можно сделать вывод, что сезонные колебания являются существенными (рисунок 5).

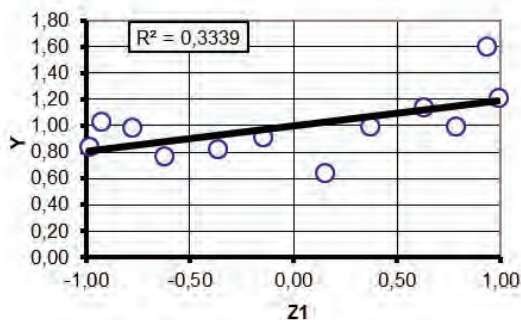


Рисунок 4. Линеаризованная первая гармоника

Источник: разработано авторами

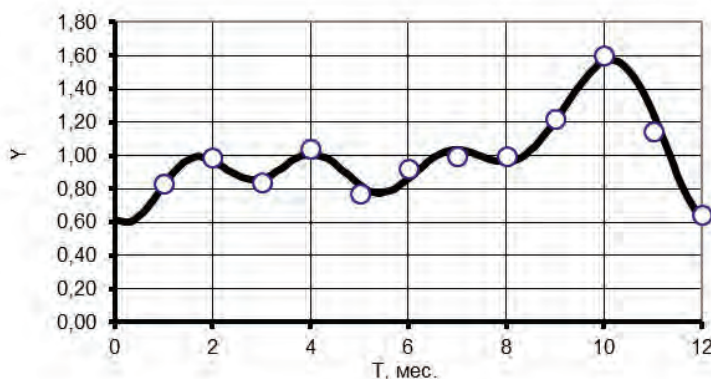


Рисунок 5. Изменение в течение года параметра потока отказов элементов системы питания автомобиля КАМАЗ-43118

Источник: разработано авторами

Для сокращения времени простоя автомобилей в ожидании материалов и запасных частей предла-

гается в планировании потребности в ресурсах  $N$  учитывать сезонные условия эксплуатации:

$$N_i = H \cdot T_i \cdot \sum_{j=1}^{A_c} l_{ji} \cdot K,$$

где

$H$  – норма расхода запасных частей и материалов на километр пробега автомобиля;

$l_{ji}$  – интенсивность эксплуатации  $j$ -го автомобиля за  $i$ -й период;

$A_c$  – списочное количество автомобилей;

$K$  – корректирующий коэффициент учёта сезонных условий эксплуатации [10].

Корректирующий коэффициент учёта сезонных условий эксплуатации для планирования потребности в запасных частях по месяцам находится:

$$K = 12 \cdot \frac{n_i(t)}{\sum_{j=1}^{12} n_j(t)},$$

где

$n_i, n_j$  – интенсивности расходования запасных частей и материалов данного вида [10].

Рекомендованные значения корректирующего коэффициента корректирования для учёта условий эксплуатации в зависимости от среднемесячной

температуры воздуха г. Новый Уренгой представлены в таблице 3 [10].

Таблица 3. Значения корректирующего коэффициента для планирования потребности в запасных частях по месяцам для г. Нового Уренгоя

Месяц	Значения корректирующего коэффициента
Январь	1,38
Февраль	1,25
Март	1,04
Апрель	0,95
Май	0,81
Июнь	0,76
Июль	0,72
Август	0,76
Сентябрь	0,81
Октябрь	0,87
Ноябрь	1,04
Декабрь	1,25

Источник: разработано авторами

### Заключение

На основе изложенного можно сделать вывод о доказанности гипотезы о влиянии температуры воздуха на надёжность системы питания автомобильных дизельных двигателей.

Расчёт основных статистических характеристик системы питания двигателей автомобилей КАМАЗ-43118 выявил, что наработки на отказ исследуемых элементов системы питания имеют существенную вариацию и подчиняются закону Вейбулла.

Установлено, что при низких температурах воздуха количество отказов элементов топливной аппаратуры увеличивается.

Дана оценка значимости сезонных изменений параметра потока отказов системы питания двигателей автомобилей КАМАЗ-43118 от температуры воздуха. Выявлено, что сезонные колебания являются существенными.

Полученные результаты исследований могут быть использованы при разработке методики корректирования объема запасных частей на складе.

Дальнейшие исследования будут направлены на повышение надёжности системы питания с учётом сезонных условий эксплуатации путём корректирования периодичности ТО.

### Литература

1. Авдонькин Ф. Н. Изменение технического состояния автомобиля в процессе эксплуатации: монография. – Саратов: Изд-во СГУ, 1973. – 191 с.
2. Влияние сезонной вариации факторов на интенсивность расходования ресурсов при эксплуатации

транспортно-технологических машин / Н. С. Захаров [и др.] // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2006. – № 1. – С. 75–79. – EDN: GZQEUBU.

3. Вохмин Д. М. Влияние режимов работы автомобилей на надежность топливной аппаратуры дизельных двигателей: дис. ... канд. техн. наук. – Тюмень, 2005. – 212 с. – EDN: NNPКСВ.

4. Вохмин Д. М. Направления повышения надежности системы топливоподачи дизеля // Эксплуатация и обслуживание транспортно-технологических машин: межвузовский сборник научных трудов. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2005. – С. 40–46. – EDN: TPAGEZ.

5. Вохмин Д. М., Захаров Н. С. Влияние условий работы автомобиля на надежность форсунок дизельного двигателя // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 6. – С. 123–126. – EDN: THHLOL.

6. Вохмин Д. М., Захаров Н. С. Влияние условий работы на надежность форсунок // Эксплуатация и обслуживание транспортно-технологических машин: межвузовский сборник научных трудов. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2005. – С. 52–56. – EDN: TOZNGH.

7. Газарян А. А. Техническое обслуживание автомобилей. – Москва: Транспорт, 1989. – 255 с.

8. Григорьев М. А., Далецкий В. А. Обеспечение надежности двигателей. – Москва: Изд-во стандартов, 1979. – 323 с.

9. Ждановский Н. С., Николаенко А. В. Надежность и долговечность автотракторных двигателей. – Ленинград: Колос, 1975. – 223 с.

10. Захаров Н. С., Абакумов Г. В., Вознесенский А. В. Влияние сезонных условий на расходование ресурсов при эксплуатации автомобилей. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – 115 с. – EDN: QVGMБN.

11. Захаров Н. С. Моделирование процессов изменения качества автомобилей: монография. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – 127 с. – EDN: RXJTFB.

12. Захаров Н. С., Абакумов Г. В., Ракитин А. Н. Взаимосвязь между климатическими факторами // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 1. – С. 26–29. – EDN: SCHQOH.

13. Кузнецов Е. С. Обобщающие показатели эксплуатационной надежности автомобилей // Автомобильная промышленность. – 1968. – № 3. – С. 8–10.

14. Кузнецов Е. С., Андрианов Ю. В. Условия эксплуатации и надежность автомобилей // Автомобильная промышленность. – 1981. – № 1. – С. 8–9.

15. Мальцев Д. В., Пестриков С. А., Утробин В. Ю. Влияние условий эксплуатации на надежность грузовых автомобилей на базе шасси КамАЗ // Химия. Экология. Урбанистика. – 2019. – Т. 2019-2. – С. 129–133. – EDN: BYLOZF.

16. Матвиенко И. В., Ивашко В. С. Исследования надежности автомобилей в процессе их технической эксплуатации // Новости науки и технологий. – 2020. – № 2(53). – С. 30–37. – EDN: FQBPII.

17. Мусин К. С., Сабралиев Н. С., Адилбеков М. А. Исследование и повышение эксплуатационной надежности грузовых автомобилей // Вестник Алматинского технологического университета. – 2018. – № 3. – С. 75–81. – EDN: YLWEQP.

18. Попцов В. В. Влияние низких температур на надёжность двигателей автомобилей КАМАЗ-44108 // Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. – № 3. – С. 25–27. – EDN: ZSJRYV.

19. Проников А. С. Надежность машин. – Москва: Машиностроение, 1978. – 592 с.

20. Резник Л. Г. Научные основы приспособленности автомобилей к условиям эксплуатации: дис. ... док. техн. наук. – Тюмень, 1981. – 358 с.

21. Сапоженков Н. О., Макарова А. Н. Влияние сезонных условий на надежность элементов электрооборудования автомобилей // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 6. – С. 318–320. – EDN: THHMGX.

22. Хазов Б. Ф. Надежность строительных и дорожных машин. – Москва: Машиностроение, 1979. – 192 с.

23. Bimal Samanta, Sarkar Bijan, Mukherjee S. K. (2001). Reliability analysis of shovel machines used in an open cast coal mine. Mineral Resources Engineering, Vol. 10, No. 2, pp. 219–231, <https://doi.org/10.1142/S0950609801000610>.

24. Mlynarski S. (2016) Evolution of Machine Reliability and Life and Economics of Operational Use, Management and Production Engineering Review, Vol. 7, No. 4, pp. 76–85, <https://doi.org/10.1515/mper-2016-0038>.

25. Mouli C. et al. (2014) Reliability Modeling and Performance Analysis of Dumper Systems in Mining by KME Method, International Journal of Current Engineering and Technology, Special Is.-2, pp. 255–258, <https://doi.org/10.14741/Ijcet/Spl.2.2014.46>.

26. Ramesh Kumar A., Krishnan V. (2017). A Study on Reliability Analysis of Haul Trucks, International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology, Vol. 4, Is. 3, pp. 76–85, <https://doi.org/0.17148/IARJSET.2017.4317>.

27. Ramesh Kumar A., Krishnan V. (2016). A Study of Bulldozers in Reliability Analysis, International



### References

1. Avdonkin, F. N. (1973) *Izmeneniye tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobilya v protsesse ekspluatatsii* [Changing the technical condition of the car during operation]. Saratov: Publishing House of SSU, 191 p.
2. Zakharov, N. S. (2006) [Influence of seasonal variation of factors on the intensity of resource consumption in the operation of transport-technological machines]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Neft' i gaz* [Proceedings of higher educational institutions. Oil and gas]. Vol. 1, pp. 75–79. (In Russ.).
3. Vokhmin, D. M. (2005) *Vliyaniye rezhimov raboty avtomobiley na nadezhnost' toplivnoy apparatury dizel'nykh dvigateley: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Influence of vehicle operation modes on the reliability of diesel engine fuel equipment: dis. ... cand. tech. Sciences]. Tyumen, 212 p.
4. Vokhmin, D. M. (2005) [Directions for improving the reliability of the diesel fuel supply system]. *Ekspluatatsiya i obsluzhivaniye transportno-tekhnologicheskikh mashin: mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov* [Operation and maintenance of transport-technological machines: interuniversity collection of scientific papers]. Tyumen: Tyumen State Oil and Gas University, pp. 40–46. (In Russ.).
5. Vokhmin, D. M., Zakharov, N. S. (2014) [Influence of vehicle operating conditions on the reliability of diesel engine injectors]. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Povolzh'ya* [Scientific and technical bulletin of the Volga region]. Vol. 6, pp. 123–126. (In Russ.).
6. Vokhmin, D. M., Zakharov, N. S. (2005) [Influence of working conditions on the reliability of injectors]. *Ekspluatatsiya i obsluzhivaniye transportno-tekhnologicheskikh mashin: mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov* [Operation and maintenance of transport-technological machines: interuniversity collection of scientific papers]. Tyumen: Tyumen State Oil and Gas University, pp. 52–56. (In Eng.).
7. Ghazaryan, A. A. (1989) *Tekhnicheskoye obsluzhivaniye avtomobiley* [Car maintenance]. Moscow: Transport, 255 p.
8. Grigoriev, M. A., Doletsky, V. A. (1979) *Obespecheniye nadezhnosti dvigateley* [Ensuring the reliability of engines]. Moscow: Publishing House of Standards, 323 p.
9. Zhdanovskiy, N. S., Nikolaenko, A. V. (1975) *Nadezhnost' i dolgovechnost' avtotraktornykh dvigateley* [Reliability and durability of autotractor engines]. Leningrad: Kolos, 223 p.
10. Zakharov, N. S., Abakumov, G. V., Voznesensky, A. V. (2011) *Vliyaniye sezonnykh usloviy na raskhodovaniye resursov pri ekspluatatsii avtomobiley* [Influence of seasonal conditions on the expenditure of resources in the operation of automobiles]. Tyumen: Tsogu, 115 p.
11. Zakharov, N. S. (1999) *Modelirovaniye protsessov izmeneniya kachestva avtomobiley* [Modeling the processes of changing the quality of cars]. Tyumen: Tsogu, 127 p.
12. Zakharov, N. S., Abakumov, G. V., Rakitin, A. N. (2014) [Relationship between climatic factors]. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Povolzh'ya* [Scientific and technical bulletin of the Volga region]. Vol. 1, pp. 26–29. (In Russ.).
13. Kuznetsov, E. S. (1968) [General indicators of operational reliability of automobiles]. *Avtomobil'naya promyshlennost'* [Automotive industry]. Vol. 3, pp. 8–10. (In Russ.).
14. Kuznetsov, E. S., Andrianov, Yu. V. (1981) [Operating conditions and reliability of automobiles]. *Avtomobil'naya promyshlennost'* [Automotive industry]. Vol. 1, pp. 8–9. (In Russ.).
15. Maltsev, D. V., Pestrikov, S. A., Utrobin, V. Yu. (2019) [Influence of operating conditions on the reliability of trucks based on the KamAZ chassis]. *Khimiya. Ekologiya. Urbanistika* [Chemistry. Ecology. Urbanistics]. Vol. 2019–2, pp. 129–133. (In Eng.).
16. Matvienko, I. V., Ivashko, V. S. (2020) [Research on the reliability of vehicles in the process of their technical operation]. *Novosti nauki i tekhnologii* [News of science and technology]. Vol. 2 (53), pp. 30–37. (In Eng.).
17. Musin, K. S., Sabraliev, N. S., Adilbekov, M. A. (2018) [Research and improvement of the operational reliability of trucks]. *Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Almaty Technological University]. Vol. 3, pp. 75–81. (In Eng.).
18. Poptsov, V. V. (2021) [Influence of low temperatures on the reliability of engines of KAMAZ-44108 vehicles]. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Povolzh'ya* [Scientific and technical bulletin of the Volga region]. Vol. 3, pp. 25–27. (In Eng.).
19. Pronikov, A. S. (1978) *Nadezhnost' mashin* [Reliability of machines]. Moscow: Mashinostroenie, 592 p.
20. Reznik, L. G. (1981) *Nauchnyye osnovy prispособlennosti avtomobiley k usloviyam ekspluatatsii: dis. ... dokt. tekhn. nauk* [Scientific bases of adaptability of cars to operating conditions: dis. ... doc. tech. Sciences]. Tyumen, 358 p.
21. Sapozhenkov, N. O., Makarova, A. N. (2014) [Influence of seasonal conditions on the reliability of elements of electrical equipment of cars]. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Povolzh'ya* [Scientific and technical bulletin of the Volga region]. Vol. 6, pp. 318–320. (In Russ.).

22. Khazov, B. F. (1979) [Reliability of construction and road machines]. Moscow: Mechanical Engineering, 192 p.
23. Bimal, Samanta, Sarkar, Bijan, Mukherjee, S. K. (2001) Analysis of the reliability of excavating machines used in an open-pit coal mine. *Development of mineral resources*. Volume 10. No. 2, pp. 219–231, <https://doi.org/10.1142/S0950609801000610>. (In Eng.).
24. Mlynarski, S. (2016) Evolution of reliability and service life of machines and the economics of operational use. *Review of Management and Production Engineering*. Volume 7, No. 4, pp. 76–85, <https://doi.org/10.1515/mp-2016-0038>. (In Eng.).
25. Muli, S., Chamarti, S., Chandra, G. R., Anil Kumar V. (2014) Reliability modeling and performance analysis of dump truck systems in the mining industry by the KME method. *International Journal of Modern Engineering and Technology*, Special Issue.2, pp. 255–258, <http://Dx.Doi.Org/10.14741/Ijct/Spl.2.2014.46> (In Eng.).
26. Ramesh, Kumar A., Krishnan, V. (2017). Research on the Reliability Analysis of Dump Trucks, *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*. Volume 4, Is. 3, pp. 76–85, <https://doi.org/0.17148/IARJSET.2017.4317>. (In Eng.).
27. Ramesh, Kumar A., Krishnan, V. (2016) Bulldozer Research in Reliability Analysis, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. Volume 5, Is. 9, pp. 18830–18837, <https://doi.org/10.15680/IJRSET.2016.0509046>. (In Eng.).

**Информация об авторах:**

**Николай Степанович Захаров**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой сервиса автомобилей и технологических машин, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

**Author ID:** 325653, **ORCID ID:** 0000-0001-8415-0505

e-mail: zakharov\_ns@mail.ru

**Андрей Сергеевич Гусельников**, аспирант, научная специальность 2.9.5 Эксплуатация автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

**Author ID:** 1110666

e-mail: andrey45-45@mail.ru

**Вклад соавторов:**

**Захаров Н. С.** – общее научное руководство исследованием, консультирование по методике проведения исследования, оценка выполненных исследований.

**Гусельников А. С.** – установка фактической наработки на отказ элементов системы питания, определение фактического значения параметра потока отказов по месяцам, оценка значимости сезонных изменений параметра потока отказов системы питания.

Статья поступила в редакцию: 21.12.2022; принята в печать: 23.03.2023.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

**Information about the authors:**

**Nikolay Stepanovich Zakharov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Car Service and Technological Machines, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

**Author ID:** 325653, **ORCID ID:** 0000-0001-8415-0505

e-mail: zakharov\_ns@mail.ru

**Andrey Sergeevich Guselnikov**, postgraduate student, science specialty 2.9.5 Operation of motor transport, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

**Author ID:** 1110666

e-mail: andrey45-45@mail.ru

**Contribution of the authors:**

**Zakharov N. S.** – general scientific management of the research, consulting on the methodology of the research, evaluation of the research performed.

**Guselnikov A. S.** – setting the actual operating time for the failure of the power system elements, determining the actual value of the failure flow parameter by month, assessing the significance of seasonal changes in the failure flow parameter of the power system.

The paper was submitted: 21.12.2022.

Accepted for publication: 23.03.2023.

The authors have read and approved the final manuscript.