

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 629.083

doi: 10.30987/2782-5957-2024-2-40-48

## ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СКОРОСТИ НА ПАРАМЕТР ПОТОКА ОТКАЗОВ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ КАМАЗ-43118

Андрей Сергеевич Гусельников✉

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия  
andrey45-45@mail.ru

### Аннотация

Рассмотрен вопрос влияния режимов работы автомобиля на фактическую надёжность элементов топливной аппаратуры дизельных двигателей на примере автомобилей КАМАЗ-43118. Цель исследования - установление влияния эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов системы питания автомобилей КАМАЗ-43118. Задача: оценить изменения параметра потока отказов элементов системы питания в зависимости от эксплуатационной скорости автомобиля. Для этого выполнен расчёт основных статистических характеристик распределений наработок на отказ исследуемой системы, а также предложена и экспериментально подтверждена гипотеза о виде матема-

тической модели влияния эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов системы питания дизельных двигателей. Новизна: проведенные исследования позволят использовать заложенный ресурс автомобиля в более полном объеме. Для реализации максимально полного ресурса автомобилей и повышения фактической надёжности элементов системы питания предложена методика корректирования периодичности проведения технических воздействий над исследуемой системой.

**Ключевые слова:** надёжность, топливная аппаратура, эксплуатационная скорость, турбокомпрессор, форсунка, распылитель, бак.

Ссылка для цитирования:

Гусельников А.С. Влияние эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов системы питания двигателей автомобилей КАМАЗ-43118 / А.С. Гусельников // Транспортное машиностроение. – 2024. - №2. – С.40-48. doi: 10.30987/2782-5957-2024-2-40-48.

Original article

Open Access Article

## THE EFFECT OF OPERATING SPEED ON THE FAILURE FLOW OF THE POWER SYSTEM ELEMENTS OF KAMAZ-43118 ENGINES

Andrey Sergeevich Guselnikov✉

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia  
andrey45-45@mail.ru

### Abstract

The problem of the effect of operating modes on the actual reliability of fuel equipment elements of diesel engines is considered on the example of KAMAZ-43118. The study objective is to find out the effect of operational speed on the failure flow of the power supply system elements of KAMAZ-43118. The task is to evaluate the changes in failure flow of the power system elements depending on the operating speed of the vehicle. For this purpose, the calculation of the main statistical characteristics of the distributions of operation time for the system under study failure is performed, as well as a hypothesis about the form of a

mathematical model of the influence of operational speed on the failure flow of elements of the diesel engine power supply system is proposed and experimentally confirmed. The work novelty is that conducted research will make it possible to use the inherent resource of the vehicle more completely. In order to realize the fullest possible resource of vehicles and increase the actual reliability of the power system elements, a method is proposed to correct the frequency of technical influences on the system under study.

**Keywords:** reliability, fuel equipment, operational speed, turbocharger, nozzle, sprayer, tank.

## Введение

Как известно, ресурс автомобиля закладывается на стадии проектирования и производства, а реализуется в период эксплуатации [8]. Для реализации максимально полного ресурса необходима система технического обслуживания и ремонта автомобилей [10].

Однако, нормативная периодичность проведения технических воздействий над автомобилем, указанная заводом-изготовителем, не учитывает условия эксплуатации, что ведёт к снижению ресурса автомобиля и его систем. Ранее доказано, что природно-климатические условия существенно влияют на надёжность элементов топливной аппаратуры автомобильных дизельных двигателей [1].

Помимо природно-климатических условий на надёжность системы питания дизельных двигателей влияют режимы работы автомобиля, которые оказывают воздействие на интенсивность изменения технического состояния исследуемой системы [9].

Режим работы – это изменение нагрузок и скоростей движения во времени. Обычно под нагрузкой понимается перевозимый автомобилем груз, который учитываться в данном исследовании не будет. В то же время его скорость движения носит стохастический характер ввиду изменчивости транспортных условий. В связи с этим постоянное изменение скорости движения автомобиля вызывает в системе питания переменные напряжения, которые ускоряют изнашивание топливных элементов (сопряженных деталей, прецизионных пар и т.д.).

Для определения скоростного режима работы автомобилей используют ряд показателей: среднюю техническую скорость движения и среднюю эксплуатационную [3].

Средняя техническая скорость определяется отношением общего пробе-

га автомобиля к времени, при этом затраченное время будет зависеть от многих факторов: конструкции автомобиля, квалификации и возраста водителя, условий эксплуатации и т.д. [5].

Средняя эксплуатационная скорость движения определяется отношением общего пробега автомобиля к общему времени работы на линии, при этом учитывается время движения и простоя.

Таким образом среднюю эксплуатационную скорость можно приравнять к фактической скорости автомобиля, что позволит более точно рассмотреть физические процессы, происходящие в элементах системы питания автомобильных дизельных двигателей.

Цель исследования – установление закономерностей влияния эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов топливной системы двигателей автомобилей КАМАЗ-43118.

Задачи исследования:

1) установить поэлементно фактические наработки на отказ топливной аппаратуры дизельных двигателей;

2) установить фактические значения параметра потока отказов элементов топливной системы;

3) оценить изменения параметра потока отказов элементов системы питания в зависимости от эксплуатационной скорости автомобиля;

4) предложить методику практического использования полученных результатов исследований.

Объект исследований – надёжность системы питания автомобильных дизельных двигателей.

Предмет исследований – закономерности влияния эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов топливной аппаратуры двигателей автомобилей.

## Методы исследований

Доказано, что фактическая надёжность элементов топливной системы двигателя на стадии эксплуатации изменчива [1, 4, 6]. Отчасти, это связано с условиями эксплуатации, от которых зависит режим работы автомобилей.

Чтобы рассмотреть физические процессы, которые происходят в элементах системы питания дизельного двигателя на различных режимах работы, в данном исследовании будет рассматриваться эксплуатационная скорость автомобиля.

Предполагается, что при низких скоростях движения автомобиля и работе двигателя на холостом ходу число отказов элементов топливной аппаратуры будет увеличиваться. Это связано с тем, что количество оборотов коленчатого вала двигателя на единицу пути выше, соответ-

ственно, система питания в данном режиме работы будет находиться под значительной нагрузкой.

При увеличении скорости движения и достижение максимальных оборотов коленчатого вала количество отказов будет увеличиваться, так как нагрузка на систему питания станет максимальной.

В связи с этим можно выдвинуть предположение, что математическая модель влияния эксплуатационной скорости  $V_{Э}$  на параметр потока отказов  $\omega$  элементов топливной аппаратуры автомобильных дизельных двигателей будет иметь следующий вид (рис. 1):

$$\omega = c_2 V_{Э}^2 + c_1 V_{Э} + c_0, \quad (1)$$

где  $c_0$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  – эмпирические коэффициенты.

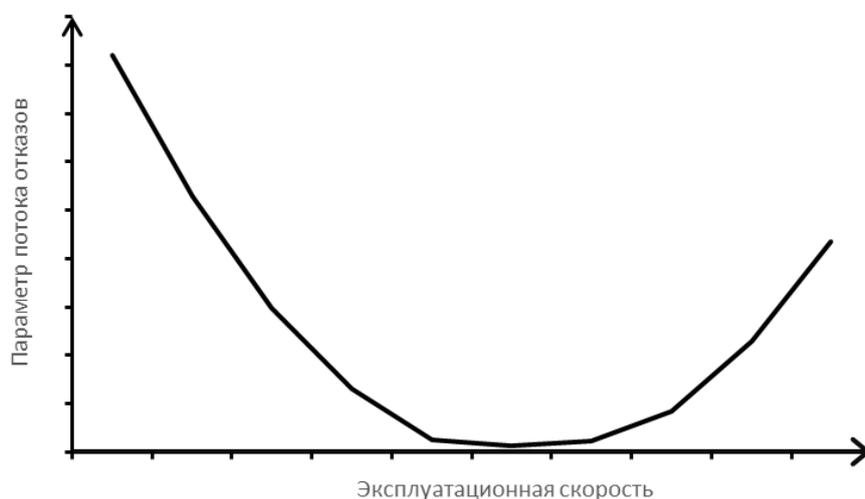


Рис. 1. Гипотеза о виде математической модели влияния эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов топливной системы автомобилей КАМАЗ-43118

*Fig. 1. Hypothesis about the form of a mathematical model of the effect of operational speed on the failure rate of the fuel system elements of KAMAZ-43118 vehicles*

Для проверки выдвинутых предположений проведены экспериментальные исследования, которые проводились поэтапно.

В ходе начальной фазы экспериментальных исследований была проведена оценка фактической надёжности топливной аппаратуры, применяемой в автомобилях модели КАМАЗ-43118. Выдвинем гипотезу: наработки на отказ элементов изучаемой системы подчиняются закону Вейбулла и имеют значительную вариацию [2, 3].

На втором этапе сопоставлены средние значения параметра потока отказов элементов топливной аппаратуры с эксплуатационной скоростью исследуемых автомобилей КАМАЗ-43118, проверена адекватность предложенной модели, определены численные значения ее параметров. Гипотеза: параметр потока отказов существенно зависит от эксплуатационной скорости автомобиля.

Для повышения фактической надёжности системы питания на заключительном этапе исследования предложена мето-

дика корректирования периодичности ТО системы питания дизельных двигателей,

которая позволит максимально реализовать ресурс автомобиля.

### Результаты исследований

В ходе первого этапа экспериментальных исследований проведен анализ статистических данных, касающихся работы системы питания автомобилей модели КАМАЗ-43118. Основное внимание было уделено элементам, которые наиболее часто подвергаются отказам: турбокомпрессору, топливным форсункам, распылителям форсунок, топливных насосов высокого и низкого давления (ТНВД и ТННД), топливному баку. С целью оценки фактической надежности, проведен расчет основных статистических характеристик, связанных с долговечностью элементов,

применяемых в системе питания двигателей автомобилей КАМАЗ-43118. Результаты данного эксперимента отражены в табл. 1 [2].

Исходя из табл. 1, во всех рассмотренных случаях эмпирический закон распределения соответствует закону Вейбулла (по критерию Пирсона вероятности соответствия закону составляет более 0,95).

Следующим шагом построены графики распределения наработок на отказ элементов топливной системы автомобилей КАМАЗ-43118 (рис. 2).

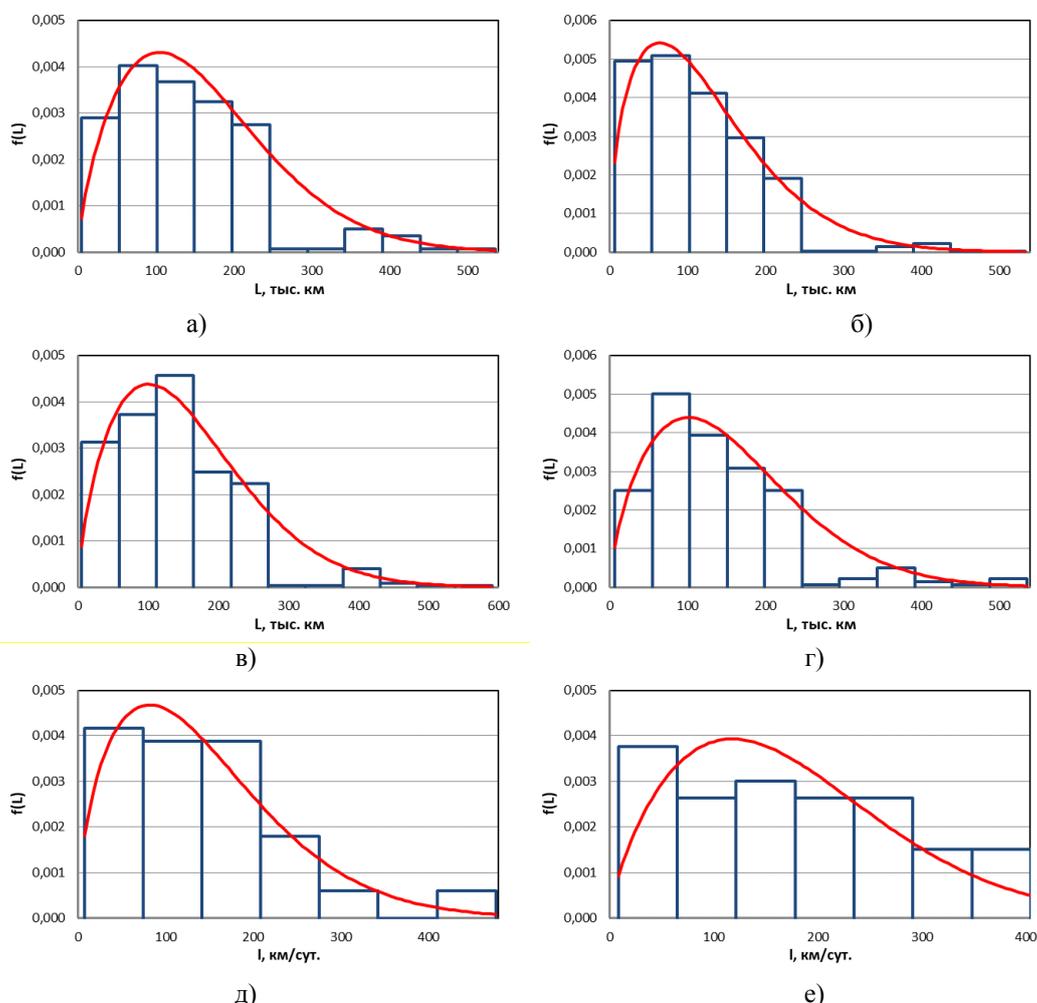


Рис. 2. Распределения наработок на отказ элементов топливной системы автомобилей КАМАЗ-43118: а – турбокомпрессор; б – распылитель форсунки; в – ТНВД; г – ТННД; д – топливная форсунка; е – топливный бак [2]

Fig. 2. Distribution of developments for failure of fuel system elements of KAMAZ-43118 cars: a) turbocharger; b) nozzle sprayer; c) Fuel injection pump; d) fuel injection pump; e) fuel injector; f) fuel tank [2]

Таблица 1  
 Основные статистические характеристики распределений наработок на отказ элементов топливной аппаратуры двигателей автомобилей КАМАЗ-43118

Table 1  
 The main statistical characteristics of the distributions of developments for the failure of fuel equipment elements of KAMAZ-43118 car engines

Наименование параметра	Значение						
	Топливная форсунка	ТНВД	Распылитель форсунки	ТННД	Топливный бак	Турбокомпрессор	
Эмпирический закон распределения	Вейбулла	Вейбулла	Вейбулла	Вейбулла	Вейбулла	Вейбулла	
Объем исследуемой выборки	50	468	675	290	47	293	
Мин. значение (тыс. км)	7,49	4,70	5,76	6,15	8,27	4,12	
Макс. значение (тыс. км)	477,02	591,21	534,05	536,09	404,71	539,09	
Выборочное среднее (тыс. км)	144,32	157,02	123,83	156,82	176,36	159,45	
Ср. квадратическое отклонение сред.	13,71	4,57	3,32	5,79	15,79	6,01	
Дисперсия	9396,03	9776,55	7458,94	9730,34	11717,61	10583,81	
Ср. квадр. отклонение	96,93	98,88	86,37	98,64	108,25	102,88	
Коэф. вариации	0,67	0,63	0,70	0,63	0,61	0,65	
Коэф. асимметрии	1,15	0,81	1,11	0,95	0,29	0,72	
Коэф. эксцесса	1,46	0,47	1,30	0,85	1,04	0,03	
Статистика Пирсона:							
– нормальный закон распределения	5,14	2,42	5,53	4,88	1,69	0,98	
– логнормальный закон распределения	1,36	3,93	1,27	2,43	5,92	1,08	
– закон Вейбулла распределения	1,03	0,30	0,14	0,43	0,95	0,12	
– TP – закон распределения	5,27	2,33	1,10	6218,23	8,64	4,97	
Вероятность соответствия закону распределения равна 0,95							
Параметры закона Вейбулла:							
$\alpha$	1,54	1,65	1,48	1,66	1,70	1,61	
$\beta$	2523,89	5178,74	1462,47	5211,74	8078,52	4239,71	

Во время последующего этапа экспериментальных исследований, были проведены вычисления статистических характеристик математической модели, представленной в теоретической части, чтобы проверить гипотезу о существенной зависимости параметра потока отказов от эксплуатационной скорости автомобиля. Численные значения параметров модели были определены при помощи метода наименьших квадратов (табл. 2)

Дисперсионное отношение Фишера во всех описанных случаях выше табличных значений  $F_{0,95}$ . Следовательно, квад-

ратичная модель адекватна экспериментальным данным для всех элементов системы питания двигателей автомобилей КАМАЗ-43118 с вероятностью, не ниже 0,95. Графический вид результатов эксперимента приведены на рис. 3.

Для реализации максимально полного ресурса автомобилей применяется система ТО и ремонта, но, как известно, нормативная периодичность проведения технических воздействий над автомобилем не всегда позволяет обеспечить заданный уровень фактической надёжности элементов топливной аппаратуры.

Таблица 2

Статистические характеристики математических моделей влияния эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов топливной системы автомобилей КАМАЗ-43118

Table 2

*Statistical characteristics of mathematical models of the effect of operational speed on the parameter of the failure flow of fuel system elements of KAMAZ-43118 vehicles*

Наименование показателя	Значения для моделей					
	Турбокомпрессор	ТНВД	ТННД	Топливная форсунка	Распылитель форсунки	Топливный бак
	Квадратичная	Квадратичная	Квадратичная	Квадратичная	Квадратичная	Квадратичная
Объем выборки	7	7	5	8	6	7
Коэффициент детерминации	0,9785	0,9400	0,9712	0,9029	0,9644	0,8892
Коэффициент корреляции	0,9892	0,9696	0,9855	0,9502	0,9821	0,9430
Дисперсионное отношение Фишера	91,2169	31,3489	33,7317	23,252	40,6855	16,0571
$F_{0,95}$	6,9443	6,9443	19,0000	5,7861	9,5521	6,9443

В связи с этим предлагается использовать следующую методику корректирования периодичности технического воздействия элементов топливной аппаратуры

двигателей автомобилей КАМАЗ-43118 [7]:

1. Найти вероятности отказа  $F(L)$  в рассматриваемом интервале наработок от  $L=0$  до  $L=L_{ТО}$  в точках  $L_1, L_2...L_m$ :

$$F(L_1) = \frac{1}{N}; F(L_2) = \frac{2}{N}; F(L_m) = \frac{m}{N}. \quad (2)$$

2. Аппроксимировать  $m$  пар значений  $L_i$  и  $F(L_i)$  уравнением регрессии и найти эмпирические коэффициенты  $A_0$  и  $A_1$ :

$$F(L) = A_0 e^{A_1 L}. \quad (3)$$

3. Определить периодичности ТО  $L_{ТО}$ :

$$L_{ТО} = (\ln(F(L)) - \ln(A_0)) / A_1. \quad (4)$$

В качестве примера рассмотрим корректирование периодичности проведения технического воздействия над турбокомпрессором автомобилей КАМАЗ-43118. В данном случае математическая модель будет иметь следующий вид:

$$F(L) = 0,1232 e^{0,1866L}. \quad (5)$$

Далее для повышения фактической надёжности турбокомпрессора автомоби-

лей КАМАЗ-43118 определим периодичность проведения диагностических работ для данного элемента системы питания,

$$T_{ТО} = (\ln(0,5) - \ln(0,1232)) / 0,1866 = 10,5 \text{ тыс. км.}$$

(6)

что позволит заранее предупредить появление отказа данного элемента:

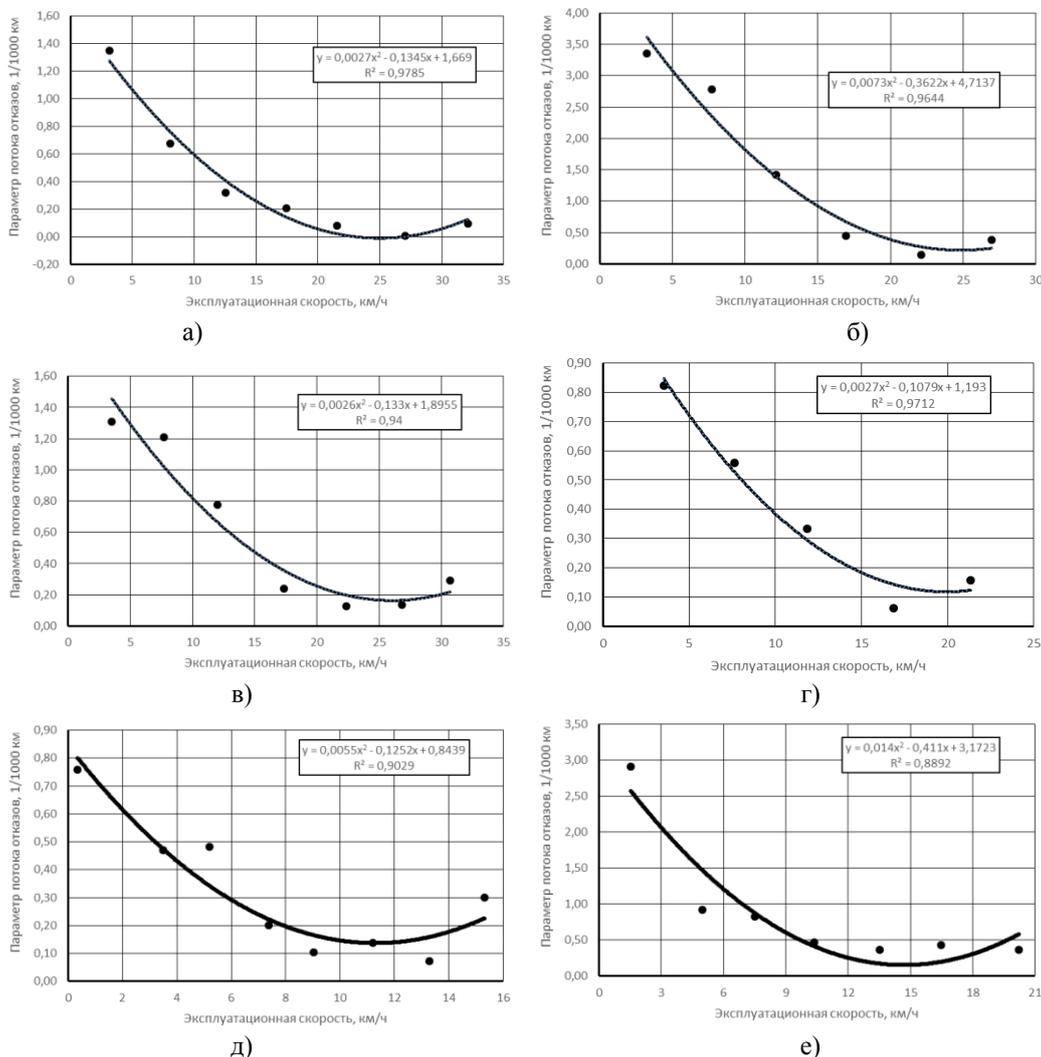


Рис. 3. Влияние эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов топливной аппаратуры двигателей автомобилей КАМАЗ-43118: а – турбокомпрессор; б – распылитель форсунки; в – ТНВД; г – ТННД; д – топливная форсунка; е – топливный бак

Fig. 3. The effect of operational speed on the parameter of the failure flow of fuel equipment elements of KAMAZ-43118 engines: a) turbocharger; b) nozzle sprayer; c) Fuel injection pump; d) fuel injection nozzle; e) fuel tank

## Заклучение

Таким образом, режимы работы автомобиля существенно влияют на фактическую надёжность элементов топливной системы дизельных двигателей.

В процессе эксперимента определены основные статистические характеристики распределений наработок на отказ элементов топливной системы автомобилей КАМАЗ-43118. Доказано, что эмпирические распределения подчиняются

закону Вейбулла и имеют существенную вариацию.

Экспериментально подтверждена гипотеза о виде математической модели влияния эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов системы питания дизельных двигателей.

Предложены пути повышения фактической надёжности элементов системы питания путем корректирования периодичности проведения технических воз-

действий над системой, что позволит максимально реализовать ресурс автомобиля. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку методики кор-

ректирования объема поставки запасных частей системы питания двигателей автомобилей.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Вохмин, Д. М. Влияние режимов работы автомобилей на надежность топливной аппаратуры дизельных двигателей : специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Вохмин Дмитрий Михайлович. Тюмень, 2005. 212 с.
2. Гусельников, А. С. Влияние сезонных условий на параметр потока отказов элементов системы питания двигателей автомобилей КАМАЗ-43118 / А. С. Гусельников, Н. С. Захаров // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2023. № 2. С. 111-120. – DOI 10.25198/2077-7175-2023-2-111.
3. Захаров, Н.С. Моделирование процессов изменения качества автомобилей [Текст] / Н.С. Захаров. Тюмень : ТюмГНГУ, 1999. 127 с.
4. Захаров, Н. С. Факторы, влияющие на надежность автомобилей-самосвалов при работе в условиях Западной Сибири / Н. С. Захаров, А. Акжол Уулу, С. А. Теньковская // Транспортное дело России. 2018. № 4. С. 130-132.
5. Захаров, Н. С. Формирования ресурса форсунок двигателей автомобилей КАМАЗ-5320 с учетом средней технической скорости эксплуатации / Н. С. Захаров, Д. М. Вохмин // Проблемы эксплуатации и обслуживания транспортно-технологических машин : Доклады международной научно-технической конференции, Тю-

- мень, 19 апреля 2006 года. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2006. С. 96-99.
6. Кулаков, А.Т. Эксплуатационная надежность КамАЗов / А.Т. Кулаков, И.А. Якубович // Автотранспортное предприятие, 2013. №3. С. 45-48.
7. Макарова, А.Н. Методика оперативного корректирования нормативов периодичности технического обслуживания с учетом фактических условий эксплуатации автомобилей: дис. канд. техн. наук. Оренбург, 2016. 208 с.
8. Матвиенко, И. В. Исследования надежности автомобилей в процессе их технической эксплуатации / И. В. Матвиенко, В. С. Ивашко // Новости науки и технологий. 2020. № 2(53). С. 30-37.
9. Мусин, К. С. Исследование и повышение эксплуатационной надежности грузовых автомобилей / К. С. Мусин, Н. С. Сабралиев, М. А. Адилбеков // Вестник Алматинского технологического университета. – 2018. – № 3. – С. 75–81.
10. Чооду, О. А. Обеспечение надежности транспортно-технологических машин в условиях эксплуатации / О. А. Чооду // Bulletin of Tuvan State University. 2019. № 4(54). С. 66-76. – DOI 10.24411/2077-6896-2019-10022.

## REFERENCES

1. Vokhmin DM. The influence of automobile operational modes on the reliability of the fuel system of diesel engines [dissertation]. [Tyumen (RF)]; 2005.
2. Guselnikov AS, Zakharov NS. Influence of seasonal conditions on the failure rate parameter of elements of KAMAZ-43118 engine power supply system. Intellect. Innovations. Investments. 2023;2:111-120. DOI 10.25198/2077-7175-2023-2-111.
3. Zakharov NS. Modeling of the processes to change car quality. Tyumen: TSOGU; 1999.
4. Zakharov NS, Akzhol Uulu, Tenkovskaya SA. Factors affecting the reliability of dump trucks when working in Western Siberia. Transport Business of Russia. 2018;4:130-132.
5. Zakharov NS, Vokhmin DM. Resource formation of KAMAZ-5320 engine injectors taking into account the average technical speed of operation. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference, Apr 19, 2006: Problems of Operation and Maintenance of Transport and Techno-

- logical Machines; Tyumen: Tyumen State Oil and Gas University; 2006.
6. Kulakov AT, Yakubovich IA. Operational reliability of KAMAZ. Avtotransportnoe Predpriyatie. 2013;3:45-48.
7. Makarova AN. Method of operational correction of maintenance frequency standards, taking into account the actual operating conditions of cars [dissertation]. [Orenburg (RF)]; 2016.
8. Matvienko IV, Ivashko VS. Studies of the reliability of cars during their technical operation. News of Science and Technology. 2020;2(53):30-37.
9. Musin KS, Sabraliev NS, Adilbekov MA. Research and improvement of operational reliability of trucks. The Journ of Almaty Technological University. 2018;3:75-81.
10. Choodu O A. Ensuring the reliability of transport and technological machines in operating conditions. Bulletin of Tuvan State University. 2019;4(54):66-76. DOI 10.24411/2077-6896-2019-10022.

### **Информация об авторе:**

**Андрей Сергеевич Гусельников** – аспирант кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта», Тюменский индустриальный университет,

направление подготовки: 23.06.01 Техника и технологии наземного транспорта, тел. 89829820701, AuthorID: 1110666.

**Andrey Sergeevich Guselnikov** – Assistant Professor of the Department of Motor Transport Operation, Industrial University of Tyumen; training direction:

06/23/2011 Ground Transport Engineering and Technology; phone: 89829820701, AuthorID: 1110666.

**Статья опубликована в режиме Open Access.  
Article published in Open Access mode.**

**Статья поступила в редакцию 10.01.2024; одобрена после рецензирования 23.01.2024; принята к публикации 26.01.2024. Рецензент – Антипин Д.Я., кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», директор учебно-научного института транспорта Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».**

**The article was submitted to the editorial office on 10.01.2024; approved after review on 23.01.2024; accepted for publication on 26.01.2024. The reviewer is Antipin D.Ya., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock, Director of the Educational and Scientific Institute of Transport at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.**