

Научная статья

УДК 656.13

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-88-97>

EDN: LIPRJC



МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ПУСКОВЫХ РЕЖИМОВ ДВС НА ИЗМЕНЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЯ

Н.А. Загородний¹, Ю.А. Заяц², А.С. Семькина¹ ✉¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород, Россия²Рязанское высшее воздушно-десантное командное ордена Суворова дважды
Краснознаменное училище имени генерала армии В.Ф. Маргелова,
г. Рязань, Россия✉ fantarock@mail.ru

✉ ответственный автор

АННОТАЦИЯ

Введение. В рамках решения актуальной задачи прогнозирования технических воздействий и остаточного ресурса в зависимости от наработки на эксплуатационных режимах представлена методика определения влияния пускового режима на изменение структурного параметра, определяющего надежность. Сущность данной методики и ее новизна состоит в совмещении двух полнофакторных экспериментов по определению влияния эксплуатационных режимов на изменение структурных параметров двигателя. Цель научного исследования – определение влияния пускового ДВС на изменение эксплуатационных характеристик двигателя.

Новизна статьи заключается в совмещении двух полнофакторных экспериментов по определению влияния эксплуатационных режимов на изменение структурных параметров двигателя, определяющих его надежность.

На надежность автомобиля (на отдельные свойства надежности или техническую готовность) влияют факторы: режимы эксплуатации, условия эксплуатации, качество запасных частей, квалификация, опыт водителей и т.д. Данные факторы показывают направление и степень влияния на автомобиль и его надежность (техническую готовность). В работе рассматривается влияние каждого фактора на надежность автомобиля.

Методы и материалы. Для определения влияния пускового режима двигателя внутреннего сгорания на изменение структурного параметра при прогнозировании требуется разработка методики определения влияния пусковых режимов двигателей внутреннего сгорания на изменение структурных параметров двигателя, определяющих его надежность. Данная методика предполагает проведение полнофакторного эксперимента при четырех факторах, т.е. 16 опытов. В качестве эксплуатационных режимов принимаются сочетания различных уровней факторов.

Для измерения величины влияния каждого фактора на надежность в статье рассматриваются их измеряемые величины – индикаторы фактора. Индикаторов на один фактор приходится от одного до нескольких. Значения индикаторов непостоянны, а изменяются в соответствии с изменением внешних воздействий (факторов). Индикаторы рассчитываются исходя из значений тех или иных показателей того направления влияющей среды, которое описывает конкретный индикатор.

Общая продолжительность испытаний принята равной ресурсу до капитального ремонта.

Результаты. Авторами предложена методика определения влияния пусковых режимов двигателей внутреннего сгорания на изменение структурных параметров двигателя, определяющих его надежность. Рассмотрены пусковые режимы ДВС и зависимость показателей свойств надежности от внешних факторов, влияющих на автомобиль в момент запуска двигателя. Установлено, что степень влияния факторов измеряется значениями их индикаторов.

Заключение. В результате использования предложенной методики определения влияния пусковых режимов двигателей внутреннего сгорания на изменение структурных параметров двигателя, определяющих его надежность, показывается принципиальная возможность комплексного подхода для определения влияния на структурные параметры, определяющие надежность, в процессе одной серии опытов как влияния эксплуатационных режимов, так и пусков двигателя, а также возможность определения влияния и экстремальных значений факторов на надежность.

© Загородний Н.А., Заяц Ю.А., Семькина А.С., 2024

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Таким образом, установлено, что расчет значений того или иного индикатора позволяет получить конечные значения составляющих надёжности (технической готовности). Индикаторы позволяют определять изменяемость факторов, влияющих на составляющие надёжности (техническую готовность).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пусковой режим, полнофакторный эксперимент, целевая функция, надёжность, факторы, индикаторы

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ: работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет-2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

Статья поступила в редакцию 07.12.2023; одобрена после рецензирования 06.02.2024; принята к публикации 20.02.2024.

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: Загородний Н.А., Заяц Ю.А., Семькина А.С. Методика определения влияния пусковых режимов ДВС на изменение эксплуатационных характеристик двигателя // Вестник СибАДИ. 2024. Т. 21, № 1. С. 88-97. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-88-97>

Origin article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-88-97>

EDN: LIPRJC

METHODOLOGY FOR DETERMINING EFFECT OF STARTING MODES OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE ON CHANGES IN ENGINE PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Nikolaii A. Zagorodnii¹, Yurii A. Zayats², Alla S. Semykina¹ ✉

¹V.G. Shukhov Belgorod State Technological University,
Belgorod, Russia

²General V.F. Margelov Ryazan Guards Higher Airborne twice Red Banner Order
of Suvorov Command School,
Ryazan, Russia

✉ fantarock@mail.ru

✉ corresponding author

ABSTRACT

Introduction. As part of solving the urgent problem of forecasting technical impacts and residual life depending on operating time, a method for determining the effect of the starting mode on a change in the structural parameter determining reliability is presented. The essence of this technique and its novelty consists in combining two full-factor experiments to determine the effect of operating conditions on changes in the structural parameters of the engine. The purpose of the scientific study is to determine the effect of the starting internal combustion engine on the change in the performance characteristics of the engine.

The novelty of the article lies in the combination of two full-factor experiments to determine the effect of operating conditions on changes in the structural parameters of the engine that determine its reliability.

The reliability of the car (individual reliability properties or technical readiness) is influenced by the following factors: operating modes, operating conditions, quality of spare parts, qualifications and experience of drivers, etc. These factors show the direction and degree of the influence on the car and its reliability (technical readiness). The paper examines the influence of each factor on the reliability of the car.

Methods and materials. To determine the effect of the starting mode of an internal combustion engine on a change in the structural parameter during forecasting, it is necessary to develop a methodology for determining the effect of the starting modes of internal combustion engines on changes in the structural parameters of the engine that determine its reliability. This technique involves conducting a full-factor experiment with four factors, i.e. 16 experiments. The combinations of different levels of factors are accepted as operational modes.

© Zagorodnii N.A., Zayats Y.A., Semykina A.S., 2024



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

To measure the magnitude of the influence of each factor on reliability, the article considers their measured values - indicators of the factor. There are from one to several indicators per factor. The values of the indicators are not constant, but change in accordance with changes in external influences (factors). Indicators are calculated based on the values of certain indicators of the direction of the influencing environment that a particular indicator describes. The total duration of the tests is assumed to be equal to the resource before major repairs.

Results. The authors propose a method for determining the effect of starting modes of internal combustion engines on changes in the structural parameters of the engine that determine its reliability.

The starting modes of the internal combustion engine and the dependence of reliability properties on external factors affecting the car at the time of engine start are considered. It is established that the degree of influence of factors is measured by the values of their indicators.

Conclusion. As a result of using the proposed methodology for determining the effect of starting modes of internal combustion engines on changes in the structural parameters of the engine that determine its reliability, the principal possibility of an integrated approach to determine the effect on the structural parameters that determine reliability in the course of one series of experiments of both the influence of operating modes and engine starts, as well as the possibility of determining the influence and extreme values of factors is shown for reliability.

Thus, the calculation of the values of one or another indicator enables to obtain the final values of the components of reliability (technical readiness). Indicators enables to determine the variability of factors affecting the components of reliability (technical readiness).

KEYWORDS: starting mode; full-factor experiment; objective function; reliability, factors; indicators

CONFLICT OF INTERESTS: The authors declare no conflict of interest.

ACKNOWLEDGMENT: This work was realized in the framework of the Program "Priority 2030" on the base of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. The work was realized using equipment of High Technology Center at BSTU named after V.G. Shukhov.

The article was submitted 07.12.2023; approved after reviewing 06.02.2024; accepted for publication 20.02.2024.

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. Zagorodnij N.A., Zayats Yu.A., Semykina A.S. Methodology for determining effect of starting modes of internal combustion engine on change in engine performance characteristics. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2024; 21 (1): 88-97. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-88-97>

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одним из основных показателей, характеризующих эффективность управления парком машин, является показатель технической готовности. Данный показатель универсален для большинства парков машин вне зависимости от их разновидностей и назначения и удобен в расчете. В целях совершенствования методов прогнозирования и управления парком, совершенствования методики принимаемых управленческих решений и анализа их эффективности на всех стадиях необходим анализ факторов, влияющих на показатель технической готовности, а также присвоение этим факторам определенных индикаторов и придание данным индикаторам весового значения относительно группы подобных индикаторов, а также выявление закономерностей корреляции индикаторов с показателем технической готовности.

В работе [1] рассмотрено решение первой задачи прогнозирования технического состояния транспортных средств, отличительной

особенностью которой является то, что целевые функции, в качестве которых выступают структурные параметры, измеряемы, а факторы удовлетворяют требованиям независимости, управляемости и сочетаемости. Решение задачи связано с нахождением уравнений регрессии, связывающих изменение целевых функций в зависимости от значений факторов. Отличительной особенностью метода является то, что в качестве факторов берутся только те, которые определяют эксплуатационный режим агрегата [2]. В частности, для основного агрегата – двигателя внутреннего сгорания, такими факторами являются:

- частота вращения коленчатого вала n , об/мин;
- температура охлаждающей жидкости T , °C;
- нагрузка двигателя (измеряемым параметром может быть также крутящий момент, положение рейки топливного насоса высокого давления для дизеля) N , кВт;
- температура окружающей среды, T_0 , °C.

Таблица 1
Сочетание уровней факторов
Источник: составлено авторами.

Table 1
Combination of factor levels
Source: compiled by the authors.

	Диапазоны изменения параметров		
	Нижний уровень	Основной уровень	Верхний уровень
Частота вращения коленчатого вала, n , об/мин	900	1400	1900
Температура охлаждающей жидкости, $T_{ож}$, °C	80	90	100
Нагрузка двигателя, N , %	25	50	75
Температура окружающей среды, $T_{окр}$, °C	-20	0	20

В качестве целевых функций принимаются те структурные параметры, которые определяют надежность агрегата [3].

Цель данной работы – определение влияния пускового ДВС на изменение эксплуатационных характеристик двигателя. Научная новизна заключается в совмещении двух полнофакторных экспериментов по определению влияния эксплуатационных режимов на изменение структурных параметров двигателя, определяющих его надежность.

Постановка задачи прогнозирования на основе эксплуатационных режимов и обоснование предпосылок ее решения выполнена авторами в работе [1, 4]. Но, как и в работе [3, 4], общая схема решения предполагала нахождение коэффициентов влияния эксплуатационного режима на структурный параметр методами решения систем линейных алгебраических уравнений при равенстве числа уравнений числу неизвестных.

Однако при такой постановке вопроса остается открытым вопрос о влиянии пусковых режимов и экстремальных значений факторов, определяющих эксплуатационный режим, на изменение отдельных структурных параметров [4, 5].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пусковой режим – это совокупность процессов, происходящих в ДВС в момент его запуска, с момента начала вращения коленчатого вала пусковым устройством (стартером) до момента установления устойчивых процессов сгорания топливовоздушной смеси, обеспечи-

вающих нарастание индикаторной мощности и разгона ДВС.

Структурный параметр – показатель, характеризующий свойство структуры, системы или ее элемента.

В этой работе рассмотрим методику определения влияния пусковых режимов на изменение структурных параметров. В данном случае структурными параметрами являются механические и тепловые, не уточняя, каких конкретно [6, 7, 8].

Испытания проводятся по плану полнофакторного эксперимента при четырех факторах, т. е. 16 опытов. В качестве эксплуатационных режимов принимаются сочетания уровней факторов, определенных в таблице 1. Эксперимент проводился на дизельных двигателях семейства КАМАЗ.

На каждом из 16 режимов устанавливается одинаковая продолжительность работы, исходя из условия измеримости изменения структурного параметра. Общую продолжительность испытаний целесообразно принять равной ресурсу до капитального ремонта. Так, пробег в 300 тыс. км можно принять эквивалентным 9500 тыс. ч [9]. При этом продолжительность одного опыта будет равна 600 ч. Это значение сильно зависит от типа транспортного средства и условий эксплуатации, поэтому выбор продолжительности одного испытания устанавливается исходя из условия измеримости изменения структурного параметра за эту наработку [7, 10]. Продолжительность запуска особенно в условиях низких температур оказывает существенное влияние на параметры износа деталей ДВС.

Таблица 2

Распределение пусков

Источник: составлено авторами.

Table 2

Distribution of launches

Source: compiled by the authors.

Наработка, ч			
От 0 до 150 ч	От 150 до 300 ч	От 300 до 450 ч	От 450 до 600 ч
Количество пусков			
1-й этап	2-й этап	3-й этап	4-й этап
10	1	10	1

На следующем этапе устанавливаем количество пусков для каждого испытания [11]. Для этого продолжительность испытания разбивается на 4 этапа. В таблице 2 в качестве примера приведено распределение пусков.

По некоторым данным, для двигателей внутреннего сгорания различных классов, износ цилиндропоршневой группы при пуске эквивалентен непрерывной работе двигателя от 2 до 8 ч [12, 13]. Поэтому предполагаемое увеличение износа будет выше при 10 пусках приблизительно на 30% (10 пусков по 5–50 ч. От 150 это составляет 33%).

Таким образом, на каждом из 16 опытов проводится по 4 измерения структурного параметра.

Введем следующие обозначения:

k_0 – коэффициент влияния пускового режима на структурный параметр;

k_1 – коэффициент влияния эксплуатационного режима на структурный параметр;

x – общая продолжительность работы двигателя в процессе опыта;

x_0 – продолжительность работы двигателя на пусковом режиме;

x_1 – продолжительность работы двигателя на эксплуатационном режиме с одним пуском;

x_{10} – продолжительность работы двигателя на эксплуатационном режиме с десятью пусками;

Δy_1 – суммарное изменение структурного параметра в одном опыте при одном пуске (на этапах 2 и 4, см. таблицу 2);

Δy_{10} – суммарное изменение структурного параметра в одном опыте при десяти пусках (на этапах 1 и 3, см. таблицу 2);

n_{n1} – общее количество пусков на эксплуатационном режиме с одним пуском ($n_{n1}=2$);

n_{n10} – общее количество пусков на эксплуатационном режиме с десятью пусками ($n_{n10}=20$).

Тогда можно составить систему линейных алгебраических уравнений.

$$\begin{cases} k_0 \cdot n_{n1} \cdot x_0 + k_1 \cdot x_1 = \Delta y_1 \\ k_0 \cdot n_{n10} \cdot x_0 + k_1 \cdot x_{10} = \Delta y_{10} \end{cases} \quad (1)$$

Особенностью данной системы с неизвестными k_0 и k_1 будет то, что величина x_0 является малой по сравнению с величиной x_1 , а равенство $x_1 = x_{10}$ определяет решение данной системы в виде

$$\begin{aligned} k_0 \cdot x_0 &= \frac{\Delta y_{10} - \Delta y_1}{n_{n10} - n_{n1}} \\ k_1 &= \frac{\Delta y_1 \cdot n_{n10} - \Delta y_{10} \cdot n_{n1}}{x_1 (n_{n10} - n_{n1})} \end{aligned} \quad (2)$$

Таким образом, величина k_1 не зависит от величины x_0 , а величина $k_0 \cdot x_0$ показывает сразу величину изменения структурного параметра при пуске, что является более удобным при использовании уравнения регрессии¹ [14].

¹ Гуськов А.В. Определение техногенного риска при усталостном разрушении / А.В. Гуськов, А.Г. Козлов, К.Е. Милевский // Наука. Промышленность. Оборона. Труды IX Всероссийской научно-технической конференции / под. редакцией: Левина В. Е., Мишнева В. И. Новосибирск, 2008. С. 129–133.

Таблица 3
Изменение структурного параметра
Источник: составлено авторами.

Table 3
Structural parameter change
Source: compiled by the authors.

	Диапазоны изменения параметров, уровни				
	1	2	нулевой	3	4
Температура охлаждающей жидкости $T_{ож}, ^\circ\text{C}$	-30	-15	0	15	30
Температура масла в системе смазки $T_{м}, ^\circ\text{C}$	-30	-15	0	15	30

Таблица 4
Изменение структурного параметра
Источник: составлено авторами.

Table 4
Structural parameter change
Source: compiled by the authors.

	Диапазоны изменения параметров, уровни		
	нижний	нулевой	верхний
Температура охлаждающей жидкости $T_{ож}, ^\circ\text{C}$	-20	0	20
Температура масла в системе смазки $T_{м}, ^\circ\text{C}$	-20	0	20
Температура окружающей среды $T_{окр}, ^\circ\text{C}$	-20	0	20
Пусковая частота вращения коленчатого вала n_n , об/мин	400	500	600

Сформировав матрицу планирования полнофакторного эксперимента с целевой функцией $k_0 \cdot x_0$, получим уравнение регрессии влияния факторов пускового режима на изменение структурного параметра².

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Условия пускового режима в каждом из четырех этапов одного опыта должны быть одинаковы³ [15]. Естественно предположить, что сами факторы, их уровни могут и должны отличаться от основного эксперимента. Важным

с точки зрения изменения структурного параметра (износа) при пуске являются температура охлаждающей жидкости, температура масла в системе смазки [9,16]. Эти два фактора являются основными, но для получения более точной регрессионной модели лучше принять 4 фактора вместо двух [17, 18]. Тогда количество опытов будет равно 16 (таблица 3). Четырёхфакторный эксперимент приводится в качестве примера. Увеличение количества рассматриваемых факторов способствует увеличению точности исследования, но не всегда целесообразно для конкретных условий.

² Токарев А.С. Анализ автомобильных двигателей и выявление наиболее оптимального для повседневного использования / А.С. Токарев, С.В. Миронюк // В сборнике: Наука ТТИ НИЯУ МИФИ. 2023. Сборник научных трудов. Трехгорный. 2023. С. 89–100.

³ Лебедева И.М. Макроэкономическое планирование и прогнозирование / И.М. Лебедева, А.Ю. Федорова // ред. А. Ю. Федоровой. СПб.: [б. и.], 2016. 54 с.

При увеличении факторов до четырех таблицу целесообразно построить с учетом факторов температуры окружающей среды и пусковой частоты вращения коленчатого вала (таблица 4).

При выборе трех факторов проводятся восемь опытов для получения уравнения регрессии [19, 20]. При этом оставшиеся опыты можно задействовать для получения влияния экстремальных режимов на изменение структурного параметра [10, 21].

Влияние факторов, выраженное в индикаторах, дает как общее представление о влиянии каждого фактора на коэффициент технической готовности, так и о взаимном влиянии отдельных факторов друг на друга, приводя либо к усилению взаимного влияния, либо к нивелированию влияния одного фактора за счет влияния другого [2].

Прогнозируемый коэффициент технической готовности, рассчитанный по индикаторам, являющимися по сути вероятностными оценками влияния того или иного фактора, сам по себе станет вероятностью выхода исправного (работоспособного) автомобиля на линию.

Факторы и индикаторы для методики прогнозирования коэффициента технической готовности позволяют учитывать, систематизировать, различать по значимости влияющие факторы, в зависимости от изменений внешних и внутренних воздействий. За счет присвоения влияющим факторам индикаторов, количественно отображающих степень влияния этих факторов на коэффициент технической готовности, представляется возможность определять своевременность, очередность и степень контрвоздействия на данные факторы, отслеживать динамику их изменения и определять дальнейшие стратегии управления факторами для достижения высоких показателей коэффициента технической готовности, что является предпосылкой для организации системы управления коэффициентом технической готовности с использованием цифровых методов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в работе предложена методика определения влияния пусковых режимов двигателей внутреннего сгорания на изменение структурных параметров двигателя, определяющих его надежность [22, 23].

Сущность данной методики и ее новизна состоит в совмещении двух полнофакторных экспериментов по определению влияния эксплуатационных режимов на изменение структурных параметров двигателя, определяющих его надежность.

Учитывая высокую стоимость проведения полного факторного эксперимента для определения надежности двигателя, показана принципиальная возможность комплексного подхода для определения влияния на структурные параметры, определяющие надежность, в процессе одной серии опытов как влияния эксплуатационных режимов, так и пусков двигателя. Кроме того, показана возможность определения влияния и экстремальных значений факторов на надежность.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Заяц Ю.А., Загородний Н.А. Построение плана эксперимента для решения первой задачи прогнозирования остаточного ресурса транспортных средств // Научный резерв. Рязань: Изд-во РВВДКУ, 2023. № 3 (23). С. 51–56.
2. Загородний Н.А., Заяц Ю.А., Семькина А.С., Новиков А.Н. Влияние индикаторов технического состояния грузового автомобильного транспорта на основные эксплуатационные показатели его работы // Мир транспорта и технологических машин. 2022. № 4-2 (79). С. 16–23.
3. Заяц Ю.А., Голубев Д.С., Штурманов С.С., Мочалов В. В., Мохов С.В. Методика прогнозирования остаточного ресурса тормозной системы БМД-4М по данным бортовой информационно-управляющей системы // Научный резерв. Рязань: Изд-во РВВДКУ, 2020. № 4 (12). С. 37–42.
4. Гайдар С.М., Заяц Ю.А., Заяц Т. М., Власов А.О. Подходы к определению технического состояния транспортных средств // Грузовик. 2015. № 5. С. 27–30.
5. Григорьев М.В., Демидов В.В. Применение эффективной стратегии технического обслуживания и ремонта автомобилей как способ повышения их эксплуатационной надежности // Инженерные решения. 2020. № 6 (16). С. 9–14.
6. Штурманов С.С., Голубев Д.С. Оценка влияния эксплуатационных факторов на процесс старения моторного масла / С.С. Штурманов, Д.С. Голубев [и др.] // Вестник РГТУ. 2017. Вып. 3 (35). С. 91–97.
7. Гайдар С. М., Захаров И.А. Способы повышения надежности двигателя внутреннего сгорания // Труды ГОСНИТИ. 2011. Т. 107, № 1. С. 42–45.
8. Репин С.В., Шиманов А.А., Лутов Д.А. Методика повышения эксплуатационной надежности сложного технического объекта посредством анализа его структурной надежности // Вестник Мо-

сковского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2021. № 1 (64). С. 23–30.

9. Semykina A.S., Zagorodnii N.A., Novikov A.N. Study of the effectiveness of the organization of the system of maintenance and repair of quarry transport of mining and processing plants // *Transportation Research Procedia*. 2022; Volume 63: 983-989.

10. Матвиенко И.В. Формирование комплекса мероприятий, направленных на обеспечение эксплуатационной надежности транспортных средств // *Новости науки и технологий*. 2022. № 2 (61). С. 11–18.

11. Кабикенов С.Ж. Методика сбора и обработки информации по эксплуатационной надежности деталей и узлов карьерных самосвалов / С.Ж. Кабикенов, Т.С. Интыков, Э.Ж. Кызылбаева, Н.Б. Жаркенов // *Горный журнал*. 2015. № 9. С. 69–71.

12. Пупков К.А. Применение интеллектуальных технологий – перспективное направление развития теории и практики проектирования и создания систем обработки информации и управления // *Вестник Российского университета дружбы народов*. Серия: Инженерные исследования. 2008. № 4. С. 44–52.

13. Вуейкова О.Н., Ларин О.Н. Вопросы повышения эффективности работы карьерного автотранспорта // *Вестник ОГУ*. 2011. № 10 (129). С. 20–25.

14. Пупков К.А. О некоторых этапах развития теории и техники интеллектуальных систем // *Вестник Российского университета дружбы народов*. Серия: Инженерные исследования. 2008. № 4. С. 5–17.

15. Борисов В.В., Луферов В.С. Метод многомерного анализа и прогнозирования состояния сложных систем и процессов на основе нечетких когнитивных темпоральных моделей // *Системы управления, связи и безопасности*. 2020. № 2. С. 1–23. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10201.

16. Воскобоев В.Ф. Диагностика и безопасность технических систем // *Вопросы теории безопасности и устойчивости систем*. 2006. № 8. С. 62–69.

17. Гавришев С.Е. Организационно-технологические методы повышения надежности и эффективности работы карьеров: монография. Магнитогорск: МГТУ, 2002. 231 с.

18. Лепетюха С.В., Якушев А.С. Состояние и перспективы развития технологического автотранспорта Лебединского ГОКа // *Горный журнал*. 2007. № 7. С. 25–27.

19. Trapeznikova M.A., Furmanovl. R., Churbanova N.G., Lipp R. Simulating multilane traffic flows based on cellular automata theory // *Mathematical Models and Computer Simulations*. 2012. 53. 61 p.

20. Chun-xiu Wu, Song T., Zhang P., Wong S.C. Phase-plane analysis of conserved higher-order traffic flow model // *Applied Mathematics and Mechanics*. 2012. p. 1505-1512.

21. Новиков А.Н., Новиков И.А., Загородний Н.А., Семыкина А.С. Разработка научно-методических подходов для повышения эффективности эксплуатации карьерного транспорта. *Научный рецензируемый журнал «Вестник СибаДИ»* 2020;17(6):690–703. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-690-703>.

22. Ремонтная служба комбината / А.В. Нестеренко, С.А. Разгулов, Е.Ю. Берестнев, А.А. Никулин // *Горный журнал*. 2017. № 5. С. 42–45.

23. Семыкина А.С., Загородний Н.А. Определение рациональной системы технического обслуживания и ремонта карьерного автомобильного транспорта // *Автомобильная промышленность*. 2022. № 6. С.33–36.

REFERENCES

1. Zayats Ju.A., Zagorodnii N.A. Building an experiment plan to solve the first problem of forecasting the residual resource of vehicle]. *Nauchnyj rezerv. Rjazan*. 2023; 3 (23): 51–56. (in Russ.)

2. Zagorodny N.A., Zayats YU.A., Semykina A.S., Novikov A.N. Impact of indicators of technical condition of truck transport on the main operational indicators of its operation. *World of transport and technological machines*. 2022; 4-2 (79): 16-23. (in Russ.)

3. Zayats Yu.A., Golubev D. S., Shturmanov S. S., Mochalov V. V., Mokhov S. V. Method for predicting the residual life of the BMD-4M brake system according to the on-board information control system. *Nauchnyj rezerv*. 2015; 5: 27-30. (in Russ.)

4. Gajdar S. M., Zajac Ju. A., Zajac T. M., Vlasov A. O. Approaches to determining the technical condition of vehicles. *Gruzovik*. 2015; 5: 27–30. (in Russ.)

5. Grigoriev M.V., Demidov V.V. [Applying an effective strategy for maintenance and repair of vehicles as a means of improving their operational reliability]. *Inzhenernye reshenija*. 2020; 6 (16): 9-14. (in Russ.)

6. Shturmanov S. S., Golubev D. S. The analyse of the influence of operating factors on the engine oil changing. *Vestnik RGATU*. 2017; 3 (35): 91–97. (in Russ.)

7. Gajdar S. M., Zaharov I.A. Ways to improve the reliability of an internal combustion engine. *Trudy GOSNITI*. 2011; T. 107. no 1: 42-45. (in Russ.)

8. Repin S.V., Shimanova A.A., Lutov D.A. Method of improving operational reliability of complex technical facility by analysis of its structural reliability. *Vestnik MADI*. 2021;1 (64): 23-30. (in Russ.)

9. Semykina A.S., Zagorodnii N.A., Novikov A.N. Study of the effectiveness of the organization of the system of maintenance and repair of quarry transport of mining and processing plants. *Transportation Research Procedure*. 2022; 63, 2022: 983-989.

10. Matvienko I.V., Ivashko V. Research of reliability of cars in the process of their technical operation]. *Novosti nauki i tehnologii*. 2022; 2 (61):11-18. (in Russ.)

11. Kabikenov S.J., Intykov T.S., Kyzylbayeva E.J., Zharkenov N.B. Methods of collecting and processing information on the operational reliability of parts and assemblies of mining dump trucks. *Gornyy zhurnal*. 2015; 9: 69-71. (in Russ.)

12. Pupkov K.A. Application of intelligent technologies - a promising direction in the development of theory and practice of designing and creating information processing and management systems. *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Serija: Inzhenernye issledovanija*. 2008; 4: 44-52. (in Russ.)

13. Vuykova O.N. Vuykova O.N. The problem of enhancing the effectiveness of the career of motor transport. *Vestnik OGU*. 2011; No. 10 (129): 20-25. (in Russ.)

14. Pupkov K.A. On some stages of the development of theory and technology of intelligent systems. *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Serija: Inzhenernye issledovanija*. 2008; 4: 5-17. (in Russ.)

15. Borisov V. V., Luferov V. S. The method of multidimensional analysis and forecasting states of complex systems and processes based on Fuzzy Cognitive Temporal Models. *Systems of Control, Communication and Security*. 2020; no. 2: 1-23. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10201 (in Russ.)

16. Voskoboev V.F. Diagnostika i bezopasnost' tehniceskikh sistem [Diagnostics and safety of technical systems]. *Voprosy teorii bezopasnosti i ustojchivosti sistem*. 2006; 8: 62-69. (in Russ.)

17. Gavrishov S.E. Organizational and technological methods for improving the reliability and efficiency of quarries: monograph. Magnitogorsk: MG TU, 2002: 231. (in Russ.)

18. Lepetjuha S.V., Jakushev A.S. The state and prospects of development of technological vehicles of Lebedinsky GOK. *Gornyj zhurnal*. 2007; 7: 25-27. (in Russ.)

19. Trapeznikova M.A., Furmanov I.R., Churbanova N.G., Lipp R. Simulating multilane traffic flows based on cellular automata theory. *Mathematical Models and Computer Simulations*. 2012; 53: 61.

20. Chun-xiu Wu, Song T., Zhang P., Wong S.C. Phase-plane analysis of conserved higher-order traffic flow model. *Applied Mathematics and Mechanics*. 2012:1505-1512.

21. Novikov A.N., Novikov I.A., Zagorodnij N.A., Semykina A.S. Development of scientific and methodological approaches to improve the efficiency of quarry transport operation. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020;17(6):690-703. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-690-703>.

22. Nesterenko A.V., Razgulov S.A., Berestnev E.Ju., Nikulin A.A. Repair service of the combine. *Gornyj zhurnal*. 2017; 5: 42-45. (in Russ.)

23. Semykina A.S., Zagorodnij N.A. Definition of a rational system of maintenance and repair of mining cars. *Avtomobil'naja promyshlennost'*. 2022;6: 33-36. (in Russ.)

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Загородний Н.А. Выполнение аналитических исследований, постановка цели и задачи исследований, анализ и ознакомление с зарубежным и отечественным опытом. Проведение полнофакторного эксперимента при различных факторах (16 опытов).

Заяц Ю.А. Разработка методики определения влияния пусковых режимов двигателей внутреннего сгорания на изменение структурных параметров двигателя, определяющих его надежность.

Семыкина А.С. Анализ результатов полученных данных, обоснование выводов. Выявление актуальных вопросов и рекомендаций для дальнейшей проработки темы.

STATED CONTRIBUTION OF AUTHORS

Nikolai A. Zagorodnij Analytical research performing, research purposes and objectives statement, foreign and domestic experience analysis, a full-factor experiment with various factors (16 experiments conducting).

Yurii A. Zayats Development of a methodology for determining the effect of starting modes of internal combustion engines on changes in the structural parameters of the engine that determine its reliability.

Alla S. Semykina Results of the data obtained analysis, conclusions substantiation, topical issues and recommendations for further study of the topic identification.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Загородний Николай Александрович – канд. техн. наук, доц., заведующий кафедрой «Эксплуатация и организация движения автотранспорта» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46), ORCID <http://0000-00001-8973-9271>, SPIN-код: 5230-3519, e-mail: n.zagorodnij@yandex.ru

Заяц Юрий Александрович – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры математических и естественно-научных дисциплин Рязанского высшего воздушно-десантного командного ордена Суворова дважды Краснознаменного училища имени генерала армии В.Ф. Маргелова (390031 г. Рязань, пл. генерала армии В. Ф. Маргелова, д. 1), ORCID <https://orcid.org/0009-0000-4122-5853>, SPIN-код: 9222-2325, e-mail: sajua@yandex.ru

Семыкина Алла Сергеевна – канд. техн. наук, ассистент кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород,

ул. Костюкова, д. 46), ORHID <http://0000-00003-4045-4237>, SPIN-код: 8855-4320, e-mail: fantarock@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nikolaij A. Zagorodnii – Cand. of Sci., Associate Professor, Head of the Operation and Organization of Motor Transport Department, V.G. Shukhov Belgorod State Technological University (46 Kostyukova str. Belgorod, 308012), ORHID <http://0000-00001-8973-9271>, SPIN-код: 5230-3519, e-mail: n.zagorodnij@yandex.ru

Yuri A. Zayats – Dr. of Sci., Professor, Professor of the Mathematical and Natural Sciences Department, General V.F. Margelov Ryazan Guards Higher Airborne twice Red Banner Order of Suvorov Command School, (V.G. Margelov's Square1, Ryazan, 390031), ORHID <https://orcid.org/0009-0000-4122-5853>, SPIN-код: 9222-2325, e-mail: sajua@yandex.ru

Alla S. Semykina – Cand. of Sci., Assistant of the Operation and Organization of Motor Transport Department, V.G. Shukhov Belgorod State Technological University (46 Kostyukova str. Belgorod, 308012), ORHID: <http://0000-00003-4045-4237>, SPIN-код: 8855-4320, e-mail: fantarock@mail.ru