

ВЛИЯНИЕ НАРАБОТКИ И ВОЗРАСТА НА ПОТОК ОТКАЗОВ АВТОМОБИЛЕЙ

Н. С. Захаров¹, С. А. Теньковская²

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

¹ e-mail: zakharov_ns@mail.ru

² e-mail: sveta880@mail.ru

Аннотация. Срок службы автомобилей является ключевым показателем для планирования замены устаревшей техники на новую, а также учитывается при техническом перевооружении отрасли, развитии материально-технической базы и оказывает непосредственное влияние на конечные результаты деятельности предприятия. Ограничение предельного возраста автомобилей является одним из путей повышения их надежности, безопасности и экономичности. Целью статьи является разработка методики определения рационального срока службы автомобилей, обеспечивающего заданный уровень надежности транспортно-технологического обслуживания. Научная новизна исследований заключается в установлении закономерностей и разработке математических моделей влияния возраста и наработки на параметр потока отказов автомобилей. В методическую основу работы легли систематизация исследовательских работ, выполненных ранее по данной теме, нормативных документов, научно-технической литературы, а также методы математической статистики, элементы системного подхода, методы экономического анализа и экспертных оценок. Рассмотрены методы определения рациональных сроков службы автомобилей. Установлено, что каждый из известных методов имеет ограниченную область использования. Так, график, построенный для реализации технико-экономического метода, не всегда имеет минимум. Предложено устанавливать предельные сроки эксплуатации с помощью метода, предусматривающего ограничение параметра потока отказов. При этом в отличие от большинства известных методов учитывается влияние на параметр потока отказов не только наработки с начала эксплуатации, но и интенсивности использования автомобилей. Показано, что в общем случае между возрастом автомобилей и наработкой с начала эксплуатации отсутствует статистически значимая линейная корреляция. Разработаны однофакторные и двухфакторные модели закономерностей влияния указанных показателей на параметр потока отказов автомобилей. На основе статистических данных об отказах автомобилей разного возраста и при различных наработках с начала эксплуатации проверены адекватности предложенных моделей и установлены численные значения их параметров. Полученные зависимости позволили разработать методику определения предельного возраста автомобилей с учетом интенсивности их использования. Эффект от нее образуется за счет более точного определения срока службы автомобилей, что влияет на снижение количества отказов, потерь от простоев в текущем ремонте и простоев основного производства обслуживаемых предприятий. Дальнейшие исследования в данной области следует направить на разработку методики корректирования предельного срока службы автомобилей с учетом условий их эксплуатации.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, поток отказов, срок службы автомобилей, наработка.

Для цитирования: Захаров Н. С., Теньковская С. А. Влияние наработки и возраста на поток отказов автомобилей // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – № 2. – С. 121–129, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-2-121>.

Original article

INFLUENCE OF RUNNING TIME AND AGE ON THE FLOW OF VEHICLE FAILURES

N. S. Zakharov¹, S. A. Tenkovskaya²

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

¹ e-mail: zakharov_ns@mail.ru

² e-mail: sveta880@mail.ru

Abstract. The service life of cars is a key indicator for planning the replacement of outdated equipment with a new one. It is also taken into account during the technical re-equipment of the industry, the development of the

material and technical base and has a direct impact on the final results of the enterprise. It is shown that limiting the maximum age and service life of cars is one of the ways to increase their reliability, safety and efficiency. The purpose of the article is to develop a methodology for determining the rational service life of cars, providing a given level of reliability of transport and technological services. The scientific novelty of the research lies in the establishment of patterns and the development of mathematical models of the influence of age and operating time on the parameter of the failure rate of cars. The methodological basis of the work was the systematization of research works carried out earlier on this topic, regulatory documents, scientific and technical literature, as well as methods of mathematical statistics, elements of a systematic approach, methods of economic analysis and expert assessments. Methods of determining rational service life of cars are considered. It is established that each of the known methods has a limited scope of use. So, the schedule built for the implementation of the technical and economic method does not always have a minimum. It is proposed to set the maximum operating time according to the admissible probability of failure. At the same time, it is necessary to take into account not only the mileage since the entry into operation, as it is accepted in most known methods, but also car operation intensity. It is shown that in the general case, there is no statistically significant linear correlation between car age and mileage since the entry into operation. One-factor and two-factor models of the regularities of the influence of these indicators on car failure intensity were developed. On the basis of statistical data on failures of cars of different ages and at different mileages since the entry into operation, the adequacy of the proposed models was checked and the numerical values of their parameters were established. Based on the obtained dependencies, a method for determining the age limit of cars, taking into account their operation intensity, was developed. The effect of it is formed due to a more accurate determination of the service life of cars, which affects the reduction of the number of failures, losses from downtime in current repairs and downtime of the main production of the enterprises under discussion. Further research in this area should be directed to the development of a methodology for adjusting the service life of cars, taking into account their operating conditions.

Key words: automobile transport, failure rate, service life of cars, operating time.

Cite as: Zakharov, N. S., Tenkovskaya, S. A. (2023) [Influence of running time and age on the flow of vehicle failures]. *Intellect. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 2, pp. 121–129, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-2-121>.

Введение

Автомобильный транспорт – важнейший элемент транспортной системы. Благодаря преимуществам по сравнению с другими видами транспорта он получил широкое распространение. Наряду с очевидными достоинствами он имеет и ряд недостатков – большое количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП), загрязнение окружающей среды, относительно высокая себестоимость перевозок.

С увеличением наработки и возраста автомобилей ухудшается их техническое состояние. Это ведет к росту вероятности ДТП, снижению производительности, ухудшению экологических показателей и увеличению затрат на эксплуатацию.

Один из путей решения этой проблемы – ограничение срока использования автомобилей. Известны различные способы установления рационального срока эксплуатации подвижного состава [1, 3, 15, 16, 17]. Для реализации практически каждого из них необходимо знать, как с увеличением времени и наработки с начала эксплуатации меняются показатели надежности автомобилей. В этой связи цель исследований – установление закономерностей влияния наработки и возраста на параметр потока отказов автомобилей.

Срок службы автомобиля измеряется в годах его работы или в километрах пробега от начала эксплуатации до списания. Оба измерителя срока службы

взаимосвязаны через годовой пробег (или интенсивность эксплуатации) подвижного состава.

В процессе эксплуатации техническое состояние автомобилей изменяется [4, 5]. При этом значения параметров технического состояния приближаются к предельным, снижается вероятность безотказной работы, возрастает вероятность отказов.

Для обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации автомобилей необходимо ограничивать срок службы автомобилей [9, 13].

В настоящее время на большинстве предприятий фактические сроки службы автомобилей не могут быть признаны рациональными и в значительной степени завышены [6, 7, 11].

Большие сроки службы влекут за собой необходимость значительного расширения ремонтного производства, увеличивают потребность в запасных частях, что, в свою очередь, влияет на затраты предприятия [8, 12, 22].

С другой стороны, чрезмерное сокращение сроков службы автомобилей вызывает рост амортизационных отчислений, что сказывается на увеличении себестоимости перевозок [14, 18, 19, 20, 24, 25, 26].

Обзор литературы

Для определения рационального срока службы автомобилей применяют аналитические, графические, статистические, технико-экономические и другие методы. В основе большинства методов

нахождения рациональных сроков службы автомобилей лежит определение критерия оптимальности. В зависимости от поставленных задач в основе качества критерия оптимальности могут лежать минимум затрат, максимум прибыли и другие показатели [2, 3, 4, 5, 22, 23]. Так, Латыпова Э. Р. [10], Сухов Н. [14], Хайман Д. Н. в качестве критерия оптимальности предлагают использовать отдельные составляющие себестоимости проведенных работ. Сухов Н., Хайман Д. Н. в качестве оптимума предлагают использовать минимум расходов на запасные части машин. В работе Чикуриной Н. В. [21] приведенные затраты являются основным критерием оптимальности при расчете рационального срока службы автомобилей.

Установлено, что большинство методик предполагают в качестве критерия оптимальности минимум затрат, то есть предлагают использовать для определения срока службы автомобилей технико-экономический метод. Однако данный метод не всегда возможно применить, так как при определенной интенсивности эксплуатации зависимость суммарных затрат на эксплуатацию от наработки или возраста не будет иметь ярко выраженный минимум, либо минимума вообще может не быть, что подробно описано в следующем разделе.

Методы

В ходе теоретического исследования была выдвинута гипотеза, что при применении технико-экономического метода в ряде случаев у кривой сум-

марных затрат на приобретение и эксплуатацию автомобилей не наблюдается ярко выраженного минимума. В некоторых случаях минимума нет вообще, то есть кривая имеет монотонный характер. Это объясняется высокими затратами на приобретение АТС, которые, распределяясь на срок службы автомобилей, компенсируют увеличение с возрастом затрат на текущий ремонт.

Как правило, суммарные затраты интенсивно снижаются в первые 5 ... 7 лет эксплуатации, а в последующем они изменяются в небольших пределах за весь реально возможный срок использования автомобилей.

Следовательно, метод определения предельного срока службы автомобилей по критерию минимума суммарных затрат на приобретение и эксплуатацию автомобилей нецелесообразно использовать для определения рационального срока использования АТС. Для определения предельного срока эксплуатации предлагается использовать метод по условиям надежности транспортно-технологического обслуживания, основанный на установлении предельного значения параметра потока отказов.

Этот метод предусматривает сбор данных о количестве отказов автомобилей в разных интервалах наработки и возраста, а также об интенсивности эксплуатации автомобилей. На основе этих результатов рассчитывается параметр потока отказов ω в разных интервалах наработки L и возраста T . Полученные данные аппроксимируются моделью вида:

$$\omega = A_0 + A_1 \ln(L) + A_2 \ln(T) \quad (1)$$

Далее обосновывается предельное значение параметра потока отказов $\omega_{\text{пр}}$, исходя из требуемого значения коэффициента технической готовности.

Используя это значение, рассчитывается предельный возраст автомобилей T_s при разных наработках с начала эксплуатации:

$$T_s = e^{\frac{\omega_{\text{пр}} - A_0 - A_1 \ln(L)}{A_2}} \quad (2)$$

Для реализации предлагаемого метода проведен эксперимент, результаты которого изложены в следующем разделе.

Результаты исследования

Суть эксперимента заключалась в сборе данных о возрасте, наработках с начала эксплуатации, об отказах, интенсивности эксплуатации автомобилей. Источник информации – базы данных транспортных предприятий, обслуживающих нефтегазовые компании. Объем консолидированной базы данных составляет около 15 миллионов записей.

На основе этих данных установлены эмпирические дифференциальное (рисунок 1) и интегральное (рисунок 2) распределения фактического воз-

раста автомобилей рассматриваемых предприятий. Из рисунка 2 видно, что около 20 % автомобилей имеют возраст более 10 лет.

На первом этапе экспериментальных исследований проверено предположение об отсутствии корреляции между возрастом автомобилей и наработкой с начала эксплуатации. Результаты представлены на графике (рисунок 3). Проверка значения коэффициента корреляции по критерию Стьюдента показала отсутствие статистически значимой линейной корреляционной связи, что подтверждает выдвинутое предположение и свидетельствует о необходимости учета интенсивности эксплуатации при определении рационального срока службы автомобилей.

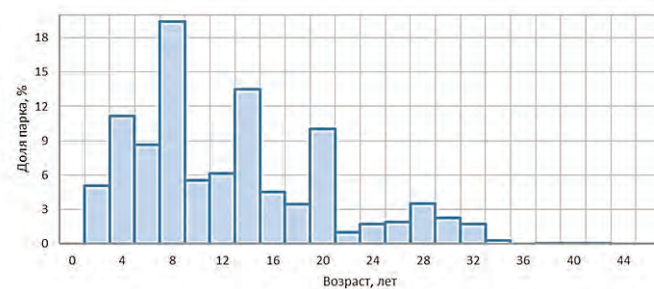


Рисунок 1. Распределение фактического возраста автомобилей

Источник: разработано авторами

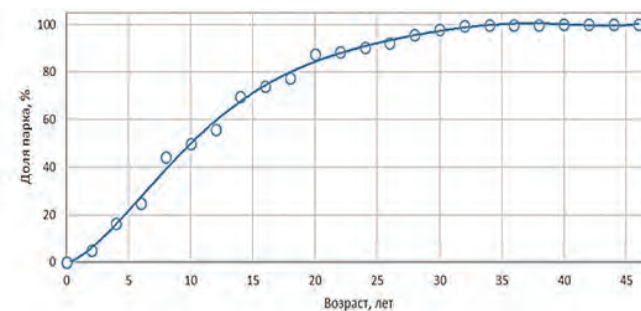


Рисунок 2. Интегральное распределение возраста автомобилей

Источник: разработано авторами

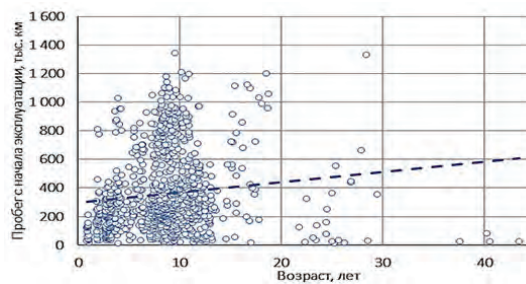


Рисунок 3. Связь между возрастом и наработкой автомобилей

Источник: разработано авторами

Далее проверено предположение о виде модели для описания закономерности влияния наработки на параметр потока отказов автомобилей. Установ-

лено, что с вероятностью выше 0,95 эта закономерность адекватно описывается логарифмической моделью (рисунок 4), например,

$$\omega = 0,056 \ln(L) - 0,088. \quad (3)$$

Аналогичный результат получен и для зависимости параметра потока отказов от возраста.

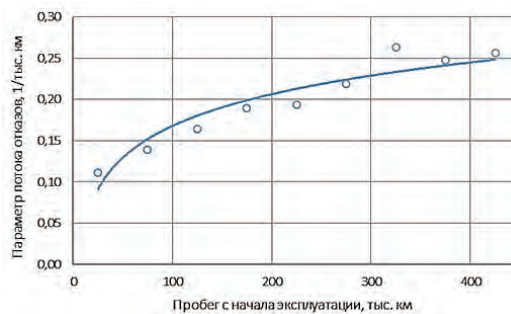


Рисунок 4. Влияние наработки на параметр потока отказов автомобилей

Источник: разработано авторами

На следующем этапе исследований проверена адекватность двухфакторной модели (1). Для этого построено двумерное распределение отказов авто-

мобилей по наработке и возрасту. Фрагмент полученных результатов представлен в таблице 1.

Таблица 1. Фрагмент результатов обработки данных о количестве отказов автомобилей

Интервал наработки, тыс. км	Количество отказов, ед., в интервале возраста, лет				
	0 ... 2	2 ... 4	4 ... 6	...	30 ... 32
0 ... 50	1469	1804	168	...	42
50 ... 100	2570	3087	1492	...	168
100 ... 150	3676	3145	4806	...	160
...	...	...	...	...	...
1,650 ... 1,700	0	0	2548	...	811

Источник: разработано авторами

Для рассматриваемых групп автомобилей в каждом интервале наработки и возраста рассчитаны суммарные пробеги за рассматриваемый период. Значение параметра потока отказов в каждом интервале (таблица 2) определялось как отношение

количества отказов к суммарной наработке.

Обработка результатов эксперимента показала, что математическая модель (1) с вероятностью выше 0,95 адекватна исходным данным. Пример такой модели представлен ниже (рисунок 5):

$$\omega = 0,068 \ln(L) + 0,053 \ln(T) - 0,03. \quad (4)$$

На основе полученных результатов выполнен расчет предельного возраста автомобилей при раз-

ных наработках с начала эксплуатации (рисунок 6).

Таблица 2. Фрагмент результатов расчета параметра потока отказов

Интервал наработки, тыс. км	Параметр потока отказов, 1/1000 км, при возрасте, лет				
	0 ... 2	2 ... 4	4 ... 6	...	30 ... 32
0 ... 50	0,174	0,232	0,259	...	0,356
50 ... 100	0,259	0,317	0,344	...	0,441
100 ... 150	0,354	0,354	0,381	...	0,478
...	...	...	...	...	...
1,650 ... 1,700	—	0,533	0,562	...	0,657

Источник: разработано авторами

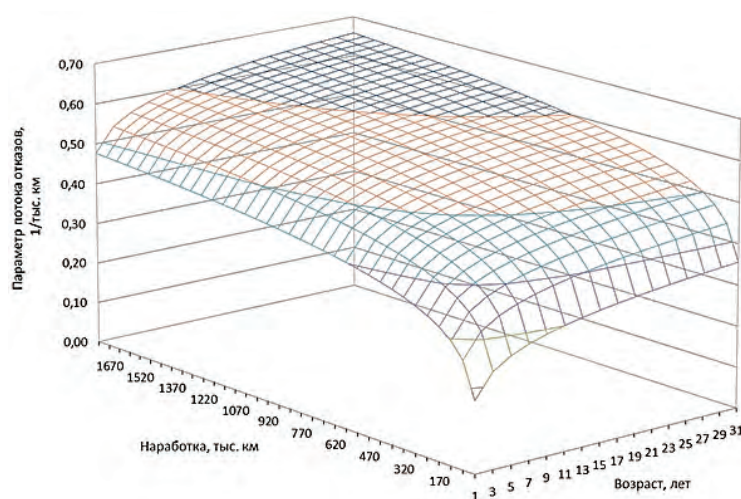


Рисунок 5. Влияние наработки и возраста на параметр потока отказов автомобилей

Источник: разработано авторами

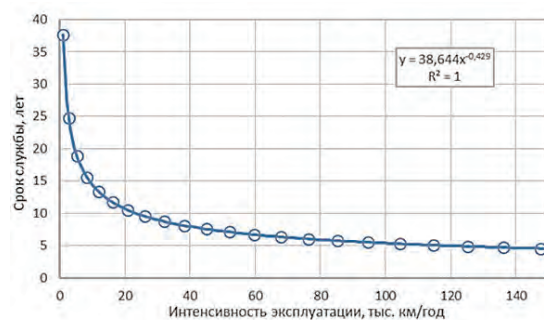


Рисунок 6. Влияние интенсивности эксплуатации на предельный срок службы автомобилей

Источник: разработано авторами

Для рассматриваемого случая предельный срок службы автомобилей при различных интенсивно-

стях эксплуатации рассчитывается по модели:

$$T_s = 79,9 l^{-0,562}. \quad (5)$$

Методика определения рационального срока службы автомобилей по условиям надежности транспортно-технологического обслуживания

предусматривает выполнение нескольких этапов расчетов (рисунок 7).



Рисунок 7. Методика расчета рационального срока службы автомобилей по условиям надежности транспортно-технологического обслуживания

Источник: разработано авторами

Таким образом, в процессе исследований были установлены закономерности влияния наработки и возраста на параметр потока отказов автомобилей, разработана методика определения срока службы автомобилей, обеспечивающая заданный уровень надежности транспортно-технологического обслуживания.

Заключение

Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы.

Известны несколько методов определения рационального срока службы автомобилей. В большинстве случаев определяется только предельная наработка по какому-либо критерию или предельный возраст, при этом не учитывается интенсивность использования автомобилей.

Наиболее распространен метод, основанный на минимизации суммарных затрат на приобрете-

ние и эксплуатацию автомобилей. Исследование на имитационной модели показало, что в большинстве случаев на кривой суммарных затрат не наблюдается ярко выраженного минимума.

Установлены эмпирические распределения фактического возраста и наработок с начала эксплуатации автомобилей. Около 20% автомобилей имеют возраст более 10 лет и наработку свыше 400 тыс. км.

Установлено, что между возрастом автомобилей и наработкой с начала эксплуатации отсутствует статистически значимая линейная корреляция.

На основе фактических данных построено двумерное распределение отказов автомобилей по наработке и возрасту.

Влияние возраста автомобилей и наработки с начала эксплуатации на параметр потока отказов адекватно описывается логарифмическими моделями. На основе эксперимента проверена адекватность предложенных моделей и установлены чи-

сленные значения их параметров.

С использованием полученных зависимостей разработана методика определения предельного

возраста автомобилей по условиям надежности транспортно-технологического обслуживания, учитывающая интенсивность их использования.

Литература

1. Авдонькин Ф. Н. Изменение технического состояния автомобиля в процессе эксплуатации. – Саратов: Издательство Саратовского университета, 1973. – 190 с.
2. Арифутлин И. В., Терентьев А. В., Егунова Т. Н. Применение технико-экономического критерия для определения показателя пробега эффективной эксплуатации автомобиля // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2020. – № 3. – С. 70–74. – <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2020-03-14>. – EDN: EEVSAA.
3. Бедняк М. Н. Определение нормы гарантийного пробега автомобилей. – Киев: Издательство Киевского Университета, 1972. – 105 с.
4. Вегер Л. Л. Обновление машинных парков: проблема эффективности. – Москва: Наука, 1991. – 115 с.
5. Жидкова М. А. Методические основы определения экономически целесообразного срока службы легкового автомобиля такси: дис. ... канд. экон. наук. – Москва, 1998. – 117 с.
6. Захаров Н. С., Шорохов Ю. А., Галимов С. Ш. Стратегия обновления подвижного состава пассажирских автотранспортных предприятий // Нефть и газ Западной Сибири: материалы международной науч.-техн. конф. Тюмень, 12–13 ноября 2003 года – Тюмень: ТюмГНГУ, 2003. – С. 134–135. – EDN: YAWNVP.
7. Захаров Н. С., Немков М. В., Немков В. М. Методика выбора марочного состава седельных тягачей с использованием интегрального коэффициента // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 6. – С. 88–95. – <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2021-6-88>. – EDN: IYXXOD.
8. Исследование надежности агрегатов шасси автомобилей MERCEDES-BENZ ACTROS / В. И. Некрасов [и др.] // Наука и бизнес: пути развития. – 2021. – № 4 (118). – С. 14–17. – EDN: JGBQCA.
9. К вопросу управления возрастной структурой парка автотранспортных предприятий города Душанбе/ А. Н. Ременцов [и др.] // Политехнический вестник. Серия: инженерные исследования. – 2018. – № 4(44). – С. 118–122. – EDN: ZCKLVR
10. Латыпова Э. Р. Регулирование транспортных тарифов в условиях перехода к рынку: автореферат дис. ... канд. экон. наук. – Москва, 1995. – 27 с.
11. Лукинский В. С., Зайцев Е. И. О зависимостях между параметрами, определяющих ресурс деталей автомобиля // Автомобильный транспорт. – 1981. – № 11. – С. 17–19.
12. Монгуш С. Ч., Ховалыг Н.-Д. К. Сравнительный анализ методов определения оптимальных сроков службы автомобиля // Вестник Тувинского государственного университета. № 3. Технические и физико-математические науки. – 2014. – № 3 (22). – С. 84–91. – EDN: SXEMED.
13. Ременцов А. Н., Тошев Д. Ш., Хусейнов Х. Б. Определение рационального срока службы автобусов в автотранспортных предприятиях города Душанбе // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: сб. науч. тр. по материалам 76-й науч. метод. науч. исслед. конф. Москва, 29 января – 03 февраля 2018 года / МАДИ – 2018. – С. 178–185. – EDN: YSPTGQ..
14. Сухов Н. Срок службы автомобиля // «Автомобильный транспорт». – 1983. – № 9. – С. 9–11.
15. Тайсаев К. К. Актуальность определения коэффициента сохранности эффективности автомобиля в современных условиях эксплуатации // Грузовик. – 2020. – № 1. – С. 33–35. – EDN: CHOPW/
16. Тайсаев К. К. Методика определения коэффициента сохранения эффективности автобусов: дис. ... канд. техн. наук. – Санкт-Петербург, 2021. – 151 с.
17. Тайсаев К. К., Терентьев А. В. Аналитическая модель определения коэффициента сохранения эффективности автобусов // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 4 (81). – С. 197–202 – <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2020-17-4-197-202>. – EDN: RHIRKN.
18. Тайсаев К. К., Терентьев А. В. Алгоритм и программное обеспечение определения коэффициента сохранения эффективности автобусов // Мир транспорта и технологических машин. – 2020. – № 3 (70). – С. 3–8. – <https://doi.org/10.33979/2073-7432-2020-70-3-3-8>. – EDN: SGWWIN.
19. Терентьев А. В., Ефименко Д. Б. К вопросу многокритериальной оценки срока эксплуатации автомобиля // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – № 1 (60). – С. 21–27. – EDN: XMPWLR/
20. Тошев Д. Ш. Разработка методики определения оптимального срока эксплуатации автобусов в транспортных предприятиях города Душанбе: дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 2019. – 180 с.
21. Чикурина Н. В. Эффективность лизинговых операций: автореферат дис. ... канд. экон. наук. – Казань, 1995. – 21 с.
22. Эффективность работы автомобилей в зависимости от срока службы / В. Мамыкин [и др.] // Автомобильный транспорт. – 1983. – № 12. – С. 8–9.

23. Южанин И. Н. Обзор методов определения пробега до списания подвижного состава автомобильного транспорта // Интернет-журнал Науковедение. – 2014. – № 2. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/82TVN214.pdf> (дата обращения: 21.07.2022). – EDN: SJFNDV.
24. Litman T. A. (1999) *Transportation cost analysis summary*, Victoria. Transport Policy Institute. P. 1–48.
25. Toffel Michael W. (2003) The Growing Strategic Importance of End-of-life Product Management, *California Management Review*. Vol. 46. – Is. 3, pp. 102–129.
26. Vuchic V. R. (2004) *Urban Transit: Operations, Planning and Economics*, New Jersey: John Wiley & Sons, 644 p.

References

1. Avdonkin, F. N. (1973) *Izmeneniye tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobilya v protsesse ekspluatatsii* [Change in the technical condition of the car during operation]. Saratov: Saratov University Press, 190 p.
2. Arifullin, I. V., Terentiev, A. V., Egunova, T. N. (2020) [Application of a technical and economic criterion for determining the mileage indicator of the effective operation of a car]. *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye. Nauchnyy informatsionnyy sbornik* [Transport: science, technology, management. Scientific information collection]. Vol. 3, pp. 70–74, <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2020-03-14>. (In Russ.).
3. Bednyak, M. N. (1972) *Opredeleniye normy garantiynogo probega avtomobiley* [Determination of the norm of the warranty run of cars]. Kyiv: Kyiv University Press, 105 p.
4. Veger, L. L. (1991) *Obnovleniye mashinnykh parkov: problema effektivnosti* [Renovation of machine parks: the problem of efficiency]. Moscow: Science, 115 p.
5. Zhidkova, M. A. (1998) *Metodicheskiye osnovy opredeleniya ekonomicheskoy tselesoobraznoy sroka sluzhby legkovogo avtomobilya taksi: Dis. Kand. ekon. nauk* [Methodological bases for determining the economically viable service life of a taxi passenger car: Dis. Cand. of Economical Sciences]. Moscow, 117 p.
6. Zakharov, N. S., Shorokhov, Yu. A., Galimov, S. Sh. (2003) [The strategy for updating the rolling stock of passenger motor transport enterprises]. *Neft' i gaz Zapadnoy Sibiri: materialy mezhdunarodnoy nauch.-tekhn. konf. Tyumen', 12–13 noyabrya 2003 goda* [Oil and gas of Western Siberia: materials of the international scientific and technical. conf. Tyumen, November 12–13, 2003]. Tyumen: Tsogu, pp. 134–135. (In Russ.).
7. Zakharov, N. S., Nemkov, M. V., Nemkov, V. M. (2021) [Method of selecting the grade composition of truck tractors using the integral coefficient]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 6, pp. 88–95, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2021-6-88>. (In Russ.).
8. Nekrasov, V. I. et al. (2021) [Reliability study of chassis units for MERCEDES-BENZ ACTROS vehicles]. *Nauka i biznes: puti razvitiya* [Science and business: ways of development]. Vol. 4 (118), pp. 14–17. (In Russ.).
9. Rementsov, A. N. (2018) [On the issue of managing the age structure of the fleet of motor transport enterprises in the city of Dushanbe]. *Politekhnikeskiiy vestnik. Seriya: inzhenernyye issledovaniya* [Polytechnic Bulletin. Series: engineering research]. Vol. 4 (44), pp. 118–122. (In Russ.).
10. Latypova, E. R. (1995) *Regulirovaniye transportnykh tarifov v usloviyakh perekhoda k rynku. Dis. Kand. ekon. nauk* [Regulation of transport tariffs in the context of the transition to the market. Dis. Cand. of Economic Sciences]. Moscow, 27 p.
11. Lukinskiy, V. C., Zaitsev, E. I. (1981) [On the dependencies between the parameters that determine the resource of car parts]. *Avtomobil'nyy transport* [Automobile transport]. Vol. 11, pp. 17–19. (In Russ.).
12. Mongush, S. Ch., Khovalyg, N-D. (2014) [To Comparative analysis of methods for determining the optimal service life of a car]. *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye i fiziko-matematicheskiye nauki* [Bulletin of the Tuva State University. Technical and physical and mathematical sciences]. Vol. 3 (22), pp. 84–91. (In Russ.).
13. Rementsov, A. N., Toshev, D. Sh., Khuseinov, Kh. B. (2018) [Determination of the rational service life of buses in motor transport enterprises of the city of Dushanbe]. *Problemy tekhnicheskoy ekspluatatsii i avtoservisa podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta: sb. nauch. tr. po materialam 76-y nauch.metod. nauch. issled. konf, Moskva, 29 yanvarya – 03 fevralya 2018 goda* [Problems of technical operation and car service of rolling stock of road transport: Sat. scientific tr. based on materials of the 76th scientific method. scientific research conf, Moscow, January 29 - February 03, 2018]. MADI, pp. 178–185. (In Russ.).
14. Sukhov, N. (1983) [Service life of the car]. *Avtomobil'nyy transport* [Motor transport]. Vol. 9, pp. 9–11. (In Russ.).
15. Taysaev, K. K. (2020) [Relevance of determining the coefficient of safety of the efficiency of the car in modern operating conditions]. *Gruzovik* [Truck]. Vol. 1, pp. 33–35.
16. Taysaev, K. K. (2021) *Metodika opredeleniya koeffitsiyenta sokhraneniya effektivnosti avtobusov: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Method for determining the coefficient of preservation of the efficiency of buses. Dis. cand. Tech. Sciences]. St. Petersburg, 151 p.

17. Taysaev, K. K., Terentiev, A. V. (2020) [Analytical model for determining the efficiency saving coefficient of buses]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers]. Vol. 4 (81), pp. 197–202, <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2020-17-4-197-202>. (In Russ.).
18. Taysaev, K. K., Terentiev, A. V. (2020) [Algorithm and software for determining the coefficient of conservation of efficiency of buses]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin* [World of transport and technological machines]. Vol. 3 (70), pp. 3–8, <https://doi.org/10.33979/2073-7432-2020-70-3-3-8>.
19. Terentiev, A. V., Efimenko, D. B. (2018) [On the issue of multi-criteria assessment of the life of a car]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin* [World of Transport and Technological Machines]. Vol. 1 (60), pp. 21–27. (In Russ.).
20. Toshev, D. Sh. (2019) *Razrabotka metodiki opredeleniya optimal'nogo sroka ekspluatatsii avtobusov v transportnykh predpriyatiyakh goroda Dushanbe. Dis. Kand. Tekhn. nauk* [Development of a methodology for determining the optimal life of buses in transport enterprises of the city of Dushanbe. Dis. Cand. Tech. Sciences]. Moscow, 180 p.
21. Chikurina, N. V. (1995) *Effektivnost' lizingovykh operatsi. Dis. Kand. Ekon. nauk* [Efficiency of leasing operations. Cand. Economical Sciences]. Kazan, 21 p.
22. Mamykin, V. (1983) [Efficiency of car operation depending on the service life]. *Avtomobil'nyy transport* [Automobile transport]. Vol. 12, pp. 8–9. (In Russ.).
23. Yuzhanin, I. N. (2014) [Review of methods for determining the mileage before decommissioning of the rolling stock of road transport]. *Internet-zhurnal Naukovedeniye* [Internet Journal of Science Studies]. Vol. 2. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/82TVN214.pdf> (accessed: 21.07.2022).
24. Litman, T. A. (1999) Transportation cost analysis summary. *Victoria. Transport Policy Institute*, pp. 1–48. (In Eng.).
25. Toffel, Michael W. (2003) The Growing Strategic Importance of End-of-life Product Management. *California Management Review*. Vol. 46. Is. 3, pp. 102–129. (In Eng.).
26. Vuchic, V. R. (2004) *Urban Transit: Operations, Planning and Economics*. New Jersey: John Wiley & Sons, 644 p.

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

Светлана Александровна Теньковская, аспирант, научная специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

e-mail: ten_sa@tsogu.ru

Вклад соавторов:

Захаров Н. С. – 50%;

Теньковская С. А. – 50%.

Статья поступила в редакцию: 03.02.2023; 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

Svetlana Alexandrovna Tenkovskaya, postgraduate student, science specialty 2.9.5 Operation of motor transport, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

e-mail: ten_sa@tsogu.ru

Contribution of the authors:

Zakharov N. S. – 50%;

Tenkovskaya S. A. – 50%.

The paper was submitted: 03.02.2023.

Accepted for publication: 23.03.2023.

The authors have read and approved the final manuscript.