

Моделирование вероятности отказов автомобилей по наработке в цикле технического обслуживания

А. В. Сарбей ✉

Тюменский индустриальный университет, ул. Володарского, 38, Тюмень, 625000, Российская Федерация

✉ sanya.sarbey@mail.ru

Аннотация. Техническое обслуживание автомобилей автотранспортного предприятия, находящихся на гарантийном обслуживании, зачастую проводится с использованием собственных производственных мощностей предприятия. В силу влияния разных факторов фактические наработки между техническими обслуживаниями значительно отличаются от нормативных. Существующие методы не позволяют корректно определить изменение вероятности отказа группы автомобилей, поскольку фактическая наработка цикла технического обслуживания является величиной стохастической. Предложен метод оценки качества технического обслуживания автомобилей, основанный на отношении приращений вероятности отказа до и после обслуживающих мероприятий с учетом особенностей их эксплуатации. В основе исследования заложен аксиоматический метод, согласно которому интенсивность отказов снижается после обслуживания и возрастает по мере увеличения наработки. В качестве гипотезы исследования выдвинуто предположение, что качество технического обслуживания можно оценить по отношению плотностей вероятности отказа на участках перед проведением обслуживания и после (первый участок – наработка на 0...7.5 тыс. км, второй участок – наработка на 7.5...15.0 тыс. км). Собраны и обработаны данные об отказах автомобилей в фактических периодичностях технического обслуживания двух структурных подразделений градообразующего предприятия г. Сургут. Разработанные математические модели статистически значимы с вероятностью 0.99. Полученные значения разработанного показателя качества: 1.947 для первого и 1.731 для второго предприятия, – свидетельствуют о том, что система обеспечения работоспособности исследуемых предприятий организована качественно. Планируется провести оценку качества технического обслуживания автомобилей разных марок с целью получения более широко спектра значений и их последующей интерпретации.

Ключевые слова: качество технического обслуживания, цикл технического обслуживания, вероятность отказа, фактическая наработка, надежность автомобилей

Для цитирования: Сарбей А. В. Моделирование вероятности отказов автомобилей по наработке в цикле технического обслуживания. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2025;5(2):99–108. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-99-108> EDN: YTCWKY

Modeling the probability of vehicle failures by operating time within a maintenance cycle

Alexander V. Sarbey ✉

Industrial University of Tyumen, 38 Volodarskogo St., Tyumen, 625000, Russian Federation

✉ sanya.sarbey@mail.ru

► **Abstract.** Motor transport enterprises often conduct maintenance of vehicles under warranty service using their own facilities. Due to the influence of various factors, the actual operating time between maintenance operations often deviates significantly from the normative ones. Existing methods do not allow accurately determining the change in failure probability for a vehicle group, because the actual operating time at the completion of the maintenance cycle is a stochastic value. This paper proposes a method for evaluating vehicle maintenance quality, based on the ratio of failure probability increments before and after maintenance, taking into account the specific operational characteristics of the vehicles. The research employs an axiomatic method: the failure rate decreases after maintenance and increases with accumulated operating time. The research hypothesis posits that maintenance quality can be assessed by the ratio of failure probability densities in sections before and after maintenance (first section: operating time 0 to 7.5 thousand km; second section: operating time 7.5 to 15.0 thousand km). Data on vehicle failures during actual maintenance intervals were collected and processed for two structural divisions of a city-forming enterprise in Surgut. The developed mathematical models are statistically significant with a probability of 0.99. The resulting values of the developed quality indicator – 1.947 for the first enterprise and 1.731 for the second enterprise – indicate that the system for ensuring the operational reliability of the investigated enterprises is effectively organized. Further work is planned to evaluate the maintenance quality across different car brands to obtain a broader spectrum of values and facilitate their subsequent interpretation.

Keywords: maintenance quality, maintenance cycle, failure probability, actual operating time, vehicle reliability

For citation: Sarbey A. V. Modeling the probability of vehicle failures by operating time within a maintenance cycle. *Architecture, Construction, Transport*. 2025;5(2):99–108. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-99-108>

1. Введение / Introduction

Эффективность автомобильного транспорта обеспечивается надежностью [1]. Надежность является комплексным свойством, которое включает следующие составляющие: безотказность, ремонтпригодность, сохраняемость и долговечность. Один из факторов, влияющих на надежность автомобилей, – качественно выполненное техническое обслуживание (ТО) [2]. ТО является важным компонентом системы обеспечения работоспособности автомобилей [3, 4, 5], его цель – предупредить отказы и отдалить момент, когда элементы автомобиля достигнут предельного состояния.

В современных производственных условиях с появлением стандартов и методологий управления качеством на автотранспортных предприятиях (АТП) применяются системные подходы обеспечения качества продукции или услуг [6]. Под качеством ТО понимается степень соответствия выполняемых технологических операций установленным стандартам и требованиям.

Проблеме качества ТО посвящено значительное количество исследований. В работе [7] представлены результаты количественной оценки критериев предприятий фирменного автосервиса, отражающих удовлетворенность потребителей в качестве услуг. На примере производственно-сервисных систем рассмотрены состав и структура комплексного показателя качества, который учитывает удовлетворенность потребителей, финансовую устойчивость и соответствие корпоративным требованиям [8].

Зарубежными учеными на основе предиктивного обслуживания (PdM) проведен эксперимент по контролю технического состояния и оценке качества обслуживания оборудования [9, 10]. В отечественных исследованиях [11, 12] особое внимание уделяется предиктивному обслуживанию железнодорожного транспорта.

В работе [13] предлагается методика учета человеческого фактора при определении качества ремонта и обслуживания оборудования нефтегазодобывающих компаний. Качество ТО в источнике [14] оценивается полнотой и затраченным временем выполнения технологических операций посредством контроля материалов видеофиксации.

Авторами исследования [15] при управлении качеством ТО предприятия принята система обобщающих показателей подсистемы обслуживания производства: ритмичность, непрерывность, надежность, пропорциональность, параллельность и прямооточность.

Эффективность эксплуатации автотранспортных средств, по мнению исследователей [16], достигается определением оптимальных параметров системы входного контроля качества запасных частей, используемых при выполнении ТО и ремонта.

Контроль качества ТО и ремонта автомобилей в работах [17, 18] оценивается полнотой выполнения технологических операций посредством использования искусственных нейронных сетей. В программе для ЭВМ [19] по контролю ТО автомобилей эффективность системы ТО и ремонта оценивается коэффициентом использования рабочего времени работников.

В работе [20] качество ТО автомобилей, находящихся на гарантийном обслуживании, наработка циклов ТО которых постоянна, оценивается по интегральному показателю качества.

Проведенные исследования внесли значительный вклад в совершенствование системы ТО и ремонта, и, в частности, методов оценки качества ТО автомобилей. Результаты исследований позволили определить причины отказов, выявить недостатки в организации и реализации работ по ТО.

Однако можно выделить основной аспект, который не учтен в вышеперечисленных работах. При эксплуатации автомобилей АТП, находящихся на гарантийном обслуживании, очередное ТО проводится не в дилерском центре, а на производственных площадях АТП. Данный факт и ряд ранее выявленных факторов, таких как, например, средняя длина рейса, технологическая дисциплина, пропускная способность зоны ТО, существенно влияют на изменение фактической наработки между проводимыми ТО, которая значительно отличается от нормативной. В этом случае определить изменение вероятности отказа в цикле ТО группы автомобилей с разными наработками между ТО по существующим методам не представляется возможным по причине того, что к моменту наработки L часть автомобилей завершили циклы ТО и в дальнейшем автомобили и циклы ТО учитывать не требуется. К тому же анализ отказов показал, что в циклах ТО возникает два и более отказов элементов автомобиля. В итоге определение вероятности отказа без корректирующих мер способствует возникновению существенных неточностей.

Важным этапом совершенствования системы обеспечения работоспособности автомобилей является проведение мероприятий по оценке качества ТО. Таким образом, цель исследования заключается в том, чтобы численно оценить качество ТО автомобилей, основываясь на изменении вероятности отказа по наработке в цикле ТО.

Задачи исследования:

- разработать концепцию, позволяющую численно оценить качество ТО автомобилей в цикле ТО;
- выполнить сбор и обработку фактических периодичностей ТО и наработок на отказ в циклах ТО;
- разработать показатель, оценивающий качество ТО автомобилей с учетом особенностей эксплуатации.

Объектом исследования являлся процесс формирования вероятности отказа автомобилей по наработке в цикле ТО с учетом особенностей эксплуатации.

Предметом исследования являлись закономерности формирования вероятности отказа автомобилей по наработке в цикле ТО с учетом особенностей эксплуатации.

Научная новизна заключается в формировании вероятности отказа автомобилей по наработке в цикле ТО и разработке показателя качества ТО с учетом особенностей эксплуатации.

2. Материалы и методы / Materials and methods

Концепция исследования заключается в формулировке аксиом и следствий, на основе которых разрабатывается рабочая гипотеза.

Аксиомы:

- после проведения ТО интенсивность изменения параметров технического состояния снижается, что приводит к снижению плотности вероятности отказа;
- с увеличением наработки после каждого ТО плотность вероятности отказа увеличивается.

Следствия:

- при выполнении качественного ТО наблюдается существенное изменение плотности вероятности отказа на разных участках цикла ТО;
- сравнение плотностей вероятности отказа на начальном участке наработки после ТО и на участке наработки перед последующим ТО позволяет численно оценить эффект от ТО.

Соответственно, учитывая нормативное значение периодичности ТО, регламентированное заводом изготовителем, цикл ТО делится на два равных участка, и каждый описывается следующими линейными функциями:

$$F(L_i)_{\text{уч.1}} = k_1 \cdot L_i + b_1; \quad (1)$$

$$F(L_i)_{\text{уч.2}} = k_2 \cdot L_i + b_2. \quad (2)$$

где k_1, k_2 и b_1, b_2 – эмпирические коэффициенты в уравнениях линейной регрессии участка 1 (после ТО) и участка 2 (перед ТО);

L_i – наработка на отказ, тыс. км.

Следовательно, выдвинута гипотеза о том, что качество ТО можно оценить по показателю Q_{EV} путем отношения коэффициентов уравнений линейной регрессии k_1, k_2 , которые по физическому смыслу аналогичны плотности вероятности отказа $f(L)$:

$$Q_{EV} = \frac{k_2}{k_1}. \quad (3)$$

3. Результаты и обсуждение / Results and discussion

Экспериментальная часть

Выдвинутую гипотезу необходимо подтвердить путем проведения пассивного натурального эксперимента. В качестве примера сформированы данные по однотипным автомобилям УАЗ Патриот, эксплуатируемым в двух структурных подразделениях градообразующего предприятия г. Сургута. Данные структурные подразделения обозначим как «предприятие № 1» и «предприятие № 2». Численность автомобильного парка A_c составляет 25 единиц у предприятия № 1 и 20 единиц у предприятия № 2. На предприятиях № 1 и № 2 выполнено соответственно 159 и 95 ТО, перечень операций которых соответствует установленному перечню сервисной книжки автомобиля. В каждом из циклов ТО возникло m отказов. Общее количество отказов, возникших по причине некачественного ТО, на первом и втором предприятии составляет 265 и 105 соответственно.

Поскольку отказы автомобилей возникли в интервалах ТО с разными наработками, то для корректного формирования вероятности отказа $F(L_i)$ в цикле ТО необходимо наработку на отказ L_i фактической периодичности $L_{ТО}^{\phi}$ привести к нормативной периодичности $L_{ТО}^H$, умножив на относительный коэффициент K :

$$K = \frac{L_{ТО}^H}{L_{ТО}^{\phi}}. \quad (4)$$

В совокупности с выявленными особенностями, характерными для специфики функционирования и обслуживания автомобилей, вероятность отказа по наработке в цикле ТО предлагается определять по следующей формуле:

$$F(L_i) = \frac{m(L_i)}{(A_c \cdot N_{цТО}) - N_{цТО}(L_i) - A_c(L_i)}. \quad (5)$$

Например, к моменту наработки 9 085 км по $A_c = 11$ проведено $N_{цТО} = 14$ ТО при накопленном количестве отказов в циклах ТО $m(L) = 150$. Следовательно, вероятность отказа автомобилей предприятия № 1 к моменту наработки 9 085 километров будет равна $F(L) = 0.038$. Графическая интерпретация вычислений представлена на рис. 1.

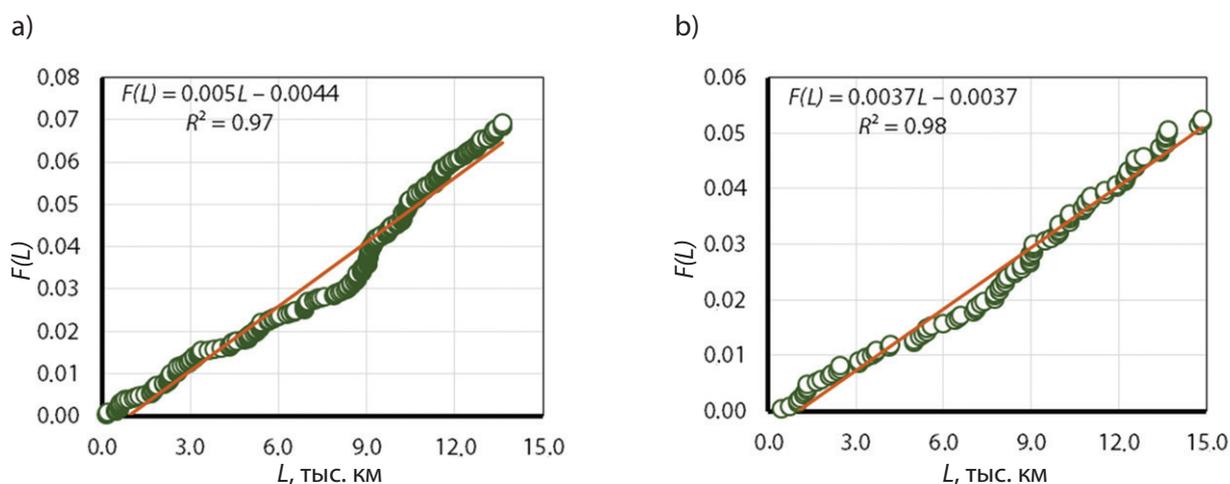


Рис. 1. Влияние наработки на вероятность отказа в циклах ТО на предприятиях № 1 (a) и № 2 (b)
Fig. 1. Effect of operating time on failure probability in maintenance cycles at enterprises No. 1 (a) and No. 2 (b)

Таким образом, в пределах нормативного значения периодичности ТО для группы автомобилей УАЗ Патриот ($L_{TO}^n = 15.0$ тыс. км) двух АТП построены модели влияния наработки на вероятность отказа цикла ТО в условиях вариации фактической периодичности.

Стоит отметить, что начало отсчета каждого цикла ТО начинается после завершения предыдущего. Нормативная периодичность делится на два равных участка. Результаты представлены на рис. 2.

В соответствии с концепцией исследования каждый цикл ТО делится на два равных участка. Нароботка первых участков – 0...7.5 тыс. км, а вторых – 7.5...15.0 тыс. км. Каждый участок аппроксимируется линейной функцией. Высокое значение коэффициента детерминации и простота получения производной линейной функции, которая по физическому смыслу аналогична плотности вероятности отказа $f(L)$, свидетельствуют о высокой степени согласования модели с эмпирическими данными, что подтверждает обоснованность выбранного подхода.

Интерпретация результатов

Для подтверждения выдвинутой гипотезы необходимо линейные тренды построить в координатах «наработка – отклонение вероятности отказа от тренда». Результаты по циклам ТО представлены на рис. 3.

Графическая интерпретация полученных моделей позволяет наглядно продемонстрировать изменение вероятности отказа по наработке в цикле ТО. В результате анализа моделей установлены следующие закономерности: в первом участке (0...7.5 тыс. км) интенсивность возникновения отказов снижается, что свидетельствует о положительном эффекте, достигаемом в результате проведения ТО. Однако по мере увеличения наработки (участок 7.5...15.0 тыс. км) прослеживается обратная тенденция: интенсивность возникновения отказов возрастает, что свидетельствует о снижении эксплуатационной надежности к моменту очередного планового ТО.

Математические модели аппроксимируются квадратичной функцией. Для предприятий № 1 и № 2 коэффициенты корреляции равны 0.82 и 0.81 соответственно, а t -критерий Стьюдента больше табличного значения с вероятностью 0.99.

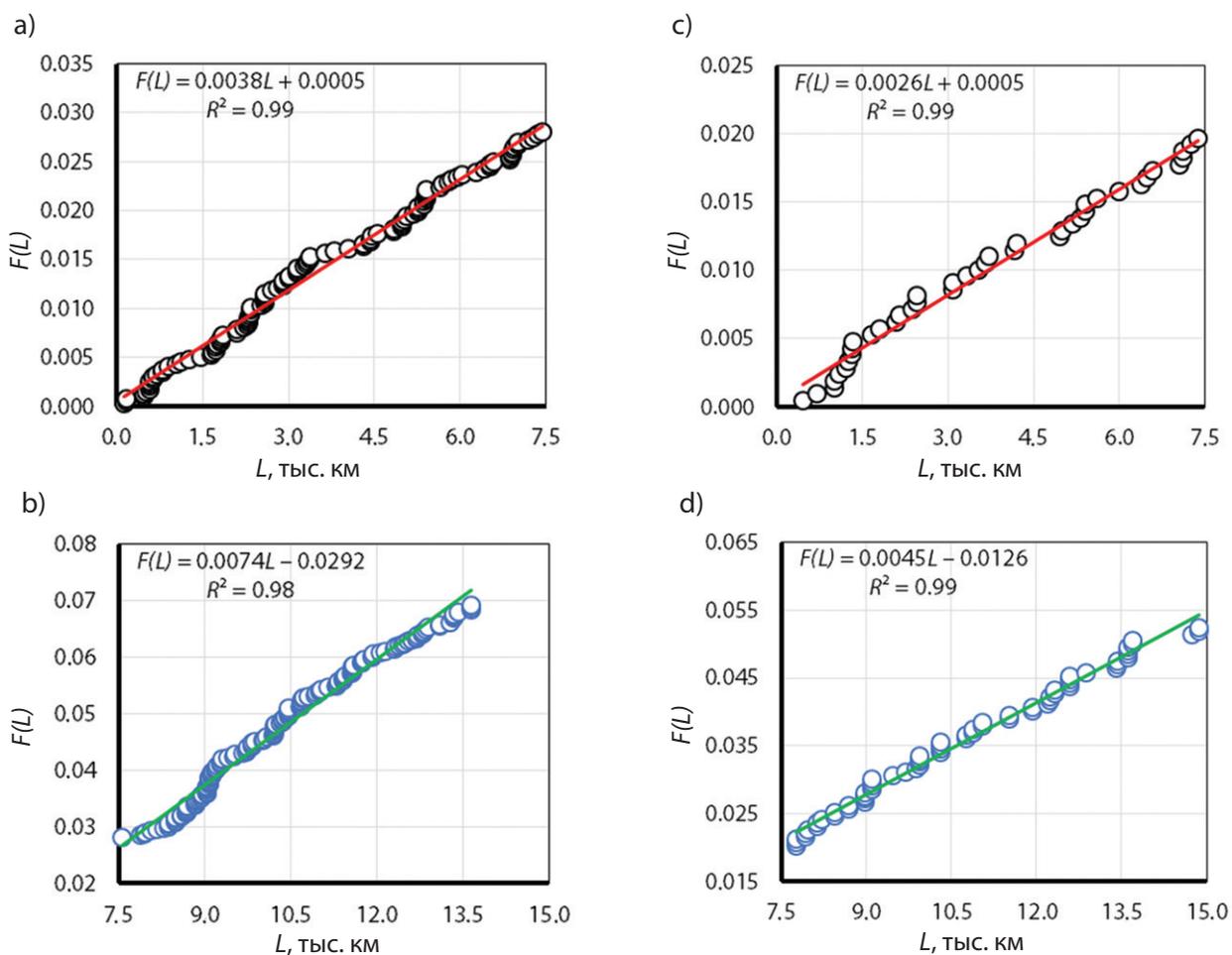


Рис. 2. Влияние наработки на вероятность отказа первых участков на предприятиях № 1 (а) и № 2 (б) и вторых участков на предприятиях № 1 (с) и № 2 (д) циклов ТО
 Fig. 2. Effect of operating time on failure probability in the first sections at enterprises No. 1 (a) and No. 2 (b) and in the second sections at enterprises No. 1 (c) and No. 2 (d) during maintenance cycles

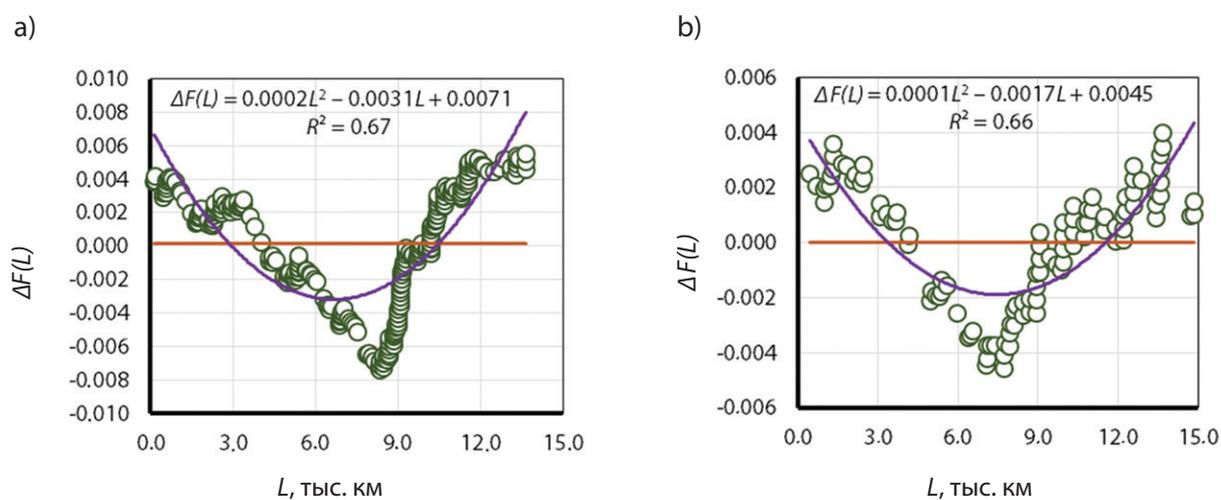


Рис. 3. Отклонение вероятности отказа от тренда в циклах ТО на предприятиях № 1 (а) и № 2 (б)
 Fig. 3. Deviation of the failure probability from the trend during maintenance cycles at enterprises No. 1 (a) and No. 2 (b)

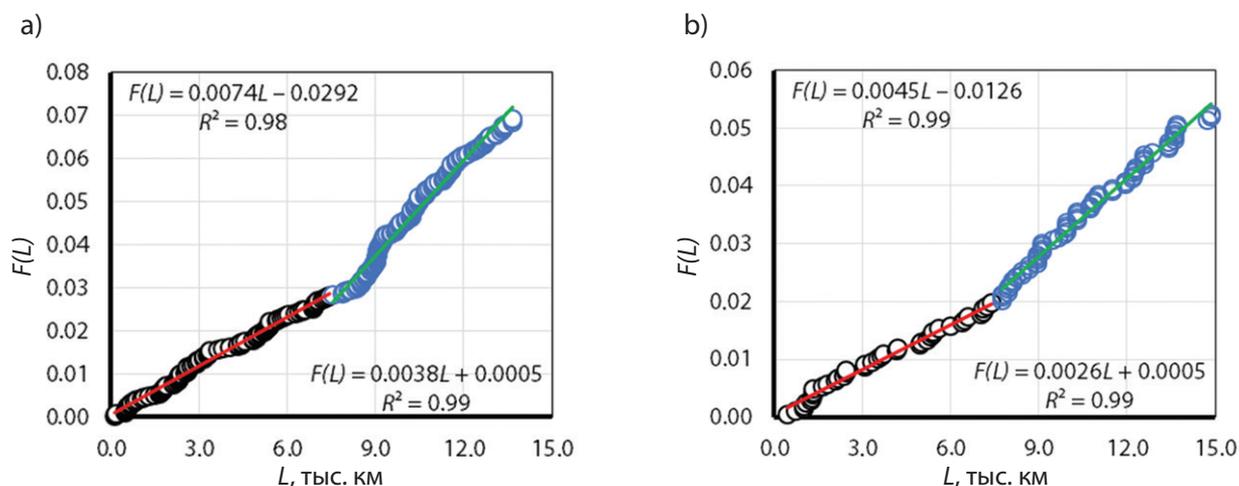


Рис. 4. Изменение вероятности отказа по наработке в циклах ТО на предприятиях № 1 (а) и № 2 (б)
Fig. 4. Variation of failure probability as a function of operating time within maintenance cycles at enterprises No. 1 (a) and No. 2 (b)

На основе полученных результатов, представленных на рис. 4, показатели качества ТО для предприятия № 1 и № 2 соответственно равны:

$$Q_{EV(1)} = \frac{0.0074}{0.0038} = 1.947;$$

$$Q_{EV(2)} = \frac{0.0045}{0.0026} = 1.731.$$

Показатель качества ТО автомобилей предприятия № 1 $Q_{EV(1)}$, равный отношению плотностей вероятности отказа второго участка к участку первому, составляет 1.947. Показатель качества ТО автомобилей предприятия № 2 $Q_{EV(2)}$ равен 1.731. В рассматриваемых примерах плотности вероятности отказов участков после ТО (0...7.5 тыс. км) в 1.947 и 1.731 раз меньше плотностей вероятности отказов участков перед ТО (7.5...15.0 тыс. км), что свидетельствует о качественно организованной системе обеспечения работоспособности двух предприятий. Кроме того, учитывая ранее установленные закономерности, можно предположить, что при значениях показателя качества $Q_{EV} < 1$ эффективность системы обеспечения работоспособности автомобилей АТП будет низкой. Следовательно, логическим продолжением практической реализации исследования является оценка качества ТО автомобилей разных марок с целью получения более широко спектра значений Q_{EV} и их последующей интерпретации.

Таким образом, реализация задач исследования позволяет численно оценить качество ТО автомобилей по отношению приращений вероятностей отказа в участках до и после ТО.

4. Заключение / Conclusions

По результатам исследования сформулированы следующие выводы:

1. Установлено, что после проведения ТО плотность вероятности отказа снижается, но с увеличением наработки она снова растет.
2. В цикле ТО предприятия № 1 коэффициент уравнения линейной регрессии второго участка больше коэффициента уравнения линейной регрессии первого участка в 1.947 раз, а у предприятия № 2 – в 1.731 раз. Полученные значения показателя качества ТО указывают на высокий уровень организации системы обеспечения работоспособности на обоих предприятиях.

3. Путем отношения коэффициентов уравнений линейной регрессии можно численно оценить эффект, достигаемый в результате проведения ТО. Более высокие значения показателя качества указывают на высокое качество обслуживающих мероприятий, тогда как меньшие значения могут свидетельствовать о низкой эффективности ТО.
4. Для практического использования полученных результатов необходимо выполнить аналогичные исследования для автомобилей других марок и моделей, а также разработать методику интерпретации полученных значений показателя качества Q_{EV} .



Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The author declares no relevant conflict of interest.

Список литературы

1. Бузин В. А., Захаров Н. С., Александров А. Э. Организация технического обслуживания с учетом вариации интенсивности эксплуатации автомобилей. *Транспорт Урала*. 2023;(2):60–65. <https://doi.org/10.20291/1815-9400-2023-2-60-65>
2. Криков А. М., Иванов Н. М., Немцев А. Е., Бердникова Р. Г., Федоров А. Г. Информационное сопровождение технического обслуживания и технического диагностирования тракторов и грузовых автомобилей. *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2020;(2):168–177. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43127772>.
3. Сапоженков Н. О., Попцов В. В., Немков М. В. Повышение технической готовности пожарных автомобилей на основе анализа фактических. *Научно-технический вестник Поволжья*. 2024;(12):183–186. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=79488297>.
4. Зарубин В. П. Повышение работоспособности трансмиссий пожарных автомобилей с помощью применения смазочных композиций, содержащих порошок искусственного серпентина. *Проблемы техноферной безопасности: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов*. 2020;(9):39–46. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46445335>.
5. Самсонов А. Н., Тончева Н. Н., Егоров В. П., Иванов М. Ю. К вопросу о техническом обслуживании и ремонте автомобилей. В сб.: *Современное состояние и перспективы развития науки, техники и образования: сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции, Чебоксары, 06 апреля 2018 г.* Чебоксары, 2018. С. 145–148. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34915807>.
6. Булатов С. В. Влияние квалификации персонала на качество услуг на станциях технического обслуживания автомобилей. *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2022;(2):5–11. <https://doi.org/10.15593/24111678/2022.02.01>
7. Козловский В. Н., Вакулич Е. А., Шахов Н. Р. Алгоритм оценки качества производственно-сервисной системы высокотехнологичного предприятия. Часть 1. *Методы менеджмента качества*. 2021;(7):38–45. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46242773>.
8. Никульшин С. В., Заглада Р. Ю. Совершенствование методики оценки качества услуг по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей в системе автосервиса. В сб.: *Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: сборник научных трудов по материалам 82-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 30 января – 01 февраля 2024 г.* Москва, 2024. С. 150–157. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=61882701>.
9. Wo Jae Lee, Haiyue Wu, Huitaek Yun, Hunjun Kim, Martin B. G. Jun, John W. Sutherland. Predictive maintenance of machine tool systems using artificial intelligence techniques applied to machine condition data. *Procedia CIRP*. 2019;80:506–511. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.019>
10. Kane A. P., Kore A. S., Khandale A. N., Nigade S. S., Joshi P. P. Predictive maintenance using machine learning. *Machine Learning*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2205.09402>
11. Булохова Т. А., Толмачева К. П. Повышение качества эксплуатации электропоездов за счет совершенствования организации работы по мониторингу и диагностики локомотивов на базе МСУД. *Молодая наука Сибири*. 2022;(2):340–347. URL: <https://ojs.irgups.ru/index.php/mns/article/view/720>.
12. Булохова Т. А., Толмачева К. П. Предиктивная диагностика как фактор повышения эффективности работы локомотивного парка на Восточном полигоне. *Молодая наука Сибири*. 2023;(2):426–432. URL: <https://ojs.irgups.ru/index.php/mns/article/view/1177>.

13. Талтыкин В. С. Методика учета человеческого фактора в математической модели определения качества ремонта и обслуживания оборудования нефтедобывающих компаний. *Бурение и нефть*. 2018;(1):38–42. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32259978>.
14. Мальцев Д. В., Репецкий Д. С. Контроль производственного персонала при выполнении работ технического обслуживания автомобилей. *Мир транспорта*. 2020;18(6):238–247. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-6-238-247>
15. Бекетова О. Н., Фролов А. Л., Арифиллин М. В. Оценка эффективности функционирования и управления качеством технического обслуживания предприятия. В сб.: *Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XXXI Международной научно-практической конференции, Пенза, 20 февраля 2023 г.* Пенза, 2023. С. 70–73. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50285598>.
16. Бондаренко Е. В., Дрючин Д. А., Булатов С. В. Оценка целесообразности организации входного контроля качества запасных частей в условиях автотранспортного предприятия. *Интеллект. Инновации. Инвестиции*. 2021;(2):71–78. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2021-2-71>
17. Козин Е. С., Ракидин В. А. Контроль качества производства технического обслуживания и ремонта автомобилей с использованием искусственного интеллекта. *Научно-технический вестник Поволжья*. 2023;(12):297–300. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=59886547>.
18. Захаров Н. С., Козин Е. С. Контроль выполнения технологического процесса обслуживания и ремонта автомобилей с использованием нейронных сетей. *Вестник Уральского государственного университета путей сообщения*. 2023;(4):43–51. <https://doi.org/10.20291/2079-0392-2023-4-43-51>
19. Зиганшин А. А., Зиганшин Р. А., Штанов Ю. Н., Захаров Н. С. *Software of Control Maintenance of Auto: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024614675* Российская Федерация: заявл. № 2024612787 от 09.02.2024; опублик. 28.02.2024. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=64587278>.
20. Makarova A. N., Zakharov N., Abakumov G., Elesin S. Assessment of car engineering servicing quality based on failure information. *MATEC Web of Conferences*. 2021;341:00038. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202134100038>

References

1. Buzin V. A., Zakharov N. S., Alexandrov A. E. Organization of technical maintenance taking into account variations of vehicle operation intensity. *Transport of the Urals*. 2023;(2):60–65. (In Russ.) <https://doi.org/10.20291/1815-9400-2023-2-60-65>
2. Krikov A. M., Ivanov N. M., Nemtsev A. E., Berdnikova R. G., Fedorov A. G. Information support of maintenance operations and technical diagnostics of tractors and trucks. *Vestnik of Omsk SAU*. 2020;(2):168–177. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43127772>.
3. Sapozhenkov N. O., Poptsov V. V., Nemkov M. V. Improving the technical readiness of fire trucks based on the analysis of actual failures. *Scientific and Technical Volga Region Bulletin*. 2024;(12):183–186. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=79488297>.
4. Zarubin V. P. To increase the efficiency of transmission of fire engines through the use of lubricant compositions containing the powder of the artificial serpentine. *Problems of technosphere safety: proceedings of the international scientific and practical conference of young scientists and specialists*. 2020;(9):39–46. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46445335>.
5. Samsonov A. N., Toncheva N. N., Egorov V. P., Ivanov M. Yu. To the question of maintenance and repair of cars. In: *Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya nauki, tekhniki i obrazovaniya: sbornik nauchnykh trudov po materialam Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Cheboksary, 06 April, 2018*. Cheboksary, 2018. P. 145–148. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34915807>.
6. Bulatov S. V. The influence of personnel qualifications on the quality of services at car service stations. *Transport. Transport facilities. Ecology*. 2022;(2):5–11. (In Russ.) <https://doi.org/10.15593/24111678/2022.02.01>
7. Kozlovskiy V. N., Vakulich E. A., Shakhov N. R. An algorithm for assessing the production service system quality of a high technological enterprise. Part 1. *Methods of Quality Management*. 2021;(7):38–45. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46242773>.
8. Nikulshin, S. V., Zaglada R. Yu. Improvement of the quality assessment methodology of the car maintenance and repair services in the car service system. In: *Aktual'nyye voprosy tekhnicheskoy ekspluatatsii i avtoservisa podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta: sbornik nauchnykh trudov po materialam 82-oy nauchno-*

- metodicheskoy i nauchno-issledovatel'skoy konferentsii MADI, Moscow, 30 January – 01 February, 2024. Moscow, 2024. P. 150–157. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=61882701>.*
9. Wo Jae Lee, Haiyue Wu, Huitaek Yun, Hunjun Kim, Martin B. G. Jun, John W. Sutherland. Predictive maintenance of machine tool systems using artificial intelligence techniques applied to machine condition data. *Procedia CIRP*. 2019;80:506–511. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.019>
 10. Kane A. P., Kore A. S., Khandale A. N., Nigade S. S., Joshi P. P. Predictive maintenance using machine learning. *Machine Learning*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2205.09402>
 11. Bulokhova T. A., Tolmacheva K. P. Improving the quality of operation of electric locomotives by improving the organization of work on monitoring and diagnostics of locomotives based on MSUD. *Young Science of Siberia*. 2022;(2):340–347. (In Russ.) URL: <https://ojs.irkups.ru/index.php/mns/article/view/720>.
 12. Bulokhova T. A., Tolmacheva K. P. Predictive diagnostics as a factor of the locomotive fleet efficiency increase at the Eastern range. *Young science of Siberia*. 2023;(2):426–432. (In Russ.) URL: <https://ojs.irkups.ru/index.php/mns/article/view/1177>.
 13. Taltykin V. S. Method of accounting for human factors in the mathematical model of determining the quality of repair and maintenance of equipment of oil companies. *Bureniye i neft' = Drilling and oil*. 2018;(1):38–42. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32259978>.
 14. Maltsev D. V., Repetsky D. S. Control of production personnel when performing vehicle maintenance. *World of Transport*. 2020;18(6):238–247. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-6-238-247>
 15. Beketova O. N., Frolov A. L., Arifullin M. V. Evaluation of the effectiveness of the functioning and quality management of the maintenance of the enterprise. In: *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya: aktual'nyye voprosy, dostizheniya i innovatsii: sbornik statey XXXI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Penza, 20 February, 2023*. Penza, 2023. P. 70–73. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50285598>.
 16. Bondarenko E. V., Dryuchin D. A., Bulatov S. V. Evaluation of the feasibility of organizing incoming quality control of spare parts in a motor transport enterprise. *Intellect. Innovations. Investments*. 2021;(2):71–78. (In Russ.) <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2021-2-71>
 17. Kozin E. C., Rakitin V. A. Quality control of car maintenance and repair production using artificial intelligence. *Scientific and Technical Volga Region Bulletin*. 2023;(12):297–300. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=59886547>.
 18. Zaharov N. S., Kozin E. S. Control of the technological process of car maintenance and repair using neural networks. *Herald of the Ural State University of Railway Transport*. 2023;(4):43–51. (In Russ.) <https://doi.org/10.20291/2079-0392-2023-4-43-51>
 19. Ziganshin A. A., Ziganshin R. A., Shtanov Y. N., Zakharov N. S. *Software of Control Maintenance of Auto: Certificate of state registration of computer programme No. 2024614675 Russian Federation: applied No. 2024612787 from 09.02.2024: published on 28.02.2024*. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=64587278>.
 20. Makarova A. N., Zakharov N., Abakumov G., Elesin S. Assessment of car engineering servicing quality based on failure information. *MATEC Web of Conferences*. 2021;341:00038. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202134100038>



Информация об авторе

Сарбей Александр Владимирович, аспирант кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, sanya.sarbey@mail.ru

Information about the author

Alexander V. Sarbey, Postgraduate in the Department of Automobile Transport Operation, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, sanya.sarbey@mail.ru

Получена 12 марта 2025 г., одобрена 22 мая 2025 г., принята к публикации 30 мая 2025 г.

Received 12 March 2025, Approved 22 May 2025, Accepted for publication 30 May 2025