

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Наземные транспортно-технологические средства и комплексы

<https://doi.org/10.17816/transsyst632001>

© Т.Н. Замота, А.С. Лошаков, Е.В. Турушина

Луганский государственный университет имени В. Даля
(Луганск, Россия)

ОЦЕНКА ПОТОКА ОТКАЗОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПО ИЗМЕНЕНИЮ ПАРАМЕТРА ИЗРАСХОДОВАННОГО РЕСУРСА

Цель. Статья рассматривает методы технической диагностики узлов и систем транспортных средств по значению параметра израсходованного ресурса.

Методы. Разработка системы контроля за потоком отказов, которая позволит своевременно их выявлять, прогнозировать развитие поломок и применять меры технического воздействия.

Результаты. Параметрами для оценки надежности являются состояние подвески и рулевого управления и компрессия при оценке двигателя.

Заключение. Разработка интеллектуальных систем диагностирования и прогнозирования позволит повысить эффективность и надежность автомобилей в условиях реальной эксплуатации.

Ключевые слова: техническое обслуживание и ремонт (ТО и Р); транспортные средства; поток отказов; ресурс; долговечность.

Как цитировать:

Замота Т.Н., Лошаков А.С., Турушина Е.В. Оценка потока отказов транспортных средств по изменению параметра израсходованного ресурса // Инновационные транспортные системы и технологии. 2024. Т. 10. № 4. С. 618–629. doi: 10.17816/transsyst632001

Section 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL RESEARCH

Subject – Ground transport and technological means and complexes

© T.N. Zamota, A.S. Loshakov, E.V. Turushina

Lugansk State University named after V. Dahl

(Lugansk, Russia)

ASSESSMENT OF THE FAILURE RATE OF VEHICLES BY CHANGING THE PARAMETER OF THE CONSUMED RESOURCE

Aim. The article examines methods of technical diagnostics of units and systems of Aim. The article examines the methods for diagnosing vehicle units and based on their resource usage parameter.

Methods. A system was developed to monitor failure trends, ensuring timely detection, prediction of potential breakdowns, and implementation of technical measures.

Results. Key parameters for assessing reliability include suspension and steering conditions, and engine compression.

Conclusion. The development of intelligent diagnostic and forecasting systems can improve vehicle efficiency and reliability under real-life operating conditions.

Keywords: maintenance and repair (M&R); vehicles; failure rate; service life; durability.

To cite this article:

Zamota TN, Loshakov AS, Turushina EV. Assessment of the failure rate of vehicles by changing the parameter of the consumed resource. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2024;10(4):618–629. doi: 10.17816/transsyst632001

ВВЕДЕНИЕ

Методы оценки надежности автомобилей базируются, в основном, на теории вероятностей. Понятие надежности включает в себя четыре основные составляющие: вероятность безотказной работы, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Существующие методы прогнозирования оптимального момента проведения ТО (технического обслуживания) и Р (ремонта) транспортных средств, в том числе, органолептические методы, методы периодического объективного контроля являются малоэффективными, они не способны точно определить сроки предупредительных ремонтов и своевременной замены узлов и агрегатов, срок службы которых значительно сокращается в реальных условиях эксплуатации [1]. В связи с этим необходимо разработать теоретическую базу постоянного диагностирования наиболее нагруженных узлов и агрегатов транспортных средств, основанную на использовании технологии интеллектуальных информационных систем [2, 3]. Определение сроков предупредительного ремонта и обслуживания позволяет перейти от адаптивных систем диагностирования и прогнозирования к интеллектуальной системе диагностики, а также прогнозированию выхода из строя узлов и агрегатов автомобиля, условия эксплуатации которого не соответствует рекомендованным заводом-изготовителем [4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Данные по пробегу и наработке до отказа, а также величине потока отказов в средних и критических дорожных условиях определялись на пассажирском автотранспортном предприятии (АТП), которое обеспечивает перевозку пассажиров в системе горных предприятий региона [5]. При эксплуатации парк подвижного состава АТП всегда должен находиться в работоспособном состоянии. С учетом изношенности транспортных средств необходима система контроля за потоком отказов, которая позволит своевременно их выявлять, прогнозировать развитие поломок и применять меры технического воздействия, значительно повышающие эффективность эксплуатации [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Предварительные исследования по изучению надежности транспортных средств в АТП по перевозке пассажиров показали, что основными затратами на эксплуатацию автобусов в исследуемом АТП являются затраты на подвеску и рулевое управление, обусловленные

неудовлетворительным дорожным покрытием в регионе. Причем, на автобусы Ikarus средств необходимо тратить по этой статье расходов в пять раз больше, чем на автобусы Mercedes, Man, Volvo.

Периодическая проверка состояния ТС (транспортного средства) выявила поломки базовых деталей в условиях реальной эксплуатации, которые могли привести к аварийной ситуации на дороге [7]. Отрыв крепления шаровой опоры показал, что была пропущена трещина, которая длительное время развивалась и способствовала появлению вибрации и нарушению геометрии подвески. Отсутствие датчиков, способных контролировать виброакустические параметры работы подвески и других систем, контролирующих правильную работу амортизаторов и подушек, приводят к тому, что отказы становятся внезапными, значительно увеличивают стоимость ремонта и снижают безопасность эксплуатации ТС [8]. Полученные данные, позволяющие оценить ресурс деталей подвески, представлены в Табл.

Условием наступления отказа при различных режимах работы является равенство единице произведения величины потока отказов на время работы механизма ($\lambda_j \cdot t_j = 1$).

На Рис. 1 представлена схема взаимосвязей потоков отказов элементов задней подвески автобусов.

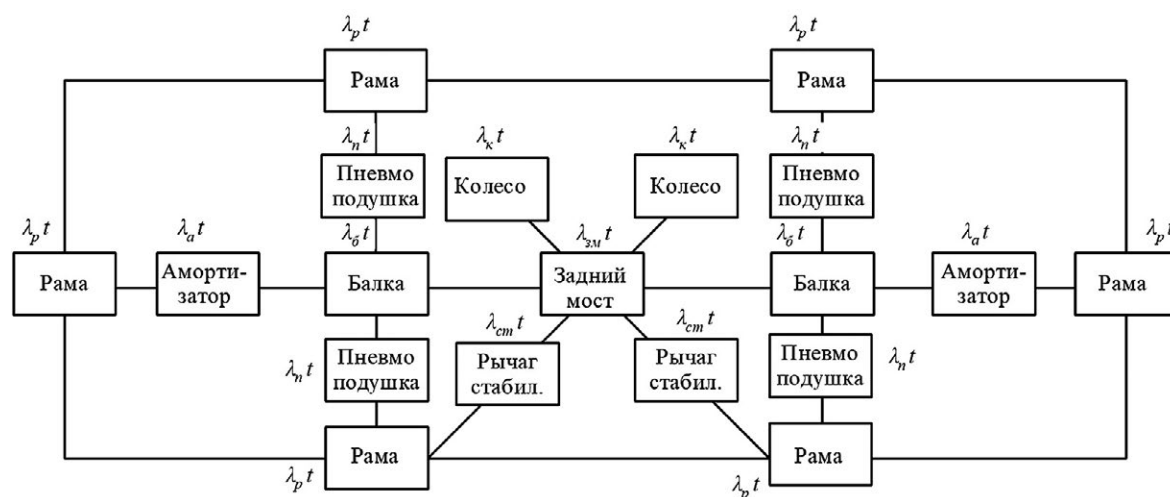


Рис. 1. Схема взаимосвязей потоков отказов элементов задней подвески автобусов:
 λ_p – поток отказов рамы; λ_a – амортизатора; $\lambda_б$ – балки; $\lambda_п$ – пневмоподушки;
 $\lambda_к$ – колеса; $\lambda_ст$ – рычага стабилизатора

Fig. 1. Diagram of the relationships between the failure flows of the elements of the rear suspension of buses: λ_p – failure flow of the frame; λ_a – shock absorber; $\lambda_б$ – beam; $\lambda_п$ – air cushions; $\lambda_к$ – wheels; $\lambda_ст$ – stabilizer arm

Таблица. Ресурс деталей подвески пассажирского автобуса Икарус**Table.** Resource of suspension parts of the Ikarus passenger bus

Деталь или узел подвески	Дорожные условия					
	критические			средние		
	пробег до отказа, тыс. км	наработка до отказа, ч	величина потока отказов, λ , 1/ч	пробег до отказа, тыс. км	наработка до отказа, ч	величина потока отказов, λ , 1/ч
Амортизаторы	15	300	0,0035	35...40	700...800	0,0015... 0,00125
Балка заднего моста	50...70	1000... 1400	0,001... 0,0007	60...80	1200... 1600	0,00083... 0,00065
Пневмо-подушка	80	1600	0,00065	100	2000	0,0005
Сайлентблоки рычагов	20	400	0,0025	50	1000	0,001
Шкворня	25...35	500...700	0,002... 0,0015	80		0,00065
Опорные подшипники шкворней	35	700	0,0015	50	1000	0,001
Пыльники рулевых шарниров	20	400	0,0025	50	1000	0,001
Механизм маятника прицепа	30	600	0,00165	60...80	1200... 1600	0,00083... 0,00065

В период нормальной эксплуатации надежность машин характеризуется внезапными отказами [9]. Считается, что эти отказы появляются при неблагоприятном стечении различных факторов эксплуатации и поэтому имеют постоянную интенсивность, которая не зависит от возраста изделия:

$$\lambda(t) = \text{const} = \frac{1}{M(x)} \quad (1)$$

где $M(x)$ – средняя наработка до отказа. Тогда λ выражается числом отказов в единицу времени.

Значение средней наработки до отказа равно:

$$M(x) = \frac{\sum_{i=1}^n M_i(x)}{n}, \quad (2)$$

где i – порядковый номер интервала наработки, при котором произошел отказ изделия; n – количество интервалов в выборке.

С учетом (2) становится очевидно, что реальное значение наработки на отказ находится в интервале от $M_i(x)=min$ до $M_i(x)=max$. Соответственно, для отдельно взятого изделия $\lambda(t)$ может отличаться от рассчитанного значения по формуле (1).

Широкое распространение при описании надежности сложных технических изделий получил экспоненциальный закон распределения случайной величины [10]. С помощью этого закона с достаточной точностью можно аппроксимировать время безотказной работы особо ответственных машин, эксплуатируемых в период после окончания приработки; машин с последовательной заменой отказавших деталей; сложных объектов, состоящих из многих элементов.

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} = e^{-\lambda t}, \quad (3)$$

Эта вероятность подчиняется экспоненциальному закону распределения и одинакова для любого равновеликого промежутка времени в период нормальной эксплуатации.

Используя экспоненциальный закон распределения, несложно определить среднее число изделий n , которые выйдут из строя к заданному моменту времени, и среднее число изделий N_p , которые останутся работоспособными. При $\lambda \cdot t < 0,1$ справедлива формула разложения в ряд (4)

$$P(t) = 1 - \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2!} - \frac{(\lambda t)^3}{3!} + \frac{(\lambda t)^4}{4!} - \dots \approx 1 - \lambda t \quad (4)$$

Если работа изделия происходит при разных режимах, а следовательно, и интенсивностях отказов λ_1 (за время t_1) и λ_2 (за время t_2), то

$$P(t) = e^{-(\lambda_1 t_1 + \lambda_2 t_2)}, \quad (5)$$

Допущение о постоянстве режима эксплуатации возможно для стационарных машин, работающих в неизменных или слабо

изменяющихся условиях. Применительно к автотранспорту такой подход является малообоснованным.

Вероятность отказа $Q(t)$ с учетом формулы (5) находится по следующей формуле:

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - e^{-(\lambda_1 t_1 + \lambda_2 t_2)}, \quad (6)$$

При случайных изменениях режима работы λ_j за определенные периоды работы t_j , вероятность отказа будет выражена следующим образом:

$$Q(t) = 1 - e^{-\sum_{j=1}^k \lambda_j t_j}, \quad (7)$$

где j – порядковый номер интервала наработки, при котором наблюдался определенный режим работы; k – количество интервалов в выборке.

Отказ наступает при достижении у какого-либо параметра работающего механизма предельного значения. Для более полной оценки работоспособности используются интегральные параметры. Например, таким параметром является величина компрессии при оценке состояния двигателя внутреннего сгорания. Уменьшение компрессии в цилиндре ДВС (двигателя внутреннего сгорания) может быть вызвано целым рядом причин (износ гильзы, износ поршневых колец или их поломка, износ клапанов или гнезд и т.д.). Снижение компрессии до предельного значения вызывает необходимость проведения ремонта и устранения поломки. В данном случае удастся контролировать зазор между поршнем и гильзой. На Рис. 2 показано изменение диагностического параметра, определяющего ресурс механизма, от начального значения до предельного.

Тогда, максимальное значение ресурса, выраженное в часах работы механизма, можно записать в следующем виде

$$t_{\max} = \frac{S_{\text{пред}} - S_{\text{нач}}}{\text{tg}\alpha}, \quad (8)$$

рабочее значение ресурса будет

$$t_p = \frac{S_{\text{раб}} - S_{\text{нач}}}{\text{tg}\alpha}, \quad (9)$$

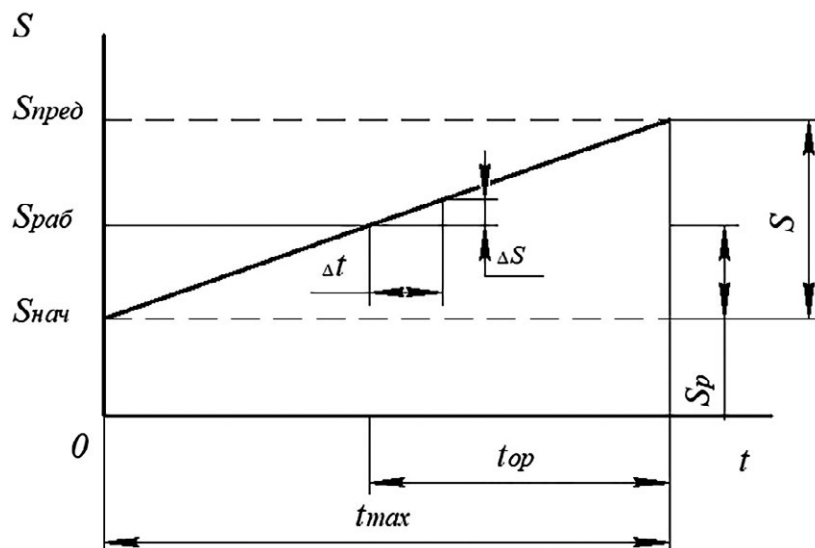


Рис. 2. Изменение диагностического параметра, определяющего ресурс механизма, от начального значения $S_{нач}$ до предельного $S_{пред}$: $S_{раб}$ – рабочее значение диагностического параметра (ДП); S – полный интервал изменения ДП; S_p – рабочий интервал изменения ДП; t_{max} – максимальная наработка, выраженная в часах или км (ресурс); t_{op} – значение остаточного ресурса

Fig. 2. Change of the diagnostic parameter determining the resource of the mechanism, from the initial value $S_{нач}$ to the limit $S_{пред}$: $S_{раб}$ – is the working value of the diagnostic parameter (ДП); S – is the full interval of ДП change; S_p – is the working interval of ДП change; t_{max} – is the maximum operating time, expressed in hours or km (resource); t_{op} – is the value of the remaining resource

а значение остаточного ресурса

$$t_{op} = \frac{S_{пред} - S_{раб}}{tg\alpha}, \quad (10)$$

Если принять начальное значение параметра израсходованного ресурса δ , по которому удобно определять работоспособное состояние механизма, за 0, то можно получить следующее выражение:

$$\delta = \lambda t = 1 - \frac{t_{op}}{t_{max}} = 0, \quad (11)$$

Из выражения (8) видно, что в начальный момент эксплуатации остаточный ресурс равен максимальному ($t_{op} = t_{max}$), а параметр израсходованного ресурса равен 0.

Отношение приращения функции изменения ДП к промежутку времени, за которое это изменение произошло, является дифференциалом функции $s = f(t)$.

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = tg\alpha = \frac{S_{пред} - S_{нач}}{t_{max}}, \quad (12)$$

где α – угол наклона прямой изменения диагностического параметра.

По аналогии с формулой (4), можно записать вероятность безотказной работы, как функцию от изменения интегрального параметра

$$P(t) \approx 1 - \delta = 1 - \frac{t_{op}}{t_{max}} = \frac{S_{пред} - S_{раб}}{S_{пред} - S_{нач}}, \quad (13)$$

Вероятность отказа $Q(t)$ в этом случае с учетом формулы (6 и 13)

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - e^{-(\delta_1 + \delta_2)}, \quad (14)$$

При случайных изменениях режима работы δ_j за определенные периоды работы t_j , вероятность отказа будет выражена следующим образом:

$$Q(t) = 1 - e^{-\sum_{j=1}^k \left(1 - \frac{S_{пред} - S_{раб}}{S_{пред} - S_{нач}}\right) j}, \quad (15)$$

где j – порядковый номер интервала наработки, при котором наблюдался определенный режим работы; k – количество интервалов в выборке.

При неизменном режиме работы механизма параметр израсходованного ресурса δ будет постоянным, а зависимость (15) примет упрощенный вид (16)

$$Q(t) = 1 - e^{-\delta} = 1 - e^{-\left(1 - \frac{S_{пред} - S_{раб}}{S_{пред} - S_{нач}}\right)}, \quad (16)$$

ВЫВОДЫ

1. Предложено оценивать работоспособность машин по значению параметра израсходованного ресурса δ . Это позволяет значительно уточнить прогнозирование надежности сложных технических систем.
2. Предлагаемый параметр израсходованного ресурса δ будет изменяться от 0, в начале эксплуатации, до 1, при выработке ресурса, вне зависимости от типа сопряжения и происходящих процессов потери работоспособности.

3. Изучение сложных технических систем с помощью параметра израсходованного ресурса δ позволит контролировать их в режиме реального времени, на практике внедрить интеллектуальную систему технического обслуживания и значительно повысить технико-экономические показатели эксплуатации.

Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

The authors state that:

1. They have no conflict of interest;
2. This article does not contain any studies involving human subjects.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Замота Т.Н., Замота О.Н., Гринько Е.Т. Усовершенствование системы эксплуатации легковых автомобилей при существующей точности деталей и анализе потока // Научный вестник Луганского государственного аграрного университета. 2021. № 3 (12). С. 283–290.
2. Замота Т.Н., Аулин В.В., Панайотов К.К., и др. Техничко-экономические аспекты усовершенствования стратегии технического обслуживания и ремонта транспортных средств. Луганск: Ноулидж, 2022.
3. Замота Т.Н., Сметана С.А., Замота О.Н., и др. Техничко-экономические подходы к усовершенствованию системы технического обслуживания и ремонта автобусов // Научный вестник Луганского государственного аграрного университета. 2022. № 4(17). С.314–321.
4. Замота Т.Н., Замота О.Н., Гринько Е.Т. Анализ технико-экономических затрат на эксплуатацию автомобиля в пределах жизненного цикла // Вестник ЛГУ им. В. Даля. 2022. №7 (61). С. 59–65.
5. Bokor Z. Cost Drivers in Transportand Logistics // Periodica Polytechnicaser. Transportation Engineering. 2010. Vol. 38, N. 1. P. 13–17. doi: 10.3311/pp.tr.2010-1.03
6. Askarany D., Yazdifar H., Askary S. Supply chain management, activity-based cost in gand organisational factors // International Journal of Production Economics. 2010. Vol. 127, N. 2. P. 238–248. doi: 10.1016/j.ijpe.2009.08.004
7. Кабанов И.С. Разработка информационной автоматизированной системы для исследования управляемых моделей надежности и эффективности: дис. ... канд. техн. наук. М., 2004.
8. Зорин А.И. Повышение эффективности ремонтнообслуживания средств механизации АПК на основе организационно-инженерных мероприятий на примере Удмуртской Республики: дис. ... д-ра техн. наук. Санкт-Петербург, 2006.

9. Курлышев О.В. Методы и программно-аппаратные средства дистанционного контроля состояния узлов автомобиля: дис. ... канд. техн. наук. Ижевск, 2006.
10. Об утверждении норм расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте» от 08 июня 2020 г. Луганск № 139 [internet] Дата обращения: 23.05.2024. Режим доступа: <https://mintrans-lnr.su/>

REFERENCES

1. Zamota TN, Zamota ON, Grinko ET. Improvement of the passenger car operation system with the existing accuracy of parts and flow analysis. *Scientific Bulletin of the Lugansk State Agrarian University*. 2021;3(12):283–290. (In Russ.)
2. Zamota TN, Aulin VV, Panayotov KK, et al. *Technical and economic aspects of improving the strategy of maintenance and repair of vehicles*. Lugansk: Noulidzh, 2022. (In Russ.)
3. Zamota TN, Smetana SA, Zamota ON, et al. Technical and economic approaches to improving the system of maintenance and repair of buses. *Scientific bulletin of the Lugansk State Agrarian University*. 2022;4(17):314–321. (In Russ.)
4. Zamota TN, Zamota ON, Grinko ET. Analysis of the technical and economic costs of operating a car within the life cycle. *Bulletin of the LSU named after V. Dahl*. 2022;7(61):59–65. (In Russ.)
5. Bokor Z. Cost Drivers in Transport and Logistics. *Periodica Polytechnica Ser. Transportation Engineering*. 2010;38(1):13–17. doi: 10.3311/pp.tr.2010-1.03
6. Askarany D, Yazdifar H, Askary S. Supply chain management, activity-based cost in goods and organisational factors. *International Journal of Production Economics*. 2010;2:238–248. doi: 10.1016/j.ijpe.2009.08.004
7. Kabanov IS. *Development of an information automated system for the study of controlled models of reliability and efficiency*. [dissertation] Moscow; 2004. (In Russ.)
8. Zorin AI. *Improving the efficiency of maintenance of agricultural mechanization facilities on the basis of organizational and engineering measures on the example of the Udmurt Republic*. [dissertation] St. Petersburg; 2006. (In Russ.)
9. Kurlyshev OV. *Methods and software and hardware for remote monitoring of the condition of vehicle components*. [dissertation] Izhevsk; 2006. (In Russ.)
10. On approval of fuel and lubricants consumption standards in road transport dated June 08, 2020, Lugansk No. 139 [internet] Accessed: 23.05.2024. Available from: <https://mintrans-lnr.su/>

Сведения об авторах:

Лошаков Александр Сергеевич, аспирант, ассистент кафедры «Автомобильный транспорт»;
eLibrary SPIN: 5820-4660; ORCID: 0009-0004-5690-7186;
E-mail: keksvrue@yandex.ru

Замота Тарас Николаевич, доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой
«Автомобильный транспорт»;

eLibrary SPIN: 4443-7346; ORCID: 0000-0002-9904-4518;

E-mail: zamota71@rambler.ru

Турушина Елена Викторовна, старший преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт»;

ORCID: 0009-0000-8108-0089;

E-mail: dahl.univer@yandex.ru

Information about the authors:

Alexandr S. Loshakov, postgraduate student, assistant of the Department
of Automobile Transport;

eLibrary SPIN: 5820-4660; ORCID: 0009-0004-5690-7186;

E-mail: keksvrucke@yandex.ru

Taras N. Zamota, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department
of Automobile Transport;

eLibrary SPIN: 4443-7346; ORCID: 0000-0002-9904-4518;

E-mail: zamota71@rambler.ru

Elena V. Turushina, senior lecturer of the Department of Automobile Transport;

ORCID: 0009-0000-8108-0089;

E-mail: dahl.univer@yandex.ru