

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА ЭКСПЛУАТАЦИИ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ БАЗОВЫХ ШАССИ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

С. В. БАЛАБА, аспирант,

В. В. КРУДЫШЕВ, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,

А. А. КОРНИЛОВ, кандидат технических наук, начальник научно-исследовательского отдела,

Н. В. ХАБИБУЛЛИНА, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник,

И. С. ЛАЗАРЕВ, кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель,

Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России

(620137, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22)

Л. А. НОВОПАШИН, кандидат технических наук, доцент, заместитель декана по научной работе,  
заведующий кафедрой,

Уральский государственный аграрный университет

(620075, Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42)

**Ключевые слова:** пожарные автомобили, надежность, показатели надежности, методика расчета, определение ресурса, прогнозирование отказов.

Надежность подвижного состава оперативных служб – неотъемлемое условие их своевременного прибытия и эффективности работы. Пожарные автомобили (ПА) создаются на базовом шасси стандартных грузовых и легковых автомобилей, но в отличие от них имеют более тяжелые условия эксплуатации: выезд с непрогретым двигателем, движение со значительными ускорениями и частыми торможениями при полной загрузке автомобиля, работа в любых климатических условиях. Поэтому обеспечение их надежности является актуальной задачей. Цель исследования – составление методики расчета ресурса узлов и агрегатов ПА на основании данных об отказах и выполненных ремонтах. В эксплуатационной документации ПА ведется учет пробега автомобиля и наработки двигателя в стационарном режиме, а также выполненных ремонтов. В результате изучения различных источников была составлен алгоритм действий, позволяющий определить ресурс отдельных узлов и агрегатов ПА используя значения пробега и наработки, соответствующие проведенным ремонтам. Методика включает составление сводной таблицы об отказах в порядке возрастания показателя надежности, определение среднего значения пробега автомобиля или наработки до отказа, определение доверительного интервала и определение вероятности отказа. В результате появляется возможность определения пробега автомобиля или наработки агрегата до предельного состояния с учетом гамма-процентной наработки до отказа  $\gamma = 80 \%$ , что соответствует вероятности отказа  $P = 0,8$ . Применение описываемой методики позволит прогнозировать проведение обслуживания и ремонтов ПА с учетом фактических значений пробега и наработки, а также планировать финансовые средства на проведение восстановительных операций.

## METHODS OF ESTIMATION AND PREDICTION OF SERVICE LIFE OF COMPONENTS AND UNITS OF BASE CHASSIS IN FIREFIGHTING VEHICLES

S. V. BALABA, post-graduate student,

V. V. KRUDYSHEV, candidate of agricultural sciences, associate professor,

A. A. KORNILOV, candidate of technical sciences, head of scientific research department,

N. V. KHABIBULLINA, candidate of technical sciences, leading researcher,

I. S. LAZAREV, candidate of agricultural sciences, senior lecturer

Ural Institute of State Fire Service of the Russian Emergencies Ministry

(22 Mira Str., 620137, Ekaterinburg)

L. A. NOVOPASHIN, candidate of technical sciences, deputy head of scientific work, head of department,  
Ural State Agrarian University

(42 K. Liebknehta Str., 620075, Ekaterinburg)

**Keywords:** fire trucks, reliability, reliability indicators, calculation methods, definition of resource, failure prediction.

Reliability of rolling stock operational services is an essential condition for their timely arrival and efficiency. Fire trucks (FT) are created on the base chassis of cars and trucks, but unlike them have more severe operating conditions: check with the engine cold, the movement with considerable accelerations and frequent braking fully loaded car, work in all climatic conditions. So ensuring their reliability is an actual problem. The purpose of the study is to establish the methodology of the calculation resource of units and aggregates of FT on the basis of data about failures and performed repairs. In the operational documentation of the FT records of car mileage and engine working in the steady state are kept, and also repairs are performed. A study of various sources was compiled sequence of actions to determine the individual resource components and assemblies using the FT mileage and best practices, conducted appropriate repairs. The methodology involves tabulation of failures in ascending order of the reliability index, determination of the average value of the mileage or time to failure, definition of the confidence interval and determining the probability of failure. As a result there is the possibility of determining vehicle mileage or operating time of the unit to the limit state, taking into account gamma-percent time to failure  $\gamma = 80 \%$ , which corresponds to a probability of failure  $P = 0,8$ . The described method will allow to predict the maintenance and repairs of the FT based on the actual values of mileage and experience and to plan funds for recovery operations.

Положительная рецензия представлена Е. Е. Баженовым, доктором технических наук, профессором,  
директором института автомобильного транспорта и технологических систем  
Уральского государственного лесотехнического университета.

К ПА предъявляется ряд требований, в том числе по оперативности прибытия и надежности эксплуатации. Для выполнения требований оперативности автомобили передвигаются в режиме, характеризующем частыми ускорениями, торможением и переключением передач с полной загрузкой автомобиля. При этом узлы и агрегаты испытывают значительные нагрузки, что приводит к их ускоренному износу и выходу из строя. В то же время ПА должны быть надежными и готовыми к выезду в любых условиях, что необходимо для поддержания необходимого уровня пожарной безопасности. Поэтому обеспечение надежности ПА является актуальной задачей на всех этапах их создания и применения.

Существуют различные способы обеспечения надежности автомобилей в процессе эксплуатации: подготовка квалифицированного водительского состава, выполнение требований технической документации при обслуживании и ремонте, использование качественных расходных материалов [1, 2, 3]. Кроме того, возможны альтернативные методы сохранения ресурса узлов и агрегатов автомобилей, например, применение присадок к техническим жидкостям и пластичным смазкам [4, 5, 6, 7]. Однако, представляет интерес определение ресурса узлов и агрегатов в конкретных условиях эксплуатации.

**Цель исследования** – составление методики расчета ресурса узлов и агрегатов ПА на основании данных наблюдения за их эксплуатацией.

Надежность – комплексное свойство, включающее множество различных показателей, в том числе среднюю наработку на отказ, гамма-процентную наработку до отказа, вероятность отказа и вероятность безотказной работы. Все показатели надежности техники относят к категории случайных величин, которые возможно рассчитать с применением методов теории вероятностей и математической статистики. Расчет значений параметров надежности позволяет определить ресурс узлов и агрегатов ПА, запланировать своевременное восстановление состояния этих узлов и финансовые средства на проведение ремонта или обслуживания.

**Результаты исследования.** В научных источниках, учебной и методической литературе [1–3, 8–10] представлены различные методы обработки статистических данных и определения параметров надежности систем. В результате их изучения была составлена методика обработки статистической информации, включающая несколько этапов.

Этап 1. Составление сводной таблицы опытной информации в порядке возрастания показателя надежности. В процессе эксплуатации ПА данные о выполняемых ремонтах и техническом обслуживании фиксируют в специальном формуляре с указанием даты ремонта, пробега автомобиля и наработки

спецагрегата на момент ремонта, наименования восстанавливаемого узла или агрегата, либо типа ремонта. Кроме того, в том же документе ежемесячно ведется учет пробега автомобиля по спидометру  $L$  (км), стационарной работы со спецагрегатом  $\tau$  (мото-ч) и приведенного пробега  $L_{\text{пр}}$  (км). При этом приведенный пробег определяют по формуле:

$$L_{\text{пр}} = L + 50 \cdot \tau \quad (1)$$

Применение этих данных позволяет определить средний пробег, средний приведенный пробег и среднюю наработку до отказа исследуемого узла или агрегата.

Этап 2. Определение среднего значения показателя надежности и среднего квадратического отклонения. Среднее значение – важная характеристика показателя надежности. По среднему значению планируют работу машин, составляют потребность в запасных частях, определяют объемы ремонтных работ и т. д.

При отсутствии статистического ряда, когда  $N < 25$ , среднее значение показателя надежности будет определяться по формуле:

$$\bar{t}_i = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N t_i \quad (2)$$

где  $t_i$  – значение  $i$ -го показателя надежности.

При наличии статистического ряда, т. е.  $N > 25$ , среднее значение показателя надежности будет определяться по формуле:

$$\bar{t}_i = \sum_{i=1}^n t_{ci} \cdot p_i \quad (3)$$

где  $n$  – число интервалов в статистическом ряду;

$t_{ci}$  – значение середины  $i$ -го интервала;

$p_i$  – опытная вероятность  $i$ -го интервала.

Характеристику рассеивания показателя надежности – дисперсию, или среднее квадратическое отклонение, – определяют при отсутствии ( $N < 25$ ) статистического ряда по уравнению:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2}{N}} \quad (4)$$

При наличии статистического ряда ( $N > 25$ ):

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (t_{ci} - \bar{t})^2 \cdot p_i} \quad (5)$$

Этап 3. Определение доверительных границ рассеивания одиночного показателя надежности. При расчете доверительных границ рассеивания показателей надежности рекомендуется принимать следующие значения доверительных вероятностей  $\beta$ : 0,80; 0,90; 0,95; 0,99. Интервал, в который при заданной доверительной вероятности  $\beta$  попадает 100 % общего числа объектов совокупности  $N$ , называют доверительным интервалом  $I_\beta$ .

Границы, в которых может колебаться значение одиночного показателя надежности при заданной  $\beta$ ,

называют нижней  $t_{\beta}^{\text{н}}$  и верхней  $t_{\beta}^{\text{в}}$  доверительными границами. Для определения доверительных границ рассеивания одиночного значения показателя надежности при законе нормального распределения вначале находят абсолютную ошибку.

$$e_{\beta} = t_{\beta} \cdot \sigma \quad (6)$$

где  $t_{\beta}$  – коэффициент Стьюдента.

Нижняя доверительная граница:

$$t_{\beta}^{\text{н}} = \bar{x} - t_{\beta} \cdot \sigma \quad (7)$$

где  $\bar{x}$  – среднее значение показателя надежности.

Верхняя доверительная граница:

$$t_{\beta}^{\text{в}} = \bar{x} + t_{\beta} \cdot \sigma \quad (8)$$

Доверительный интервал:

$$I_{\beta} = t_{\beta}^{\text{в}} - t_{\beta}^{\text{н}} \quad (9)$$

Для отсеивания случайных значений следует использовать выражение:

$$t_{\beta}^{\text{н}} \leq t_i \leq t_{\beta}^{\text{в}} \quad (10)$$

Этап 4. Определение вероятности отказа. Для большинства изделий машиностроения вероятность отказа подчиняется экспоненциальному закону распределения:

$$P_{\text{отк}} = 1 - e^{-\lambda \cdot L} \quad (11)$$

где  $\lambda$  – интенсивность отказов,

$L$  – пробег машины или наработка агрегата.

Интенсивность отказов может быть определена выражением:

$$\lambda = \frac{1}{E} \quad (12)$$

Используя формулы 11 и 12, возможно получить значение вероятности отказа узла или машины при заданной наработке.

Вероятность безотказной работы узла или механизма также подчиняется экспоненциальному закону распределения и определяется выражением:

$$P_{\text{БО}} = e^{-\lambda \cdot L} \quad (13)$$

Вероятность безотказной работы позволяет оценивать значение надежности какого-либо узла, агрегата или машины при заданном пробеге.

При этом нужно учитывать, что для автомобилей, в том числе и пожарных, установлена гамма-процентная наработка до отказа  $\gamma = 80 \%$ , что соответствует вероятности отказа  $P_{\text{отк}} = 0,8$ .

**Выводы.** Приведенная методика позволяет определить вероятность отказа узла или агрегата ПА для заданного пробега или наработки спецагрегата. Полученное значение можно использовать для прогнозирования сроков восстановления исследуемого объекта, с учетом его реального пробега. Это позволит своевременно выполнить восстановительные операции и обеспечить необходимую надежность ПА в процессе эксплуатации.

### Литература

1. Шмелев В. Е., Сергеев А. Н. Теоретические основы надежности, диагностики и ремонта деталей машин : учебное пособие. Тула, 2016. 234 с.
2. Асадуллин Э. З. Основы надежности машин : учебное пособие. М., 2013. 99 с.
3. Курчаткин В. В. Надежность и ремонт машин : учебник. М. : Колос, 2000. 776 с.
4. Зарубин В. П., Киселев В. В., Покровский А. А. Создание перспективных смазочных материалов для использования в пожарной технике // Вестник ВИ ГПС МЧС России. 2016. № 3. С. 17–22.
5. Новопащин Л. А., Денежко Л. В., Павлов В. Е. Результаты исследования влияния применения нано-алмазной (ультрадисперсные алмазы) присадки «НаноКОР-Ф» на эксплуатационные показатели двигателя // Аграрный вестник Урала. 2015. № 4. С. 58–61.
6. Новопащин Л. А., Панков Ю. В., Садов А. А., Кочетков П. В. Влияние наноалмазной присадки для дизельного топлива на геометрические размеры плунжерной пары // Аграрный вестник Урала. 2016. № 5. С. 78–82.
7. Киселев В. В., Маслов А. В., Моисеев Ю. Н., Колбашов М. А. Разработка высокоэффективных смазочных материалов для узлов пожарной техники // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2015. № 1. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-vysokoeffektivnyh-smazochnyh-materialov-dlya-uzlov-pozharnoy-tehniki>.
8. Корнилов А. А., Демченко О. Ю. Научно-исследовательская работа : методические указания по проведению производственной практики. Екатеринбург, 2016. 93 с.
9. Хозяев И. А., Коледов Л. В., Важенин В. А. Оценка надежности машин на основе рисков их функционирования // Вестник ДГТУ. 2016. № 2. URL : <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-nadezhnosti-mashin-na-osnove-riskov-ih-funktsionirovaniya>.
10. Фурманова Е. А., Бойко О. Г. О точности определения надежности систем статистическими методами // Вестник СибГАУ. 2013. № 2. URL : <http://cyberleninka.ru/article/n/o-tochnosti-opredeleniya-nadezhnosti-sistem-statisticheskimi-metodami>.

11. Новопашин Л. А., Коротаев А. А. Критерии изменения и оценки параметров состояния и эксплуатационных качеств сельскохозяйственных машин // Достижения науки – агропромышленному производству : мат. междунар. науч.-тех. конф. 2011. С. 150–155.
12. Новопашин Л. А., Денежко Л. В., Иовлев Г. А., Чирков Н. Ф., Садов А. А. Увеличение моторесурса и снижение токсичности двс путем применения присадок «НаноКОР-F» в системе смазки ВАЗ-2108 // Вестник науки Костанайского социально-технического университета им. акад. З. Алдамжар. 2015. № 1. С. 123–130.
13. Боровских А. М., Новопашин Л. А. Влияние различных факторов на момент сопротивления прокручиванию и износ двигателя // Транспорт Урала. 2007. № 2. С. 28–30.
14. Коротаев А. А., Новопашин Л. А. Оценка и прогнозирование состояния и использования сельскохозяйственных машин // Молодежь и наука – 2010 : мат. науч.-практ. конф. 2010. С. 205–208.

#### References

1. Shmelyov V. E., Sergeev A. N. Theoretical bases of reliability, preliminary treatment and repair of details of cars : manual. Tula, 2016. 234 p.
2. Asadullin E. Z. Bases of reliability of cars : manual. M., 2013. 99 p.
3. Kurchatkin V. V. Reliability and repair of cars : textbook. M. : Kolos, 2000. 776 p.
4. Zarubin V. P., Kiselyov V. V., Pokrovsky A. A. Creation of perspective greases for use in the fire fighting equipment // Ural Institute of State Fire Service of the Russian Emergencies Ministry Bulletin. 2016. № 3. P. 17–22.
5. Novopashin L. A., Denezhko L. V., Pavlov V. E. Results of probe of influence of application nano–diamond (ultradisperse diamonds) additive compounds of “NanoKOR-F” on operating characteristics of the engine // Agrarian Bulletin of the Urals. 2015. № 4. P. 58–61.
6. Novopashin L. A., Pankov Yu. V., Sadov A. A., Kochetkov P. V. Influence of a nanodiamond additive compound for diesel fuel on the geometrical sizes of plunger couple // Agrarian Bulletin of the Urals. 2016. № 5. P. 78–82.
7. Kiselyov V. V., Maslov A. V., Moiseyev Yu. N., Kolbashov M. A. Development of highly effective greases for knots of the fire fighting equipment // Fire safety: problems and prospects. 2015. № 1. URL : <http://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-vysokoeffektivnyh-smazochnyh-materialov-dlya-uzlov-pozharnoy-tehniki>.
8. Kornilov A. A., Demchenko O. Yu. Research work: methodical instructions on holding a work practice. Ekaterinburg, 2016. 93 p.
9. Khozyaev I. A., Koledov L. V., Vazhenin V. A. An assessment of reliability of cars on the basis of risks of their functioning // Messenger of DGTU. 2016. № 2. URL : <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-nadezhnosti-mashin-na-osnove-riskov-ih-funktsionirovaniya>.
10. Furmanova E. A., Boyko O. G. About the accuracy of definition of reliability of systems by statistical methods // Messenger of SIBGAU. 2013. № 2. URL : <http://cyberleninka.ru/article/n/o-tochnosti-opredeleniya-nadezhnosti-sistem-statisticheskimi-metodami>.
11. Novopashin L. A., Korotayev A. A. Criteria of change and an assessment of parameters of a state and operational qualities of farm vehicles // Achievements of science – to agro–industrial production : proc. of intern. scient. and tech. symp. 2011. P. 150–155.
12. Novopashin L. A., Denezhko L. V., Iovlev G. A., Chirkov N. F., Sadov A. A. Increase in motor potential and drop of toxicity двс by application of additive compounds of “NanoKOR-F” in the VAZ-2108 lubricating system // Messenger of science of the Kostanay Social and Technical University of the acad. Z. Aldamzhar. 2015. № 1. P. 123–130.
13. Borovskikh A. M., Novopashin L. A. Influence of various factors on drag torque to scrolling and wear of the engine // Transport of the Urals. 2007. № 2. P. 28–30.
14. Korotayev A. A., Novopashin L. A. Assessment and forecasting of a state and use of farm vehicles // Youth and science – 2010 : proc. of intern. scient. and pract symp. 2010. P. 205–208.