

УДК 629.113

И.К. Шаша<sup>1</sup>, А.О. Иванченко<sup>1</sup>, И.В. Рогозин<sup>2</sup><sup>1</sup>Национальная академия Национальной гвардии Украины, Харьков<sup>2</sup>Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

## ВЫБОР КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ

В статье приводятся результаты исследования долговечности работы автомобилей в зависимости от пробега и затрат энергии, установлена корреляционная связь между ними и обоснована целесообразность планирования технических обслуживаний и ремонта по пробегу.

**Ключевые слова:** надежность, запас долговечности, математическое ожидание, функция распределения, эксплуатация автомобиля.

### Введение

**Постановка проблемы.** Известно, что вероятностно-статистические методы регламентирования надежности работы автомобиля основаны на том, что существует определенная связь между надежностью конструкции и уровнем расчетных нагрузок всех его систем [1]. Это позволяет для задаваемого уровня надежности определять соответствующий уровень расчетных нагрузок. Появление отказов можно представить как факт достижения или превышения внешней нагрузки, действующей на автомобиль, связанной с затратами энергии двигателя [1, 2].

Решение данной задачи является актуальной, поскольку позволит увеличить коэффициент технической готовности автомобильного парка, повысит уровень безопасности дорожного движения и снизит экологическую нагрузку на окружающую среду.

**Анализ последних исследований и публикаций:** В результате проведенных научных исследований доказано, что существенное влияние на безотказность работы системы (автомобиля) оказывают условия эксплуатации [2, 3]. В целом условия эксплуатации в рамках спектральной теории случайных функций наиболее полно характеризуются следующими параметрами:

– функцией математического ожидания отказа:

$$\bar{X}(t) = \frac{1}{n} \sum x_i(t); \quad (1)$$

– дисперсией процесса:

$$D_x(t) = \sum [x(t) - \bar{x}(t)]^2 / n - 1; \quad (2)$$

– корреляционной функцией:

$$k_x(t_k, t_i) = \sum [x(t_k)] [x(t_i) - \bar{x}(t_i)] / n - 1; \quad (3)$$

– нормированной корреляционной функцией:

$$P_x(\tau) = \frac{k_x(\tau)}{\sqrt{D_x(t_k) D_x(t_e)}}; \quad (4)$$

– спектральной плотностью процесса:

$$S(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} P_x(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau, \quad (5)$$

где  $n$  – число реализаций;  $x_i(t)$  – значение параметра функции математического ожидания отказа в сечении  $t$ ;  $t_k, t_e$  – сечения процесса в моменты  $k, e$ ;  $\tau$  – интервал процесса между рассматриваемыми сечениями;  $\omega$  – частота процесса;  $P_x(\tau) e^{-i\omega\tau}$  – интегральное преобразование Фурье.

Приведенные зависимости справедливы при условии, что рассматриваемый случайный процесс эргодичен и стационарен.

Поскольку исследуемые параметры формируются под воздействием спектра случайных факторов на основании центральной предельной теоремы теории вероятностей, их распределение в каждом сечении процесса может быть принято нормальным с плотностью распределения:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}, \quad (6)$$

где  $\bar{x}, \sigma$  – математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение случайной величины.

Для определения количества отказов за время  $t$  внешние нагрузки представляют в форме некоторого процесса изменения количества отказов в ходе эксплуатации автомобиля  $P^e(t)$  характеризующегося продолжительностью  $t$ . Некоторые исследователи считают, что для определения количества отказов вследствие достижения или превышения внешней нагрузки за время  $t$  необходимо установить уровень прочности его конструкции  $P_i^p$  (функция номера  $i$  – случайная величина), выброс энергии за этот уровень соответствует процессу разрушения [3]. Таким образом задача сводится к определению числа отказов по затратам энергии в конкретных условиях эксплуатации.

**Цель статьи.** Разработка способа определения количественных величин запаса долговечности автомобиля.

## Основной материал

Для определения максимально возможного значения отказов автомобиля ( $P_{i\max}^p$ ) принимаем:

- если  $P_{i\max}^p \geq P_i^p$ , то имеет место разрушение;
- если  $P_{i\max}^p < P_i^p$ , то разрушения нет.

Отсюда следует, что для подсчета вероятности разрушения конструкции необходимо определить функцию распределения максимальных величин внешних нагрузок, которая зависит от затрат энергии двигателя, и вероятность выполнения данного неравенства.

Такой подход к определению величины вероятности разрушения может быть использован при любой форме распределения отказов (дискретное или непрерывное описание внешних нагрузок). Формы распределений отказов при малых вероятностях внешних нагрузок и несущих способностей агрегатов на величину вероятности разрушения считается одним из главных недостатков вероятностно-статистических методов расчета.

В настоящее время рассматриваются три способа обеспечения эксплуатационной надежности по условиям сопротивления усталости деталей:

- установление безопасного ресурса;
- обеспечение ресурса по принципу безопасно-го или допустимого повреждения (отказа) с частичным ограничением ресурса;
- эксплуатация автомобиля по состоянию без ограничения ресурса.

Принцип безопасного ресурса устанавливается к деталям, усталостное повреждение которых приводит, как правило, к разрушению всего агрегата и не может быть своевременно в эксплуатации при периодичных обслуживани-ях.

При этом допустимая долговечность ограничивается величиной безопасного ресурса как для парка автомобилей в целом, так и для отдельных экземпляров при индивидуальной оценке условий эксплуатации.

Принцип допустимого повреждения (обеспечение эксплуатационной живучести) применяется для автомобилей, агрегатов или деталей, появление усталостных повреждений которых не приводит к мгновенному разрушению конструкции в целом и может быть обнаружено при проведении технических обслуживаний или ремонтов.

Поскольку основной задачей безопасного ресурса является недопущение разрушений в эксплуатации, то представляется возможным за критерий надежности принять реальную вероятность разрушения, которая может быть определена по затратам энергии автомобиля следующим образом.

Пусть вероятность неразрушения конструкции является некоторой функцией ресурса, выраженного

числом циклов действия переменных внешних нагрузок, тогда функция распределения до разрушения конструкции равна:

$$\tilde{B}_k = 1 - F(N_{\text{ц}}), \quad (7)$$

где  $F(N_{\text{ц}}) = \int_{-\infty}^N f(0)d_0$  – интегральное распределение долговечности по количеству циклов  $N_{\text{ц}}$  нагружения.

Вероятность того, что одна деталь агрегата или узла не разрушится при эксплуатации в течении установленного срока с учетом (7) может быть записана в виде:

$$\tilde{B}_d = \int_{-\infty}^{\infty} [1 - F(N_{\text{ц}})] \cdot f_d(N_{\text{ц}}) dN_{\text{ц}}, \quad (8)$$

где  $f_d(N_{\text{ц}})$  – плотность вероятности допустимого ресурса по результатам усталостного испытания.

На каждом автомобиле большое количество однотипных деталей (подшипники, крепежные соединения, зубчатые передачи, тормозные накладки и т.п.). Обозначим эти детали символом  $\mu$ . Тогда вероятность исправности всех автомобилей одной марки с учетом (8) равна:

$$\tilde{B}_m = \int_{-\infty}^{\infty} [1 - F(x)]^{\mu} \cdot f_d(N_{\text{ц}}) dN_{\text{ц}}. \quad (9)$$

Величину  $\tilde{B}$  целесообразно принять за основной критерий надежности автомобиля по условиям сопротивления усталости, так как эта величина обладает рядом необходимых свойств:

1. Равенство (7) дает однозначную связь между величиной и запасом долговечности при установлении ресурса. Если срок службы устанавливается отношением результата испытаний на коэффициент надежности  $Z$ , тогда:

$$\tilde{B} = \int_{-\infty}^{\infty} \left[ 1 - F\left(\frac{N_{\text{ц}}}{Z}\right) \right]^{\mu} \cdot f_d(N_{\text{ц}}) dN_{\text{ц}}. \quad (10)$$

2. Величина  $\tilde{B}_m$  представляет собой вероятность того, что весь парк автомобилей данной марки не будет иметь ни одного разрушения за период эксплуатации. Поэтому величина  $\tilde{B}_m$  должна быть назначена настолько высокой, чтобы разрушение хотя бы одного автомобиля из всего парка было практически невозможно.

3. Критерий  $\tilde{B}_m$  является достаточно гибким, он позволяет учитывать особенности законов распределения, способ установления срока службы каждого элемента конструкции. Например, закон распределения усталостной долговечности  $F(N_{\text{ц}})$  является сравнительно слабо возрастающей функцией при малых вероятностях и функция  $f_d$  занимает достаточно узкий диапазон долговечности (что соответствует случаю большого числа образцов при

испытаниях на усталость), в уравнении (8) можно принять  $F(N_{ц}) = \text{const}$ .

Перечисленные свойства позволяют считать  $\tilde{B}_m$  приемлемым критерием оценки ресурса при различных величинах  $N_0$ . Для рассматриваемой задачи важным является соотношение порога чувствительности, показывающее, что при достаточно больших его значениях надежность определяется величиной доверительной вероятности безопасного срока службы автомобиля, т.е. порога чувствительности усталостной долговечности. Это позволяет установить количественные величины запаса долговечности.

При заданной величине надежности  $\tilde{B}_m$  необходимый запас долговечности определяют уравнением (7). Для значений величины  $N_0$  близких к величине средней долговечности и большом количестве эксплуатируемых автомобилей, можно значительно упростить расчеты по определению требуемого запаса по коэффициенту надежности  $Z$ . Тогда представим срок службы деталей по результатам испытаний в таком виде:

$$N_{\text{доп}} = \tilde{N}_0 - U_{\text{нм}} \cdot y_{\tilde{N}_0}, \quad (11)$$

где  $\tilde{N}_0$  – оценка среднего порога чувствительности по результатам испытаний;  $U_{\text{нм}}$  – квантиль нормального распределения, соответствующий вероятности  $\tilde{B}_m$ ;  $y_{\tilde{N}_0}$  – среднеквадратичное значение порога чувствительности детали к разрушению.

Если срок службы устанавливается отношением результата испытаний на коэффициент надежности  $N_d = N_{ц} / Z$ , то в рассматриваемом случае  $N_{ц} = N_0$ , получим формулу для определения требуемого запаса долговечности автомобиля с учетом порога чувствительности по циклам:

$$Z = \frac{1}{1 - \frac{k_1}{\sqrt{a}} \frac{e^n}{N_0} U_{\text{нм}} e^{-y^2}}, \quad (12)$$

$$\text{где } k_1 = \frac{y_{N_0}}{\sqrt{y_{N_0}^2 + 1 - 0,5(4y_{N_0}^4 + y_{N_0}^2 + 2)e^{-y_{N_0}^2}}};$$

$a$  – число автомобилей, находящихся под наблюдением.

## Выводы

Соотношение порога чувствительности усталостной долговечности показывает, что надежность определяется величиной доверительной вероятности безопасного срока службы автомобиля и позволяет установить количественные величины запаса долговечности.

В результате работы определены:

– вероятность не разрушения одной детали агрегата или узла при эксплуатации в течении установленного срока, что можно принимать как основной критерий надежности автомобиля по условиям сопротивления усталости;

– требуемый запас долговечности автомобиля с учетом порога чувствительности по циклам.

Таким образом процесс обеспечения ресурса по критерию допустимого отказа можно описать на основе сопротивления усталости элементов конструкции.

## Список литературы

1. Говоруценко Н.Я. Системотехника проектирования транспортных машин: учеб. пос. / Н.Я. Говоруценко, А.Н. Туренко. – Изд. 3-е, испр. и доп. Х.: ХНАДУ, 2004. – 208 с.
2. Говоруценко Н.Я. Диагностика технического состояния автомобилей / Н.Я. Говоруценко. – М.: Транспорт, 1970. – 254 с.
3. Туренко А.Н. Нетрадиционный подход, концепция и модели устойчивого развития автосервисной системы / А.Н. Туренко, А.В. Гогайзель // Вестник ХГПУ. – Харьков: ХГПУ, 1999. – С. 54-59.

Поступила в редколлегию 14.07.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Х.В. Раковский, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## ВИБІР КРИТЕРІЮ ОЦІНКИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ АВТОМОБІЛІВ

I.K. Shasha, A.O. Ivanchenko, I.V. Rogozin

У статті наводяться результати дослідження довговічності роботи автомобілів залежно від пробігу і витрат енергії, встановлений кореляційний зв'язок між ними і обґрунтована доцільність планування технічних обслуговувань і ремонту по пробігу.

**Ключові слова:** надійність, запас довговічності, математичне очікування, функція розподілу, експлуатація автомобіля.

## CHOOSE EVALUATION CRITERIA OPERATIONAL RELIABILITY OF THE VEHICLE

I.K. Shasha, A.O. Ivanchenko, I.V. Rogozin

In the article results over of research of longevity of work of cars are brought depending on a run and expenses of energy, cross-correlation connection is set between them and expediency of planning of technical services and repair is reasonable on a run.

**Keywords:** reliability, supply of longevity, expected value, function of distribution, exploitation of car.