

УДК 681.5.09

А.О. Харченко, канд. техн. наук; И.В. Янчук, ст. преп.;

Е.Н. Ларионова, ст. преп.

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sevgtu.sevastopol.ua

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОТЫ АВТОМОБИЛЯ С УЧЕТОМ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ОТКАЗОВ

Построена полумарковская модель функционирования автомобиля с учетом различных видов отказов. Определены производительность, стационарные характеристики надежности, получены формулы для определения удельных прибыли и затрат.

Время восстановления автомобильных систем существенно зависит от видов отказавших узлов и элементов. При расчете и эксплуатации систем одна из основных задач заключается в том, чтобы свести к допустимому минимуму количество простоев, максимально сократить длительность их устранения, оценить влияние простоев на характер функционирования автомобилей.

Задачи, посвященные причинам возникновения простоев, анализу влияния этих отказов на надежность автомобильных систем, возникают из поиска путей сокращения различных видов потерь времени. Исследованиям, посвященным поискам повышения надежности автомобильных систем с учетом различных видов отказов, посвящены работы [1,2]. В них принимается ряд допущений, снижающих точность расчетов, одним из которых является предположение об экспоненциальном распределении времен восстановления и безотказной работы системы.

Одним из применяемых при описании работы автомобилей, анализа оценки надежности и экономических характеристик автомобильных систем является математический аппарат теории полумарковских процессов с общим фазовым пространством. Этот выбор обусловлен тем, что использование полумарковских случайных процессов (ПМП) с общим фазовым пространством состояний в качестве основы анализа сложных систем позволяет отказаться от существенных допущений об экспоненциальности распределений параметров системы и независимости функционирования ее элементов.

Рассмотрим пример функционирования систем на примере грузового автомобиля УАЗ. Отказ системы может произойти по причине отказа i -го

устройства, $i = \overline{1, n}$ с вероятностью $p_i \geq 0$, $\sum_{i=1}^n p_i = 1$. Время безотказной

работы системы – случайная величина (СВ) α и время восстановления –

СВ β_i , $i = \overline{1, n}$ – показательно распределенные случайные величины с параметрами λ и μ_i ($i = \overline{1, n}$) соответственно.

Для описания функционирования системы используется ПМП с состояниями:

e_0 – объект восстановился и начал функционировать;

e_i – объект отказал по i -ой причине с вероятностью p_i , началось его восстановление.

ПМВ с конечным числом переходов $\{\xi_{ns}, \theta_n, n \geq 0\}$ задается ПМ ядром [3]:

$$Q_{rk}(t) = p_{rk}(1 - e^{-\Lambda_r t}),$$

с вероятностями перехода вложенной цепи Маркова (ВЦМ)

$$p_{rk} = \frac{\Lambda_{rk}}{\Lambda_r}, \quad \Lambda_r = \sum_{r \in E} \Lambda_{rk}.$$

При этом $\Lambda_r = \sum_{r \in E} \Lambda_{rk}$ служат параметрами показательного распределенных времен пребывания a_r в состояниях r :

$$\Lambda_0 = \lambda, \quad \Lambda_{0i} = \lambda \Rightarrow p_{0i} = 1,$$

$$\Lambda_i = \mu_i, \quad \Lambda_{i0} = \mu_i \Rightarrow p_{i0} = 1,$$

$$Q(t, e_0, e_i) = P\{\xi_{n+1} = e_i, \theta_{n+1} \leq t / \xi_n = e_0\} = p_{0i}(1 - e^{-\Lambda_0 t}) = 1 - e^{-\lambda t},$$

$$Q(t, e_i, e_0) = P\{\xi_{n+1} = e_0, \theta_{n+1} \leq t / \xi_n = e_i\} = p_{i0}(1 - e^{-\Lambda_i t}) = 1 - e^{-\mu_i t}.$$

Функции распределения времен пребывания в состояниях:

$$G_r(t) = P(\theta_r \leq t) = 1 - e^{-\Lambda_r t},$$

$$G_i(t) = P(\theta_i \leq t / i = \overline{1, n}) = 1 - e^{-\mu_i t},$$

$$F(t) = P(\theta_0 \leq t) = 1 - e^{-\lambda t}.$$

Среднее время пребывания в подмножестве состояний:

$$m_{e_0} = M\theta_0 = \frac{1}{\lambda}, \quad m_{e_i} = M\theta_i = \frac{1}{\mu_i}.$$

Стационарное распределение ВЦМ:

$$\rho_k = \sum_{r \in E} \rho_r p_{rk}, \quad k \in E, \quad \begin{cases} \rho_0 = \frac{1}{2}; \\ \rho_i = \rho_0 p_i. \end{cases}$$

Стационарное распределение ПМП:

$$\pi_k = \frac{\rho_k m_k}{\hat{m}} - \text{доля времени пребывания в состоянии } k \in E \text{ ПМП в}$$

установившемся режиме

$$\hat{m} = \sum_{k \in E} \rho_k m_k, \quad m_k = M\theta_k = M[\theta_{n+1} / \xi_n = k],$$

$$\pi_0 = \frac{\rho_0 m_0}{\rho_0 m_0 + \sum_{i=1}^n \rho_i m_i} = \frac{1/\lambda}{\frac{1}{\lambda} + \sum_{i=1}^n \frac{p_i}{\mu_i}} = \frac{1}{1 + \lambda \sum_{i=1}^n \frac{p_i}{\mu_i}},$$

$$\pi_i = \frac{\rho_i m_i}{\rho_0 m_0 + \sum_{i=1}^n \rho_i m_i} = \frac{1/\mu_i}{\frac{1}{\lambda} + \sum_{i=1}^n \frac{p_i}{\mu_i}} = \frac{1}{\mu_i \left(\frac{1}{\lambda} + \sum_{i=1}^n \frac{p_i}{\mu_i} \right)}.$$

Данные по вероятности возникновения отказов, времени восстановления и результаты расчетов по данным Севастопольского авторемонтного завода приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные и результаты расчетов надежности систем автомобиля УАЗ-3307

Автомобильная система	Среднее время восп., час	Вероятность отказа	Условное обозначение	Величина
Безотказная работа автомобиля	—	—	π_0	0,98
Система двигателя	38,7	0,163	π_1	0,007
Система трансмиссии	10,68	0,163	π_2	0,0075
Рулевое управление	3	0,102	π_3	0,002
Тормозная система	6,8	0,143	π_4	0,0046
Электрооборудования	7	0,163	π_5	0,0047
Ходовая часть	36	0,163	π_6	0,025
Кузов и кабина	34,3	0,102	π_7	0,023

Среднее стационарное время наработки на отказ T_+ , стационарное время восстановления T_- , коэффициент готовности K_Γ определяются для рассматриваемых систем следующим образом:

$$T_+ = \frac{\sum_{i \in E_+} m_i \rho_i}{\sum_{i \in E_+} \rho_i P_{0i}} = \frac{\rho_0 m_0}{\rho_0 \sum_{i=1}^n p_i} = m_0 = \frac{1}{\lambda}, \quad T_- = \frac{\sum_{i \in E_-} m_i \rho_i}{\sum_{i \in E_-} \rho_i P_{0i}} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{p_i}{\mu_i}}{1} = \sum_{i=1}^n \frac{p_i}{\mu_i},$$

$$K_\Gamma = \frac{\sum_{i \in E_+} m_i \rho_i}{\sum_{i \in E} \rho_i m_i} = \frac{\rho_0 m_0}{\rho_0 m_0 + \rho_0 \sum_{i=1}^n p_i} = \frac{1/\lambda}{\frac{1}{\lambda} + \sum_{i=1}^n \frac{p_i}{\mu_i}} = \frac{1}{1 + \lambda \sum_{i=1}^n \frac{p_i}{\mu_i}}.$$

$$K_{\Gamma} = 0,9889.$$

Одна из особенностей автомобильных систем состоит в том, что оценка качества их функционирования проводится с помощью функций, связанных с экономическим эффектом от их использования в течение установленного срока службы. Такими случайными функциями могут служить убытки (экономические потери), которые зависят от количества и последствий отказов. Следовательно, можно сказать, что стоимость годовой эксплуатации автомобильной системы может быть представлена в виде двух составляющих: средней удельной прибыли и удельных затрат.

Определим среднюю удельную прибыль и средние удельные затраты. В [4] показано, что

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{S(t)}{t} = \int_E \pi(dy) f(y),$$

где $\pi(dy)$ – стационарное распределение ПМП,

$$\pi(B) = \frac{\int_B p(dx) m(x)}{\int_E p(dx) m(x)} = \frac{\rho_r m_r}{\sum_{k \in E} \rho_k m_k} = \pi_r,$$

$S(t)$ – аддитивный интегральный функционал

$$S(t) = \int_0^t f(X(u)) du, \quad X(u) \text{ – случайный ПМ процесс.}$$

Для S – удельной прибыли $f(y)$ – ограниченная функция, равная

$$f(y) = \begin{cases} c_0, \dots, y \in e_0, \\ -c_i, \dots, y \in e_i. \end{cases}$$

Для $S1$ – удельных затрат функция $f(y)$ определяется несколько иначе:

$$f(y) = \begin{cases} c_i, \dots, y \in e_i, \\ 0, \dots, y \in e_0. \end{cases}$$

$$S = c_0 \pi(e_0) - \sum_{i=1}^n c_i \pi(e_i) = \frac{c_0}{1 + \lambda \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{\mu_i}} - \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{\mu_i \left(\frac{1}{\lambda} + \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{\mu_i} \right)},$$

$$S1 = \sum_{i=1}^n c_i \pi(e_i) = \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{\mu_i \left(\frac{1}{\lambda} + \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{\mu_i} \right)}.$$

Полученные формулы позволяют выявить те узлы и элементы автомобилей, которые в первую очередь нуждаются в усовершенствованиях и мо-

дернизации, что позволяет увеличивать надежность и производительность как отдельного узла, так и автомобиля в целом.

Библиографический список

1. Харченко А.О. Исследование эксплуатационной надежности систем автомобиля / А.О. Харченко // MECHANICS' 98: Proceeding of the intern. sci. conf., Rzeszow, june 1998 y. — Rzeszow, 1998. — P. 259–261.

2. Obzerin Ju.E. Analiza wplywu waznosci roznych uszkodzen na niezawodnosc zautomaty zowanych nechnologicznych systemow / Ju. Obzerin, I. Yanchyk, M. Zamorenow // Technika i teczynologia montazu maszyn. — 2001. —P. 73–76.

3. Полумарковские модели восстанавливаемых систем и систем массового обслуживания / А.Н. Корлат, В.Н. Кузнецов, М.М. Новиков, А.Ф. Турбин. — Кишинев: Штиинца, 1991. — 276 с.

4. Шуренков В.М. Эргодические процессы Маркова / В.М. Шуренков. — М.: Наука, 1989. —336 с.

Поступила в редакцию 16.04.2003 г.