

УДК 656.11

И.К.ШАША, д-р техн. наук

*Харьковский национальный университет внутренних дел*

Г.И.ФЕСЕНКО

*Украинская инженерно-педагогическая академия, г.Харьков*

## **МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОМЕНКЛАТУРЫ ЭЛЕМЕНТОВ БАЗИСНОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТЬЮ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА**

Обозначены пути решения проблемы управления работоспособностью подвижного состава автомобильного транспорта, базирующиеся на выборе оптимальных режимов профилактики и восстановления. Определены номенклатура элементов и последовательность разработки и реализации программного обеспечения управления работоспособностью автомобилей.

Визначені шляхи рішення проблеми управління працездатністю рухомого складу автомобільного транспорту, яке базується на виборі оптимальних режимів профілактики та відновлення. Визначена номенклатура елементів і послідовність розробки та реалізації програмного забезпечення управління працездатністю автомобілів.

The ways of decision of problem of management the capacity of mobile composition of motor transport are marked in the article, being based on the choice of the optimum modes of prophylaxis and renewal. The nomenclature of elements and sequence of development and realization of management the capacity of cars software is certain.

*Ключевые слова:* управление работоспособностью, автомобильный транспорт, программное обеспечение.

Известно, что практическое решение и координация задач диагностирования и управления работоспособностью подвижного состава имеет свои особенности. Формально задача сводится к отысканию пары  $(\pi^{\infty}, \tau^{\infty})$  или  $(\pi^*, \tau^*)$ , которая максимизирует критерий  $Y$ , т.е.  $Y^*(\pi^*, \tau^*) \geq Y(\pi, \tau)$ . Предполагается, что при любой стратегии  $\pi$  – это множество образует эргодический класс восстанавливаемых состояний. Это отвечает самому распространенному и наиболее важному классу практических задач технической службы предприятий автотранспорта по поддержанию работоспособности подвижного состава [1].

Эффективное решение проблемы управления работоспособностью подвижного состава должно базироваться на выборе оптимальных режимов профилактики и восстановления для выполнения плана перевозок с комплексной характеристикой, ориентированной на гарантированное достижение дохода – конечного результата деятельности предприятия. Это может быть достигнуто на основе системной методологии, методах оптимальных решений и моделях оптимальных стратегий диагностирования.

Функцию полезностей  $W(x, y, \tau)$  определим вектором с двумя компонентами  $W^1(x, y, \tau)$ , и  $W^2(x, y, \tau)$ , отражающими соответственно интересы технической и коммерческой служб. В условиях рынка коммерческая служба является заказчиком на исправные автомобили, техническая служба – подрядчиком, обеспечивающим работоспособность каждого из них [1, 2]. Использование автомобиля по целевому назначению (для перевозки грузов или пассажиров) приносит коммерческой службе доход с интенсивностью  $v$  грн./км.

Восстановление работоспособности, наоборот, приносит доход технической службе –  $C_1(x, y)$ , который выплачивается из доходов коммерческой службы. Другими словами,  $C_1(x, y)$  является по существу штрафом. Штрафом будем для нее считать потерю дохода  $\alpha_1(x, y)$  за время простоев автомобиля для восстановления работоспособности.

За возникновение отказа на пробеге  $\tau$  технической службе начисляется штраф  $C_2^1(x)$ . Одновременно начисляется штраф  $C_2^2(x)$  коммерческой службе за невыполнение транспортной работы. За выполнение диагностирования технической службе начисляется доход  $C_0^1$ , а коммерческой – штраф  $C_0^2 = C_0^1 + d_0$  – потери дохода за время простоя автомобиля на диагностировании [3].

Из рассмотренной структуры штрафов и доходов следует, что функция полезностей технической службы представляется разностью между доходом за воздействие и математическим ожиданием штрафа за отказ автомобиля на пробеге  $\tau$ , т.е.

$$W^1(x, y, \tau) = C_0^1 + C_1(x, y) - M\{C_2^1 / x, y, \tau\}. \quad (1)$$

Функция полезностей коммерческой службы – это разность между математическим ожиданием дохода на пробеге  $\tau$  и штрафом за восстановление, отказ и простои, т.е. она имеет структуру

$$W^2(x, y, z) = v M\{\xi M(x, y, \tau)\} - C_0^2 - C_1(x, y) - \alpha_1(x, y) - M\{C_2^2 / x, \bar{y}, \tau\},$$

где  $\xi\{x, y, \tau\} = \min\{\xi\{x, y\}\}$ .

Для задания указанных компонентов в явном виде уточним следующие элементы:

$$M\{C_2 / x_1, y, \tau\} = \sum_{n \in E_1} C_2 \quad \text{и} \quad Q \quad \text{и} \quad / x_1, y, \tau \quad x \in \hat{E};$$

$$M\{\xi(Z, \tau)\} = \frac{1-Z}{\alpha} \left( \left( 1 - e^{-\frac{\alpha\tau}{1-\alpha}} \right) \right); \quad (2)$$

$$M\left\{\left\{\xi\left(\left(x_i, y, \tau\right)\right)\right\}\right\} = \sum_{k=0}^i \frac{1 - \sum_k}{\alpha} \left( \left( 1 - e^{-\frac{\alpha \tau}{1 - \sum_k}} \right) \right) \times \left( e^{-\frac{\mu(y)(Z_{i+1} - Z_{k+1})}{Z_{k+1}}} - e^{-\frac{\mu(y)(Z_{i+1} - Z_k)}{Z_k}} \right).$$

Этим определяются все элементы базисной модели управления работоспособностью подсистем автомобиля. Если рассматривать систему в целом, то модель управления работоспособностью будет отличаться лишь тем, что в этом случае допустимы только два решения: признать систему работоспособной или неработоспособной.

Формирование исходных предпосылок и данных для модели производится в такой же последовательности. На основании анализа неисправностей и отказов автопоездов считаем, что система (подсистема, элемент) может находиться в состояниях:  $E_1$  – исправном и работоспособном;  $E_2$  – неисправном, но работоспособном;  $E_3$  – неисправном и неработоспособном;  $E_4$  – предотказовом;  $E_5$  – отказовом. Они образуют множество состояний  $E$  системы.

Для обеспечения работоспособности системы будем использовать следующие управления  $Y$ :  $Y_1$  – не проводить профилактику или ремонт;  $Y_2$  – провести подтяжку элементов;  $Y_3$  – отрегулировать отдельные элементы (тормозные механизмы, например);  $Y_4$  – провести диагностическую настройку;  $Y_5$  – заменить элемент (узел, элемент или отказавшую деталь).

Динамику снижения работоспособности будем оценивать по диагностическим параметрам, адекватно отражающим изменения технического состояния сопряжений, и обобщенными диагностическими характеристиками оценки качества функционирования подвижного состава.

В качестве примера рассмотрим методологический подход к решению задачи оценки работоспособности автопоезда. Эта сложная система условно расчленяется по нескольким иерархическим уровням. На самом высоком уровне (нулевом) располагается тягач (прицепной состав) как система управления работоспособностью. Далее, идут уровни: первый – подсистемы (например, ходовая часть); второй – механизмы (тормозные); третий – узлы; четвертый – сопряжения и сочленения деталей; пятый – отдельные детали; шестой – посадочные места; седьмой – элементы деталей (шлицы и др.) [1].

В зависимости от решаемой задачи модель позволяет рассматривать различные уровни иерархии. Эволюция состояния систем, подсистем

тем и элементов описывается уравнениями

$$x_{i+1} = Q(x_i, y_i), \quad l = 0, 1,$$

где  $Q$  – отображение  $(E \times Y) \rightarrow P(E)$ ;  $P(E)$  – семейство вероятностных мер на  $E$ , определяющее закон эволюции системы;  $Q$  – задается семейством условных распределений  $Q(E \times Y)$  на  $E$ , зависящих от условий  $(X, Y) \in E \times Y$ . Семейство таких распределений – переходная функция, оценивающая вероятность перехода неисправного состояния в исправное под воздействием управлений.

Процесс потери работоспособности системой на основании многочисленных экспериментальных данных [4, 5] можно считать случайным процессом  $\{Z_1, l \in [0, \infty)\}$ , если выполняются следующие четыре условия: траектории  $Z_1$  являются неубывающими функциями пробега, т.е.

$$P\{Z_{1+\tau} \geq Z_1\} = 1, \quad v_\tau \geq 0;$$

траектории  $\{Z_1\}$  могут обрываться; момент обрыва является отказом системы (определяется по обобщенной диагностической характеристике или оптимальному диагностическому тесту прицепа), подсистемы (по совокупности диагностических параметров), элементов (диагностический параметр состояния сопряжения или сочленения):

$$P\{1 + \xi \leq 1 + \Delta l / Z_0^1, Z_1 = Z, \xi > 1\} = \lambda(Z, 1)\Delta l + 0(\Delta l), \quad (3)$$

где  $\lambda(Z, 1)$  – не убывает по  $Z$  и  $l$ ;  $Z_0^1 = \{Z_s, 0 \leq s \leq t\}$  – функция  $\lambda(z, 1)$  не убывает по  $Z$  и по  $l$ . Эта функция  $\lambda(z, 1)$  отражает опасность отказа в зависимости от значения износа  $Z$ .

Процесс износа деталей тягача (прицепного состава), как правило, недоступен непосредственному наблюдению. В то же время всегда существуют диагностические параметры, характеризующие степень износа, доступные наблюдению и измерению приборами. Поэтому считаем, что с помощью средств диагностирования процесс снижения работоспособности прицепа доступен для измерения без разборки механизма, узла и сопряжения деталей. Указанные четыре условия определяют параметр изменения работоспособности (потерю или восстановление), пригодный для целей управления.

Модель управления работоспособностью построена в предположении (без ограничения общности), что нормативный параметр работоспособности принимает значение из единичного отрезка  $S = [0, 1]$  и описывается множеством состояний  $E = S \times \{0, 1\}$ , где  $0$  – отказа нет,  $1$  – отказ есть.

Так как непрерывное диагностирование состояний прицепа состава практически невозможно и организационно нецелесообразно, то будем контролировать степень его работоспособности с периодичностью  $\tau$ . Сущность управления работоспособностью будет заключаться в следующем. Если в моменты диагностирования обнаруживается тенденция снижения или опасная степень ее потери (предотказовое состояние), то уровень работоспособности повышается путем применения соответствующих воздействий  $Y$  (т.е.  $Y_1, Y_2, \dots, Y_6$ ). Воздействия заранее определены опытно-экспериментальным путем.

Так как процесс потери работоспособности стохастичен, то результаты применения управлений  $Y \in Y$ , рассматриваемые в следующий момент диагностирования, неоднозначны, случайны и могут быть описаны семейством условных распределений:

$$Q(dx/x, Y_\tau), x \in E, Y \in Y, \tau \in \theta, \quad (4)$$

где  $\theta$  – параметры среды (условия эксплуатации: дорожные, транспортные, погодные-климатические и культура эксплуатации). Для однозначного задания переходной функции  $Q$  используем модель управляемого процесса потери работоспособности сложной системы.

Применение воздействий  $Y \in Y$  в состоянии  $x \in E$  сопровождается доходом (функционал  $W$ ). Для практических целей будем считать, что  $W(x, y, \tau)$  – доход, получаемый в результате применения управления  $Y \in Y$  в состоянии  $x \in E$ .

Полезность управлений работоспособностью прицепа (полуприцепа) описывается следующим образом:

$$W(x, y, \tau) = \begin{cases} v\bar{\xi}(x, y, \tau) - [C_0 + C_1(x, y)], x \in E_0 \\ -[C_0 + C_1(x + y)] + C_2(x), x \in E_1 \end{cases}, \quad (5)$$

где  $E_0$  – множество состояний без отказа ( $E_1, \dots, E_3$ );  $E_1$  – множество состояний при наличии отказа ( $E_4, E_5$ );  $v$  – интенсивность дохода, грн./тыс. км;  $C_0$  – стоимость диагностирования, грн;  $C_1(x, y)$  – стоимость применения воздействия, грн;  $C_2(x)$  – штраф (потери, затраты) из-за отказа;  $\bar{\xi}(x, y, \tau) = M\{\xi(x, y, \tau)\xi = \min(\xi, \tau) \dots$  – средний пробег до отказа при условии воздействия с периодичностью  $\tau$ , тыс. км.

Композиция полученных объектов  $\{E, Y, Q, \theta, W\}$  определяет модель управления работоспособностью автопоезда. И, наконец, введем правило  $\pi$  выбора управляющих воздействий  $Y \in Y$  как отображение  $E \rightarrow Y$ . Это правило является стратегией управления работоспособностью прицепа. С математической точки зрения – отображения  $\pi$ :

$E \rightarrow Y$  – решающая функция, последовательность  $(\pi_0, \pi)$  – стратегия, определяющая правило выбора управлений в каждый момент пробега  $l = 0, 1, \dots$

Стратегия  $\pi$  в период  $\tau$  определяет средний выигрыш, рассматриваемый на достаточно большом промежутке пробега  $L$  ( $\pi$  – стационарная стратегия):

$$Y(\pi^\infty)(x) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} M^{(\pi, \tau)} \sum_{l=0}^{n-1} (X_l, Y_l, \tau), \quad x \in E. \quad (6)$$

Разработку и реализацию программного обеспечения оперативно-го управления работоспособностью АТС предлагается осуществлять в следующей последовательности:

- составление и отработка программ для вычисления оптимальных стратегий управления работоспособностью АТС (системы, подсистем и элементов);
- численное решение задач синтеза оптимальных режимов управления работоспособностью систем, подсистем и элементов АТС.

1.Кравченко А.П., Гогайзель А.В., Малык В.Р. Методы интенсивного обеспечения работоспособности автомобильных прицепов. – К.: УМК ВО, 1990. – 116 с.

2.Гогайзель А.В., Кравченко О.П. Оперативне управління роботоздатністю автотранспортних засобів: теорія і практика. – Луганськ: СНУ, 2000. – 128 с.

3.Основы технической диагностики. В 2-х кн. Кн.1. Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза / Под ред. П.П.Пархоменко. – М.: Энергия, 1976. – 464 с.

4.Баранов В.В. Оптимизационные методы последовательных приближений в Марковских процессах решений // Кибернетика. – 1985. – №4. – С.103-111.

5.Павлов В.А., Муканов С.А. Транспортные прицепы и полуприцепы. – М.: Воениздат, 1981. – 191 с.

Получено 24.04.2009

УДК 621.878

Ф.В.ДЕМШКАН, канд. техн. наук, В.В.НІЧКЕ, д-р техн. наук,

І.В.РИБАЛКО, канд. техн. наук

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

## **ВДОСКОНАЛЕННЯ ТИПОРОЗМІРНОГО РЯДУ МОДУЛЬНИХ МАШИН**

Розглянуто питання формування опору різання випадковим потоком елементарних актів руйнування.

Рассмотрены вопросы формирования сопротивления резания случайным потоком элементарных актов разрушения.

The problems of forming cutting resistance with the casual stream of elementary destruction acts are considered.