ISSN 2076-2429 (print)
ISSN 2223-3814 (on line)

УДК 656.13

В.Г. Максимов, канд. техн. наук, доц.,
А.Д. Ницевич, канд. техн. наук, доц.,
М.А. Гайденко, магистр,
Одес. нац. политехн. ун-т

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЙ МАЛЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В.Г. Максимов, О.Д. Ніцевич, М.О. Гайденко. **Аналіз станів малих автотранспортних підприємств.** Представлено математичну модель станів малого автотранспортного підприємства на основі теорії множин. Еволюцію рухомого складу і зміну стану парку автомобілів визначено у вигляді накопичених пробігів або часу експлуатації *i*-го автомобіля. Дано приклади аналізу станів малих АТП.
Ключові слова: автомобіль, математична модель, еволюція, множина, пробіг.

В.Г. Максимов, А.Д. Ницевич, М.А. Гайденко. **Анализ состояний малых автотранспортных предприятий.** Представлена математическая модель состояний малого автотранспортного предприятия на основе теории множеств. Эволюция подвижного состава и изменение состояния парка автомобилей определены в виде накопленных пробегов или времени эксплуатации *i*-го автомобиля. Даны примеры анализа состояний малых АТП.
Ключевые слова: автомобиль, математическая модель, эволюция, множество, пробег.

V.G. Maksimov, A.D. Nitsevych, M.A. Gaidenko. **Analysis of the small motor transport companies conditions.** A mathematical model of a small motor transport company's state based on the set theory is presented. The evolution of the rolling stock and the change in the car park state are defined as the accumulated mileage or time of operation of the *i*-th vehicle. Examples are given of analysis of the small transport companies conditions.
Keywords: car, a mathematical model, evolution, set, mileage.

Под малым автотранспортным предприятием понимается систематизированное объединение автомобилей совместимых моделей.

Математический образ автотранспортного предприятия можно представить в виде множества, состоящего из конечного числа элементов,

$$A = \{A_k\}, \quad k = 1, ..., n .$$

Изменение состояния парка автомобилей в процессе эволюции подвижного состава определяется величиной накопленного пробега *i*-го автомобиля или временем эксплуатации.

Для описания качественных закономерностей изменения состояний A_k введем в рассмотрение функцию $C_k(t)$.

Здесь каждому моменту времени $t (t \geq 0)$ ставим в соответствие один из четырех символов $\langle S \rangle$, $\langle R \rangle$, (SR), (RS), которым присваиваются определения:

$\langle S \rangle$, — состояние эксплуатации,

$\langle R \rangle$ — состояние восстановления работоспособности,

(SR), — переходный режим от $\langle S \rangle$, к $\langle R \rangle$,

(RS) — переходный режим от $\langle R \rangle$ к $\langle S \rangle$,.

Круглые и угловые скобки используются для различных переходных режимов состояний эксплуатации и восстановления работоспособности.

Применяя запись типа $C_k(t) = \langle S \rangle$, (функции $C_k(t)$ присвоить состояние $\langle S \rangle$), определяем что i-й автомобиль A_k в момент времени t находится в состоянии эксплуатации.

Последовательность изменения состояний i-го автомобиля A_k подчиняется правилу, представленному на рис. 1.

Детерминированная математическая модель изменения состояний i-го автомобиля. Для описания закономерностей изменения состояний i-го автомобиля по пробегу (времени эксплуатации) введем в рассмотрение функцию состояния $a_k(t)$ и положительные числа α_k и β_k ($k = 1, ..., n$), которые являются основными параметрами состояния автомобиля [1].

Областью определения $a_k(t)$ является ось времени эксплуатации t, а областью значений — полуинтервал $(-\beta_k, \alpha_k]$ вещественной оси (рис. 2).

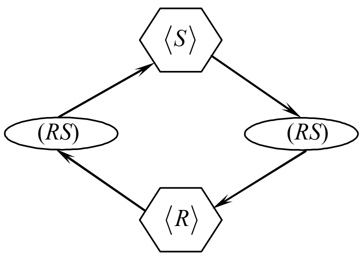

Рис. 1. Последовательность состояний i-го автомобиля

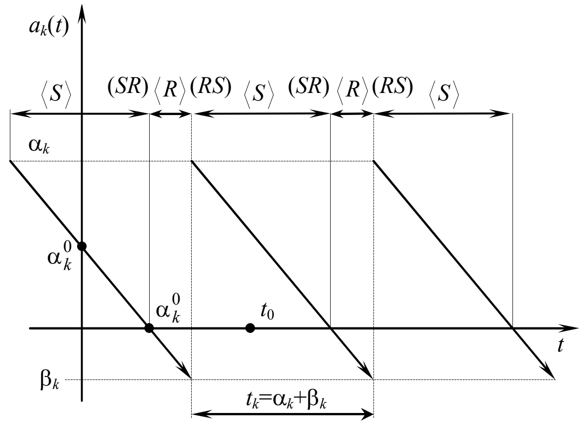

Рис. 2. Изменение состояний подвижного состава в малом АТП

Функция $a_k(t)$ периодическая с основным периодом $T_k = \alpha_k + \beta_k$.

Сформулируем правило, с помощью которого устанавливается соответствие в произвольный момент времени (пробега) между значениями функций состояния i-го автомобиля, A_k-вещественной функцией $a_k(t)$ и символьной функцией $C_k(t)$:

$$a_k(t) \in \begin{cases} (0, \alpha_k) & \text{если} \quad C_k(t) = \langle S_i \rangle, \\ (-\beta_k, 0) & \text{если} \quad C_k(t) = \langle R \rangle_i, \end{cases}$$
$$a_k(t) \in \begin{cases} 0 & \text{если} \quad C_\text{k}(t) = (S_i, R_i), \\ a_k & \text{если} \quad C_\text{k}(t) = (R_i, S_i). \end{cases} \tag{1}$$

Эти соотношения дают возможность сформулировать правило (1) относительно $C_k(t)$:

$$C_k(t) = \begin{cases} \langle S_i \rangle, & \text{если} \quad a_k(t) \in (0, \alpha_k), \\ (S_i R_i), & \text{если} \quad a_k(t) = 0, \\ \langle R_i \rangle, & \text{если} \quad a_k(t) \in (-\beta_k, 0), \\ (R_i S_i), & \text{если} \quad a_k(t) = \alpha_k. \end{cases} \tag{2}$$

Пара функций $a_k(t)$ и $C_k(t)$, связанных между собой правилами (1) и (2), описывают математическую модель изменения состояний i-го автомобиля A_k.

Введем постоянные для параметров α_k и β_k и функции $a_k(t)$ на примере малого автотранспортного предприятия.

Параметр α_k — суть максимально допустимый промежуток времени (пробега) пребывания i-го автомобиля в эксплуатации между техническими обслуживаниями.

ISSN 2076-2429 (print)
ISSN 2223-3814 (on line)

Значения α_k $k=1,...,n$ относятся к нормативам технической эксплуатации и могут корректироваться экспериментальным путем с учетом условий использования подвижного состава.

Параметр β_k есть обязательный промежуток времени, необходимый для восстановления работоспособности *i*-го автомобиля. Значении β_k может определяться на основе статистических данных.

Правила с учетом функции $a_k(t)$ показывают, что *i*-й автомобиль A_k находится в состоянии эксплуатации или восстановления работоспособности соответственно α_k и β_k, а переходные режимы (*SR*) и (*RS*) преодолеваются одномоментно.

Из графической зависимости производительности автомобиля от времени пребывания в эксплуатации следует, что показатели эксплуатации практически утрачиваются через 8…10 лет (рис. 3).

Внедрение планово-предупредительной системы проведения технического обслуживания и текущего ремонта сокращает время восстановления работоспособности и увеличивает ресурс до капитального ремонта.

Здесь рассматриваются малые автотранспортные предприятия с автономным подвижным составом, для которых техническая готовность автомобилей не связана между собой: если часть автомобилей находится в состоянии $\langle S \rangle$, а другие в режиме (*SR*), то состояние множества A_k характеризуется символом (*S, SR*).

В математическом представлении $A=\{A_k\}$ ($k=1,...,n$) — конечное множество, A_k — *i*-й автомобиль и $C_k(t)$ — символьно-значная функция состояния A_k.

Определим функцию $C_k(t)$ состояния множества *A* посредством равенства

$$C(t)=\bigcup_{k=1}^{n} C_k(t), \tag{3}$$

где $\bigcup$ — теоретико-множественный знак суммы.

Под качественной моделью состояний малого автотранспортного предприятия понимается ориентированный граф с вершинами, соответствующими возможным состояниям множества *A*, и ребрами между ними, направления которых упорядочивают эти состояния вдоль оси времени (рис. 4).

Рис. 3. Изменение производительности автомобиля с увеличением срока эксплуатации

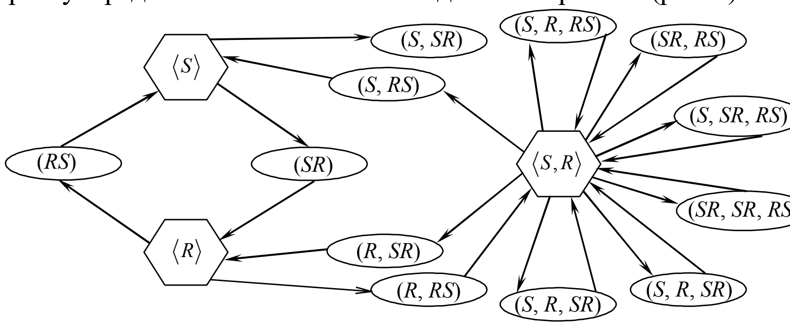

Рис. 4. Ориентированный граф состояний автомобилей в малом АТП

Одним из возможных состояний является простейший цикл $\langle S \rangle \to (SR) \to \to \langle R \rangle \to (RS) \to \langle S \rangle$, который совпадает с циклом в малом автотранспортном предприятии, состоящим из одного автомобиля (A_1).

Для малого автотранспортного предприятия с произвольным типом подвижного состава, включая специализированный, в качестве математического образа рассматривается конечное множество

$$A=\{A_k\}, \quad (k=1, \ldots, n). \tag{4}$$

Под математической моделью изменения состояний малого автотранспортного предприятия следует понимать закон изменения пары функций с течением времени или пробега:

— $C(t)$ — символьная;

— $a(t) = (a_1(t), ..., a_n(t))$ — вещественная.

Область значений функции $C_k(t)$ состоит из четырех символов, в которых в определенные моменты времени переходные режимы (*SR*) и (*RS*) изменяются скачкообразно.

Если при $t = t_0$ $C_k(t_0) = (SR)$, то в предшествующий момент времени $(t_0 - 0)$ $C_k(t_0 - 0) = \langle S \rangle$, а в последующий момент $(t_0 + 0)$ $C_k(t_0 + 0) = \langle R \rangle$.

Это является следствием характера изменения состояния автомобиля и предположения об одномоментности преодоления переходных режимов.

Точно так, при $t = t_0$ $C_k(t_0) = (RS)$, тогда $C_k(t_0 - 0) = \langle R \rangle$, $C_k(t_0 + 0) = \langle S \rangle$.

В рассматриваемой математической модели для анализа изменения состояния малого автотранспортного предприятия в зависимости от начальных данных вычисляется интервал времени τ, в течение которого сохраняются некоторые множества *A*, указывается закон изменения функции $a(t)$, характеризующий динамику состояний автомобилей на этом интервале, и определяется переходный режим в момент $t_0+\tau$.

Алгоритм для определения состояния малого автотранспортного предприятия в произвольный момент времени определяет состояние множества *A* на интервале $t = T > t_0$.

Для выполнения алгоритма необходимо задать:

n — число единиц подвижного состава;

α_k ($k = 1, ..., n$) — максимально допустимый промежуток времени (пробега) эксплуатации *i*-го автомобиля A_k между техническими обслуживаниями;

β_k($k = 1, ..., n$) — обязательный промежуток времени простоя *i*-го автомобиля A_k в техническом обслуживании, текущем ремонте;

t_0 — начальный момент времени;

T — величина заданного интервала времени;

$a_k(t_0)$ ($k = 1, ..., n$) — фиксированные числа из полуинтервала $(-\beta_k, \alpha_k]$.

Если *i*-й автомобиль A_k из множества *A* в момент t_0 находится в состоянии эксплуатации $\langle S \rangle$, то $a_k(t_0) > 0$, величина $a_k(t_0)$ определяет отсчитываемый от момента t_0 оставшийся промежуток времени эксплуатации. Если A_k при $t = t_0$ находится в состоянии восстановления работоспособности $\langle R \rangle$, то $a_k(t_0) < 0$, $|a_k(t_0)|$ определяет численное значение промежутка времени периода восстановления, истекающего до момента t_0.

Случай $a_k(t_0)$=0 и $a_k(t_0) = \alpha_k$ отвечает переходным режимам (*SR*) и (*RS*), соответственно.

Алгоритм включает несколько этапов, где на одном из шагов определяется, в каком состоянии $\langle S \rangle$, $\langle S, R \rangle$ или $\langle R \rangle$ находится подвижной состав малого автотранспортного предприятия в момент времени t_0.

Для этого следует воспользоваться правилом

$$C(t_0) = \begin{cases} \langle S \rangle, & \text{если } 0 < \alpha(t_0) \le \alpha_k \quad \text{для всех } k, \\ \langle R \rangle, & \text{если } -\beta_k < \alpha(t_0) \le 0 \quad \text{для всех } k, \\ \langle S,R \rangle, & \text{если имеются как положительные,} \\ \text{так и отрицательные } \alpha_k(t_0). \end{cases}$$

ISSN 2076-2429 (print)
ISSN 2223-3814 (on line)

Для иллюстрации рассмотренных положений теории состояния малых АТП приведем пример соответствующих расчетов.

Малое автотранспортное предприятие состоит из семи единиц подвижного состава совместимых моделей автомобилей.

Присвоим условные обозначения $A_1, ..., A_7$, что отождествляется с A_k гаражным порядковым номером автомобиля, который в списке совпадает со значением индекса *k*.

В качестве исходных данных принимаем значения: α_k (в годах) и β_k (в днях)

$$\left.\begin{array}{ll} \alpha_1 = 6; & \beta_1 = 40; \\ \alpha_2 = 4; & \beta_2 = 50; \\ \alpha_3 = 5; & \beta_3 = 36; \\ \alpha_4 = 6; & \beta_4 = 35; \\ \alpha_5 = 4; & \beta_5 = 45; \\ \alpha_6 = 5; & \beta_6 = 34; \\ \alpha_7 = 6; & \beta_7 = 36. \end{array}\right\}$$

Введем для α_k и β_k масштаб времени *m* = 30 дней и пересчитаем исходные данные:

$$\begin{array}{ll} \alpha_1 = 73; & \beta_1 = 1,3; \\ \alpha_2 = 48,7; & \beta_2 = 1,7; \\ \alpha_3 = 60,8; & \beta_3 = 1,2; \\ \alpha_4 = 73; & \beta_4 = 1,17; \\ \alpha_5 = 48,7; & \beta_5 = 1,5; \\ \alpha_6 = 60,8; & \beta_6 = 1,13; \\ \alpha_7 = 73; & \beta_7 = 1,2. \end{array}$$

Начальное состояние подвижного состава малого автотранспортного предприятия на 1 января *n-го* года определяется параметрами:

$$\begin{array}{l} a_1(0) = 50; \\ a_2(0) = 13; \\ a_3(0) = -0,5; \\ a_4(0) = 25; \\ a_5(0) = 7; \\ a_6(0) = 24; \\ a_7(0) = 5,8. \end{array}$$

Требуется определить состояние парка автомобилей на 14 июля *n-го* года по истечении *T*=6,5 единиц времени в выбранном масштабе.

Присвоив начальному моменту t_0 значение 0, переходим к выполнению алгоритмических процедур [2].

Состояние малого автотранспортного предприятия на 14 июля *n-го* года определяется символом $\langle S, R \rangle$, т.к. шесть автомобилей находятся в эксплуатации, а седьмой в техническом обслуживании.

Векторная функция $a(t) = (a_1(t_1), ..., a_n(t))$ характеризует состояние множества *A* в момент времени *t*.

Располагая численными значениями компонент вектора, по формуле (1) определим, какой из символов $\langle S \rangle$, $\langle R \rangle$, (*SR*), (*RS*) приписывается каждому элементу множества, далее определим символьное значение состояния всей совокупности элементов.

Переходный режим (*SR*) определяется катастрофическим состоянием малого автотранспортного предприятия. Под катастрофическим понимается такой режим функционирования малого автотранспортного предприятия, когда необходимо использовать все имеющиеся ресурсы для проведения технологических взаимодействий по ТО и Р.

Нежелательными событиями являются выходы на критическое состояние автотранспортного предприятия, для которых k приближается в своем значении к n.

В этих случаях напряженность использования ресурсов сохранится на уровне катастрофического состояния.

В этой связи возникает необходимость управлять эволюцией малого автотранспортного предприятия таким образом, чтобы траектория развития проходили через критическое состояние с наименьшим значением k.

Предложенная здесь математическая модель представляется основополагающей для малого АТП и позволяет учитывать факторы, возникающие при эксплуатации. Это обстоятельство является существенным для прогнозирования критического состояния парка, когда необходима мобилизация материальных ресурсов в больших объемах для восстановления работоспособности подвижного состава.

Значимым выводом является выявление состояния подвижного состава малого АТП, когда возникает возможность перехода с траектории развития на другую траекторию с целью избежания катастрофического развития эволюции.

Литература

1. Максимов, В.Г. Управління траєкторією еволюції технічного стану автомобілів / В.Г. Максимов, С.О. Балан, О.В. Поляруш // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одеса, 2002. — Вып. 1(17). — С. 23 — 25.
2. Максимов, В.Г. Управління технічною експуатацією рухомого складу в малих автотранспортних підприємствах / В.Г. Максимов, О.В. Поляруш, О.О. Дурбало // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одеса, 2003. — Вып. 1(19). — С. 66 — 68.

References

1. Maksymov, V.H. Upravlinnia traiektoriieiu evoliutsii tekhnichnoho stanu avtomobiliv [Controlling the Trajectory of Motor Cars Technical State Evolution] / V.H. Maksymov, S.O. Balan, O.V. Poliarush // Tr. Odes. polytekhn. un-ta. [Transactions of the Odessa Polytech. Univ.] — Odesa, 2002. — Issue 1(17). — PP. 23 — 25.
2. Maksymov, V.H. Upravlinnia tekhnichnoiu ekspuatatsiieiu rukhomoho skladu v malykh avtotransportnykh pidpryiemstvakh [Controlling Technical Maintenance of Vehicles in Small Motor Transport Companies] / V.H. Maksymov, O.V. Poliarush, O.O. Durbalo // Tr. Odes. polytekhn. un-ta. [Transactions of the Odessa Polytech. Univ.] — Odesa, 2003. — Issue 1(19). — PP. 66 — 68.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Оробей В.Ф.

Поступило в редакцию 29 сентября 2011 г.