

## Особенности оценки эффективности деятельности передвижных авторемонтных мастерских при обслуживании автомобильной техники

*А.И. Недолужко, А.А. Котесова, М.Ф. Детлер, А.В. Криворотов,  
А.Ю. Парубец*

*Донской государственной технической университет, Ростов – на – Дону*

**Аннотация:** Рассматриваются особенности деятельности передвижных авторемонтных мастерских. Предложены математические модели определения показателей, учитывающие случайность поступления требований на обслуживание и продолжительность самих обслуживаний.

**Ключевые слова:** передвижная авторемонтная мастерская, вероятность, критерии, комплексный показатель, эффективность.

В настоящее время техническое обслуживание и ремонт автомобильной техники проводится на стационарных сервисах и передвижными авторемонтными мастерскими (ПАРМ). ПАРМ применяются для профилактических, ремонтных и аварийных работ на автомагистралях, в армии, в сельском хозяйстве, на крупных горнодобывающих и нефтедобывающих предприятиях. Эффективность работы ПАРМ определяется её стратегией и территориальным распределением потребителей. Сравнительная оценка эффективности работы ПАРМ может быть произведена с использованием обобщенного критерия

$$П = \sum_{i=1}^n П_{Ki} \cdot K_{Vi} \quad (1)$$

где  $П_{Ki}$ - комплексный показатель по  $i$ -му оцениваемому параметру,  $K_{Vi}$  - коэффициент весомости  $i$ -го комплексного показателя (определяется методом Дельфи, методом «мозговой атаки» и др.),  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  — число оцениваемых параметров. Комплексный показатель по  $i$ -му оцениваемому параметру предприятия определяют по формуле

$$П_{Ki} = \sum_{j=1}^n K_j \cdot K_{Vj} \quad (2)$$

где  $K_j$  —единичный показатель, характеризующий состояние  $j$ -го фактора, влияющего на комплексный показатель оцениваемого параметра (для всех составляющих оцениваемых параметров  $K_j = 0...1$ );  $K_{vj}$  — коэффициент весомости  $j$ -го фактора;  $j = 1,2,3...n$  — число факторов, влияющих на оцениваемый параметр.

Большинство исследователей в качестве обязательных оцениваемых параметров предлагают включать [1-5]: Объем и номенклатуру оказываемых услуг (работ); техническая оснащенность ПАРМ и её кадровое обеспечение, оборудование и возможность осуществления технического контроля, экологическую безопасность, экономические требования. Вместе с тем, оценка некоторых единичных показателей для ПАРМ имеет ряд особенностей, заключающихся в случайности моментов поступления требований на обслуживание, продолжительность самих обслуживаний и территориальным размещением потребителей услуг[6-8]. Для оценки таких показателей используем аппарат марковских случайных процессов[9,10]. На рисунке 1 приведен простейший размеченный граф состояния системы

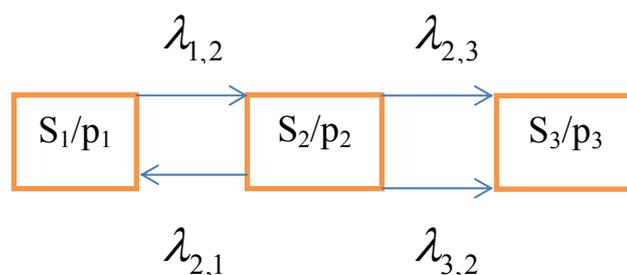


Рис. 1 Граф состояния системы

где  $S_1$ -рабочее состояние (выполнение работ);  $S_2$ - транспортное состояние (перемещение к месту ТО и ремонта, пункту дислокации и т.п.);  $S_3$ -нерабочее состояние ПАРМ (пункт размещения);  $\lambda_{ij}$  -плотности вероятностей перехода ПАРМ из состояния  $S_i$  в состояние  $S_j$ ;  $P_i$ -вероятность состояния ПАРМ в момент времени  $t_i$ . Имея данные по плотностям

вероятностей переходов  $\lambda_{ij}$ , рассчитаем вероятности всех состояний системы в разные моменты времени. Для размеченного графа состояния система уравнений А.Н.Колмогорова примет вид:

$$\begin{aligned}\frac{dp_1(t)}{dt} &= -\lambda_{12}p_1 + \lambda_{21}p_2 \\ \frac{dp_2(t)}{dt} &= \lambda_{12}p_1 + \lambda_{32}p_3 - \lambda_{21}p_2 - \lambda_{23}p_2 \\ \frac{dp_3(t)}{dt} &= -\lambda_{32}p_3 + \lambda_{23}p_2\end{aligned}\quad (3)$$

Найдем финальные вероятности, характеризующие среднее время пребывания ПАРМ в соответствующих состояниях, приравняв левые части уравнений нулю и используя соотношения  $P_1+P_2+P_3=1$ . Получим:

$$P_1 = 1 : \left( 1 + \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{21}} + \frac{\lambda_{23}\lambda_{12}}{\lambda_{32}\lambda_{21}} \right); \quad P_2 = \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{21}} P_1; \quad P_3 = \frac{\lambda_{23}\lambda_{12}}{\lambda_{32}\lambda_{21}} P_1 \quad (4)$$

Циклические марковские процессы могут применяться для анализа работы автомобилей (рис.2). При этом автомобиль может быть исправным и работать ( $S_1$ ), ожидать ремонта ( $S_2$ ), ремонтироваться ( $S_3$ ), ожидать работы после ремонта ( $S_4$ ) и снова работать ( $S_1$ ). Для предельных вероятностей  $dP/dt=0$

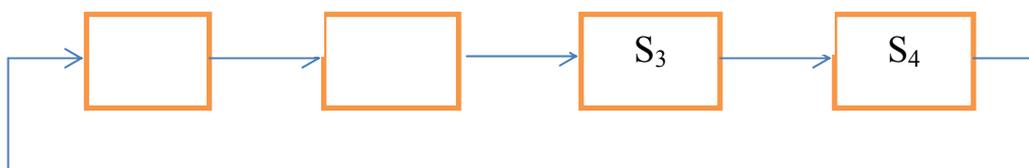


Рис. 2 Схема марковского циклического процесса

Считая процесс пуассоновским, найдем плотности вероятностей переходов, связав их со средним временем пребывания ПАРМ в определенном состоянии  $S_i$ :

$$\bar{t}_i = 1/\lambda_{i,i+1}, \text{ откуда } \lambda_{i,i+1} = 1/\bar{t}_i \text{ или в общем виде, } \lambda_{n1} = 1/\bar{t}_n \quad (5)$$

С учетом (4) и (5)

$$P_1 = 1 : \left( 1 + \frac{1}{\bar{t}_1} (\bar{t}_2 + \bar{t}_3 + \dots + \bar{t}_n) \right) = \frac{\bar{t}_1}{\bar{t}_2 + \bar{t}_3 + \dots + \bar{t}_n}, \quad P_k = \bar{t}_k / \sum_{i=1}^n \bar{t}_i \quad (6)$$

Определим среднее время пребывания ПАРМ в соответствующих состояниях для нескольких пунктов технических воздействий. Для постоянной скорости перемещения имеем:

$$\sum_i^{n+1} t_{di} = \frac{\sum_{i=1}^{n+1} L_i}{V} \quad (7)$$

где  $L_i$  –расстояние между пунктами технических воздействий и расположением (дислокацией ПАРМ);  $n$ -число территориальных требований на техническое воздействие;  $n+1$ -число транспортных состояний ПАРМ с учетом возвращения к месту базирования. Суммарное время работы ПАРМ в течение смены равно:

$$\sum_{i=1}^n t_{Pi} = t_{НВ} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m TB_{ji} \quad (8)$$

где  $t_{Pi}$ -время технических воздействий на  $i$ -м участке;  $t_{НВ}$ -нормативная трудоемкость  $j$ -го воздействия ( $TB_j$ ) равная обратной величине часовой производительности ПАРМ,  $m$ -число видов технических воздействий. Продолжительность технического воздействия для конкретного требования является случайной величиной, влияние на которую оказывает множество факторов. В ряде работ эти факторы предлагают учитывать с помощью различных коэффициентов [1-4]

$$TB_j = \frac{\tau_j \cdot K_{Mj} K_D K_{ПРj}}{T_{см} C \cdot P_j \cdot K_{ПТj}} \quad (9)$$

где  $\tau_j$  – трудоемкость  $j$ -го технического воздействия;  $K_{mj}$ - коэффициент учитывающий уровень механизации работ при  $j$ -ом воздействии;  $K_d$ - коэффициент, учитывающий достоверность информации при диагностике;  $K_{прj}$  -коэффициент учитывающий потери рабочего времени по организационным причинам при  $j$ -ом воздействии;  $T_{см}$ - продолжительность смены;  $C$ -число смен;  $P_j$ -среднее число одновременно работающих на посту при  $j$ -ом воздействии;  $K_{птj}$ - коэффициент учитывающий сложность работ и квалификацию рабочих.

Время нахождения в пункте дислокации можно определить по зависимости:

$$T_d = \beta \cdot T_{см} - \left( \sum_{i=1}^{n+1} t_{di} + \sum_{i=1}^{n+1} t_{pi} \right) \quad (10)$$

где  $\beta$  – определяет форму работы ПАРМ (вахтовый метод, либо с ежедневным возвращением в пункт дислокации после завершения работ).

С учетом выражений (3), (6)-(9) определим вероятность нахождения ПАРМ в работе на первом пункте

$$P_{P1} = \left[ 1 + \frac{1}{\sum_{j=1}^m TB_j} \left[ \sum_{i=1}^{n+1} \frac{L_i}{V} + \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m TB_{ij}}{\Pi} + \frac{1}{\beta T_{см} - \left( \sum_{i=1}^{n+1} t_{di} + \sum_{i=1}^{n+1} t_{pi} \right)} \right] \right]^{-1} \quad (11)$$

Вероятность нахождения ПАРМ в пути:

$$P_2 = P_1 \frac{\sum_{i=1}^{n+1} L_i}{\sum_{j=1}^m TB_{ji} V_{cp}} \quad (12)$$

Вероятность нахождения ПАРМ в пункте дислокации:

$$P_3 = \frac{P_1}{\sum_{j=1}^m TB_{ji} \beta T_{CM} - \left( \sum_{i=1}^{n+1} t_{di} + \sum_{i=1}^n t_{Pi} \right)} \quad (13)$$

Рассмотрим пример: с трех пунктов поступили заявки на техническое обслуживание техники с объемом воздействий: на первом- одно ТО-3(18часов), на втором и третьем по 2 ТО-3.Пункты расположены на расстояниях 30 и 50 км соответственно, расстояние от места дислокации ПАРМ до первого пункта 35км, до последнего 45км. Продолжительность смены составляет 16часов. ПАРМ работает вахтовым методом 6 дней. Средняя скорость перемещения автомобиля составляет 60км/час.

$$\text{Используя зависимости 7,8,10 находим: } \sum_{i=1}^{n+1} \frac{L_i}{V} = 2.66ч, \quad \sum_{i=1}^n t_{Pi} = 90ч,$$

$$T_d = 3,34ч$$

Вероятность нахождения ПАРМ в рабочем состоянии на первом пункте  $P_{p1} = 0,162$

$$\text{На втором и третьем пунктах } P_{p2} = P_{p3} = 0,324$$

Суммарная вероятность нахождения ПАРМ в рабочем состоянии

$$\sum_{i=1}^3 P_{p_i} = 0,81$$

показатели эффективности работы ПАРМ зависят от величины потока требований и его вариации, от производительности комплектующих её средств обслуживания. Для простейшего потока отказов вероятность появления определенного числа требований можно рассчитать по зависимости

$$P_{ka} = \frac{a^k}{k!} e^{-a} \quad (14)$$

где  $a = \omega \cdot t$  - среднее число отказов возникающих за время  $t$ ,  $\omega$  - параметр потока отказов. В реальных условиях работы ПАРМ  $t$  обычно принимают равным 1 (1 час, 1 смена, 1 неделя и т.п.). Случайность потока требований и продолжительность их выполнения приводят к издержкам функционирования всей системы. Эти издержки можно задать функционалом:

$$N_u = C_1 \kappa + C_2 \cdot n + (C_1 + C_2) \cdot \omega / \mu \quad (15)$$

где  $C_1$  – стоимость простоя автомобиля в очереди,  $\kappa$  - средняя длина очереди,  $C_2$  - стоимость простоя ПАРМ,  $n$  - количество простаивающих ПАРМ,  $\omega$  - параметр потока требований,  $\mu$  - интенсивность обслуживания. Требуется так организовать работу ПАРМ, чтобы  $N_u = \min$ .

### Литература

1. Вишневецкий Ю. Т. Техническая эксплуатация, обслуживание и ремонт автомобилей. – М.: Дашков и К, 2006. – 380 с.
2. Власов В.М. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей. – М.: «Академия», 2003. – 480 с.
3. Васильев В.И., Жаров, С.П. Совершенствование методики корректирования нормативов управления эксплуатацией подвижного состава предприятий автомобильного транспорта региональных транспортных систем. // Современные проблемы науки и образования. 2012. №6. с. 7-9.
4. Детлер М.Ф., Криворотов А.В., Недолужко А.И., Парубец А.Ю. К вопросу применения нормативов планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта к современным автомобилям // Инженерный вестник Дона, 2017, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4131

5. Кузнецов Е.С., Болдин А.П., Власов В.М и др. Техническая эксплуатация автомобилей. – М.: Наука, 2001. – 535 с.
6. Базанов А.В., Бауэр В.И., Козин Е.С. Определение потребности в мобильных средствах для обеспечения работоспособности автотракторной техники при ремонте магистральных нефтепроводов// Научно-технический вестник Поволжья (Казань), 2012, №3. с. 50-53
7. Ключникова, О. В., Цыбульская, А. А., Шаповалова А.Г. Принципы выбора типа и количества строительных машин для комплексного производства работ // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2064.
8. Louit, D., Pascual, R. and Banjevic, D. Optimal Interval for Major Maintenance Actions in Electricity Distribution Networks // Electrical Power and Energy Systems. 2009. №31. pp. 396-401.
9. Samuel Karlin. A First Course in Stochastic Processes, 1968, p. 557
10. Weizsacker H. and Winkler G. (1990): Stochastic integrals. An introduction. Vieweg & Sohn, Braunschweig Wiesbaden. pp. 285-293

### References

1. Vishneveckij Ju. T. Tehnicheskaja jekspluatacija, obsluzhivanie i remont avtomobilej [Technical maintenance, maintenance and repair of cars]. М.: Dashkov i K, 2006. 380 p.
  2. Vlasov V.M. Tehnicheskoe obsluzhivanie i remont avtomobilej [Maintenance and repair of cars]. М.: «Akademija», 2003. 480 p.
  3. Vasil'ev V.I., Zharov, S.P. Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2012. №6. pp. 7-9.
  4. Detler M.F., Krivorotov A.V., Nedoluzhko A.I., Parubec A.Ju. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2017, №2. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4131>
-



5. Kuznecov E.S., Boldin A.P., Vlasov V.M i dr. Tehniceskaja jekspluatacija avtomobilej [Technical operation of cars]. M.: Nauka, 2001. 535 p.
6. Bazanov A.V., Baujer V.I., Kozin E.S. Nauchno-tehniceskij vestnik Povolzh'ja (Kazan'), 2012, №3. pp. 50-53
7. Kljuchnikova, O. V., Cybul'skaja, A. A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2064](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2064)
8. Louit, D., Pascual, R. and Banjevic, D. Optimal Interval for Major Maintenance Actions in Electricity Distribution Networks Electrical Power and Energy Systems. 2009. №31. pp. 396-401.
9. Samuel Karlin. A First Course in Stochastic Processes, 1968 p. 557
10. Weizsacker H. " and Winkler G. (1990): Stochastic integrals. An introduction. Vieweg & Sohn, Braunschweig Wiesbaden. pp. 285-293