

Погорєлов М.Г.¹

Субочев О.І.²

Мастепан С.М.³

¹ «Донбаський державний педагогічний університет», м. Слов'янськ, Донецька обл., Україна

E-mail: pogorelovmg@rambler.ru

² «Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет», м. Дніпро, Україна

E-mail: subochev@list.ru

³ «Харківський національний автомобільно-дорожній університет», м. Харків, Україна

E-mail: mastepansn@gmail.com

**МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ
АВТОСЕРВІСУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ
УЗАГАЛЬНЕНОГО ГРАФУ СТАНІВ
АВТОМОБІЛІВ**

УДК 629.3.014.2-235

В статті запропонована нова узагальнена модель процесів технічного обслуговування і ремонту автотранспортних засобів автосервісного підприємства, яка враховує досить широкий спектр факторів сучасних підприємств автомобільного транспорту.

Поставлене завдання вирішується при використанні математичного апарату теорії надійності та теорії масового обслуговування. Представлене автосервісне виробництво як відкриту систему масового обслуговування, що цілком відповідає фізичному змісту реального підприємства.

Для аналізу процесу експлуатації автомобіля як випадкового процесу з дискретними станами запропоновано користуватися геометричною схемою у вигляді графу станів, які зображують можливі стани автомобіля і його можливі переходи зі стану в стан. Перехід зі стану в стан відбувається дискретно, однак у випадкові моменти часу. Тому функціонування автомобіля в часі можна розглядати як систему з безперервним часом і дискретним станом.

Оскільки більшість інтенсивностей переходу залежать від пробігу, то рішення системи рівнянь Колмогорова проводиться за допомогою методів чисельного інтегрування, методу Рунге-Кутта.

Для опису процесу функціонування групи автомобілів використано метод динаміки середніх. Цей метод впливає з теорії марківських випадкових процесів. Зручність його полягає в тому, що, знаючи можливі стани одного автомобіля, можна моделювати процес функціонування групи з будь-якого числа автомобілів.

Необхідно врахувати, що для розрахунку виробничої програми автосервісного підприємства потрібно часто визначати коефіцієнт випуску і річний пробіг автомобіля j -ї вікової групи.

Ключові слова: автомобіль, автосервісне підприємство, граф станів.

Постановка проблеми

Щоб забезпечити високу якість технічного обслуговування та ремонту (ТО та Р) зростаючої кількості автомобілів необхідно сформувати розвинуту структуру автосервісних підприємств (АСП) на науковій основі. З урахуванням фінансових і природно-ресурсних обмежень управління розвитком структури підприємств різної потужності в автосервісній системі потрібно поліпшити, оптимізуючи істотні параметри за допомогою модельного експерименту, до її практичної реалізації [1].

Події, що переводять автомобіль зі стану в стан, являють собою потоки відмов. Якщо всі потоки подій, що переводять систему (автомобіль) зі стану в стан, є пуассонівськими (стаціонарні або нестаціонарні), то процес, що протікає в системі, буде марківсь-

ким, а щільності ймовірностей переходу λ_{ij} в безперервний марківський ланцюг є інтенсивності потоку подій, що переводить систему зі стану E_i в стан E_j [2].

Процес автосервісного виробництва є випадковим в якому ймовірнісні характеристики його протікання для будь-якого моменту часу t_0 в майбутньому залежать тільки від його стану в даний момент t_0 і не залежать від того, коли і як система прийшла в цей стан.

Марківський ланцюг для автосервісного виробництва характеризується дискретним часом зміни станів, що змінюються в певні фіксовані моменти часу [3].

Аналіз останніх досліджень

Дослідження показали, що система ТО і Р відноситься до класу великих і складних систем, є багаторівневим багатоаспектним об'єктом, що вимагає проведення дисциплінарних досліджень. При спробах побудувати модель досліджуваної системи основна трудність, з якою стикаються дослідники, полягає в тому, що відносно об'єкту існує декілька різних систем методів, які важко погоджувати, оскільки наукою поки що не розроблені спеціальні логіко-методологічні засоби для синтезу різних теоретичних досліджень, які об'єднуються у одне ціле [4].

Запропонована узагальнена модель процесів технічного обслуговування і ремонту автотранспортних засобів автотранспортного підприємства, яка обмежується специфічними особливостями замкнутою системою раніш існуючих підприємств автомобільного транспорту [5].

Існуюча структура потужностей АСП у якісному розвитку є неефективною. Відсутність науково-обґрунтованих методів управління її розвитком в умовах конкуренції не створило реальних передумов для становлення перспективної сфери автосервісних послуг. Тому проблема оптимального розвитку системи автосервісу для нашої держави набула особливої актуальності [6].

Мета дослідження

Дана робота має за мету розробку математичної моделі сучасних автосервісних підприємств, що дозволяють підвищити час автомобілів у робочому стані.

Основна частина

Автомобіль як деяка система E_i з дискретними станами E_0, E_1, \dots, E_n переходить зі стану в стан під впливом випадкових відмов [7].

Кількість станів автомобілів залежить від специфіки автосервісного виробництва: повноти функцій підприємства - діагностування, технічного обслуговування, постового поточного ремонту, дільничного ремонту: агрегатних, електротехнічних, шиномонтажних, арматурних, жерстяницьких, мідницьких, зварювальних, кузовних, малярних та інших робіт. У разі, якщо будь-які роботи не виконуються на даному автосервісному підприємстві, то кількість станів автомобілів буде зменшуватися. Відсутні на одному підприємстві види робіт виконуються на інших спеціалізованих АСП.

З аналізу великої кількості автосервісних підприємств у процесі роботи автомобіля доцільно розглядати такі стани, в яких рухомий склад може перебувати справним, перебувати на лінії, справний, але перебуває в парку через неробочу зміну, відсутності водія тощо, в технічному обслуговуванні, ремонті, черзі і які характеризуються різночасними простоями.

При роботі автомобіль може перебувати в одному з можливих станів: виконувати транспортну роботу за межами підприємств, перебувати в технічному обслуговуванні,

поточному ремонті, зберігається в справному стані, крім того, автомобіль може бути спрямований на капітальний ремонт або ж бути списаний. Одиначний автомобіль являє собою технічну систему багаторазового використання, призначену для виконання корисної роботи з перевезення вантажів і пасажирів. Як показали численні дослідження автомобілі мають не абсолютну надійність, а відносну, до того ж у більшості випадків заздалегідь невідому. Через випадковий характер впливу великої кількості факторів зміни технічного стану вона також носить випадковий характер.

У силу цього в довільний момент часу t автомобіль може перебувати в кожному з наведених станів. Позначимо можливі стани автомобіля через $E_i (i = 0, n)$. Перехід зі стану в стан відбувається дискретно, однак у випадкові моменти часу. Тому функціонування автомобіля в часі можна розглядати як систему з безперервним часом і дискретним станом (рис. 1). Подія, що полягає в тім, що в момент часу автомобіль перебуває в стані E_i позначимо через:

$$x(t) = E_i (i = 0, n). \quad (1)$$

Імовірність цієї події запишеться у вигляді:

$$m_i(t) = P[x(t) = E_i]. \quad (2)$$

Для аналізу процесу експлуатації автомобіля як випадкового процесу з дискретними станами зручно користуватися геометричною схемою у вигляді графу станів (рис. 1). Граф станів зображує можливі стани автомобіля і його можливі переходи зі стану в стан [8].

На рис. 1 позначені щільності ймовірностей переходу λ_{ij} автомобіля зі стану E_i в стан E_j . Такими станами автомобіля є:

E_0 - автомобіль справний, але невідправлений на лінію через відсутності водія, відсутність вантажу та ін.;

E_1 - автомобіль справний, перебуває на лінії;

E_2 - автомобіль перебуває в черзі перед технічним обслуговуванням;

E_3 - автомобіль перебуває на технічному обслуговуванні;

E_4 - автомобіль перебуває в черзі перед поточним ремонтом;

E_5 - автомобіль перебуває в поточному ремонті.

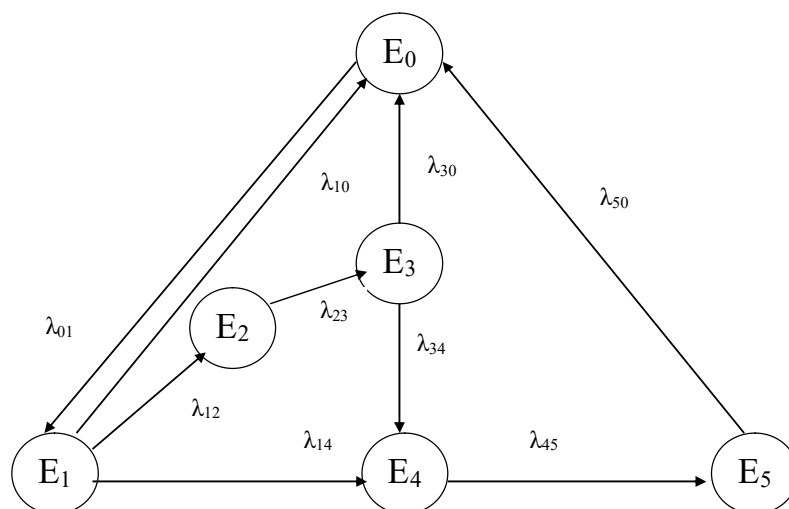


Рис. 1. Граф переходу автомобіля зі стану E_i в стан E_j

Формуючою умовою для будь-якого моменту часу t є:

$$\sum_{i=n}^1 P_i(t) = 1 \quad (3)$$

У нашому випадку завдання полягає у відшуванні ймовірностей $P_i(t)$.

Якщо інтерпретувати перехід автомобіля з одного стану в інше як «блукання» крапки по вершинах деякого графа, то безліч станів $x = \{E_0, \dots, E_n\}$ можна розглядати як безліч вершин цього графа. Позначимо через $R(E_i, E_j)$ сусідні вершини графа. Тоді при $R(E_i, E_j) = 1$ вершина E_i з'єднана з вершиною E_j ребром, при $R(E_i, E_j) = 0$ безпосереднього переходу з вершин E_i у E_j не існує.

Якщо прийняти, що в автосервісному підприємстві є A автомобілів, кожен з яких може перебувати в $k+1$ станах, то E_i^n представить i -тий стан у якому перебувати n -ий автомобіль, а стан A автомобілів у кожний момент часу t можуть бути описаний сімейством векторів:

$$V(t) = [E_1(t), E_2(t), \dots, E_n(t)]_t \geq 0. \quad (4)$$

Кількість можливих станів сукупності автомобілів буде дорівнювати $\prod_{n=1}^A (K_n + 1)$.

Максимум елементів множини $\Omega = (V)$ досягається, коли елементи Ω приймаються векторами. Отже, зменшення кількості елементів безлічі Ω можливо тільки за рахунок скорочення кількості станів одиничного автомобіля. Однак і в цьому випадку кількість можливих станів A автомобілів буде занадто велике. Тоді траєкторію поведінки системи з A автомобілів, у часі можна представити як випадкове блукання крапки в A -мірному просторі. Це дає підставу думати, що стан системи ТО та Р може бути описано A -мірною випадковою величиною:

$$\Omega(t) = \begin{Bmatrix} g_1(t) \\ g_2(t) \\ \dots \\ g_A(t) \end{Bmatrix}. \quad (5)$$

У загальному випадку відомо, що число можливих станів i , у яких може перебувати одиничний автомобіль, є скінченною величиною. Причому, ця величина визначається прийнятою технологічною схемою та організацією виробництва обслуговування та ремонту.

Кожне з можливих станів може бути розбите на деякий набір станів. Наприклад, ремонт автомобіля може включати: очікування ремонту, безпосередньо ремонт, контроль виконання ремонту та ін.

Підприємство складається з кінцевого числа автомобілів A , що робить систему замкнутою. Як видно, всі автомобілі будуть перебувати в одному з кінцевої безлічі станів: справні, потребуючі ТО, ремонту тощо. (рис. 1).

Тому введемо випадкову величину ψ_i , $i = 1, 2, \dots, \theta$, яка характеризує кількість автомобілів, що перебувають у момент t в i -му стані.

Припустимо, що:

$$\psi_1(t) + \psi_2(t) + \dots + \psi_\theta(t) = A, \quad (6)$$

або
$$\sum_{j=1}^{\theta} \psi_j(t) = A. \quad (7)$$

Величина ψ_j для будь-яких t є випадковою функцією часу. Тому найбільш най-важливішими характеристиками є математичне очікування та дисперсія:

$$M_j(t) = M[\psi_j(t)]; D_j(t) = D[\psi_j(t)]. \quad (8)$$

Математичне очікування по суті характеризує середню кількість автомобілів в i -му стані, а дисперсія - можливий розкид.

Для оцінки цих характеристик необхідно:

- 1 - визначити кількість можливих станів, у яких може перебувати автомобіль;
- 2 - визначити інтенсивність переходу автомобіля з одного стану в інший.

Розглянуті стани автомобілів E_j характеризуються середнім часом перебування автомобіля в кожному стані. Показники D_j знаходять відображення у статистичній звітності автосервісних підприємств.

Ймовірність знаходження автомобіля в j -м стані:

$$P_j = \frac{D_j}{D_K}, \quad (9)$$

де - D_K число календарних днів у році.

Ймовірності станів автомобіля $P_0(t), P_1(t), P_2(t), \dots, P_j(t), \dots, P_n(t)$, як функції пробігу в разі марківського процесу з дискретними станами і безперервним часом задовольняють системи диференціальних рівнянь Колмогорова [9]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_0(t)}{dt} &= -\lambda_{01} \cdot P_0(t) + \lambda_{10} \cdot P_1(t) + \lambda_{30} \cdot P_3(t) + \lambda_{50} \cdot P_5(t) \\ \frac{dP_1(t)}{dt} &= -(\lambda_{10} + \lambda_{12} + \lambda_{14}) \cdot P_1(t) + \lambda_{01} \cdot P_0(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} &= -\lambda_{23} \cdot P_2(t) + \lambda_{12} \cdot P_1(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} &= -\lambda_{34} \cdot P_3(t) + \lambda_{23} \cdot P_2(t) \\ \frac{dP_4(t)}{dt} &= -\lambda_{45} \cdot P_4(t) + \lambda_{14} \cdot P_1(t) + \lambda_{34} \cdot P_3(t) \\ \frac{dP_5(t)}{dt} &= -\lambda_{50} \cdot P_5(t) + \lambda_{45} \cdot P_4(t) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

При відомих λ_{ij} кожний автомобіль може переходити з одного стану в інше з можливих, незалежно один від іншого.

Завдання вирішується при використанні математичного апарата теорії надійності та теорії масового обслуговування. Представимо дану систему як відкриту систему масового обслуговування, що цілком відповідає фізичному змісту реального підприємства.

Протягом періоду регенерації потік вимог на технічне обслуговування та ремонт від кожного автомобіля утворить деякий процес часткового відновлення. Переходячи до парку одержимо A таких процесів відновлення. Покладемо A досить велике, а Δ досить

більшим і при фіксованих $t > 0$, імовірності $F(t), (0 \leq i \leq 1)$ малі. Тоді моменти відновлення в кожному процесі розташуємо рідко.

Сумарний процес, певний як суперпозиція процесів «часткового» відновлення будемо апроксимувати законом Пуассона з параметрів A, λ , де λ - інтенсивність одиничного процесу.

Число рівнянь в системі (10) залежить від числа станів автомобіля. Імовірність знаходження автомобіля в стані «справний-працює» являє собою коефіцієнт випуску $\alpha_B = P_1(t)$, а сума ймовірностей коефіцієнт технічної готовності автомобіля $\alpha_T = P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t) + P_5(t)$

Оскільки більшість інтенсивностей переходу залежать від пробігу, то рішення системи (1) проводиться за допомогою методів чисельного інтегрування, методу Рунге-Кутта.

Необхідно врахувати, що для розрахунку виробничої програми автосервісного підприємства потрібно часто визначати коефіцієнт випуску і річний пробіг автомобіля у-й вікової групи.

Для опису процесу функціонування групи автомобілів може бути використаний метод динаміки середніх. Цей метод впливає з теорії марківських випадкових процесів. Зручність його полягає в тому, що, знаючи можливі стани одного (умовного) автомобіля, можна моделювати процес функціонування групи з будь-якого числа автомобілів.

Схема, що зображає процес роботи умовного автомобіля певної моделі, аналогічна схемі рис. 1, лише з тією різницею, що через λ_{ij} позначені середні інтенсивності потоків подій, що переводять автомобіль зі стану E_i в стан E_j . При цьому кожний стан характеризується середньою чисельністю автомобілів, що знаходяться в ньому в момент часу t . Очевидно, що для будь-якого t сума кількості всіх станів дорівнює загальній чисельності $N_j(t)$ автомобілів досліджуваної групи:

$$N = \sum_{j=0}^n N_j(t) \quad (11)$$

Величина $N_j(t)$ для будь-якого t є випадковою величиною, а при змінному t - випадкову функцію часу.

Знаючи граф станів (рис. 1) і відповідні інтенсивності переходу λ_{ij} визначимо середні чисельності автомобілів $N_0(L), N_1(L), N_2(L), \dots, N_n(L)$, як функції пробігу L .

Висновки

1. Запропонована узагальнена модель процесів сучасного автосервісного підприємства визначає склад і вид вихідних даних, забезпечує опис об'єкта в обсязі, достатньому для побудови імітаційної моделі та визначення операційних характеристик.

2. Визначено, що число можливих станів, у яких може перебувати одиничний автомобіль, є скінченною величиною. Причому, ця величина визначиться прийнятою технологічною схемою та організацією виробництва обслуговування та ремонту.

3. Поставлене завдання вирішується при використанні математичного апарату теорії надійності та теорії масового обслуговування. Представлено автосервісне підприємство як відкриту систему масового обслуговування, що цілком відповідає фізичному змісту реального підприємства.

Література

1. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Організація, планування і управління: Підруч. для студентів ВНЗ [Текст] / Олександр Лудченко, Ярослав Лудченко; Нац. трансп. ун-т. - 2-ге вид., переробл. - Київ: Логос, 2014. - 462 с.
2. Таха, Хемди А. Введение в исследование операций, 7-е издание.: Пер. с англ [Текст] / Таха, Хемди А. — М.: Издательский дом "Вильямс", 2005. — 912 с.
3. Исследование операций в экономике: Учеб. Пособие для вузов [Текст] / Н.Ш. Кремер, Б.А. Путко, И.М. Тришин, М.Н. Фридман; Под ред. Н.Ш. Кремера. – М.: ЮНИТИ, 2003. – 407с.
4. Управління якістю технічного обслуговування автомобілів: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. [Текст] / Олександр Лудченко, Ярослав Лудченко, Володимир Чередник; за ред. О.А. Лудченка. - К. : Ун-т "Україна", 2012. - 327 с.
5. Погорелов М.Г. Узагальнена модель процесів технічного обслуговування і ремонту автотранспортних засобів [Текст] / М.Г. Погорелов, О.М. Ларін, О.І. Субочев // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: науково-виробничий збірник / АДІ ДонНТУ. - Горлівка, 2010. - № 2(10). - С. 32 – 36.
6. Говорущенко М.Я. Проектне забезпечення формування виробничо-технічної бази підприємств автомобільного транспорту: Навчальний посібник [Текст] / Говорущенко М.Я., Варфоломєєв В.М., Волков В.П., Волошина Н.А. – Харків: ХНАДУ, 2007. – 116 с.
7. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения [Текст] / Вентцель Е.С. – М.: Изд. центр «Академия», 2003 – 432 с.
8. Електронне джерело: <https://refdb.ru/look/2800012.html>
9. Електронне джерело: <http://bourabai.ru/cm/kolmogorov.htm>

Summary

Pogorelov M., Subochev O., Mastepan S. Modeling of production processes of vehicle care system using generalized geometric pattern representing possible states of the vehicle

A new generalized model of vehicle maintenance and repair process for a vehicle care enterprise is suggested. The model regards a wide range of factors of modern enterprise as an automobile transport unit.

The task is solved by applying mathematical models of the theory of reliability and queuing. Vehicle care enterprise is viewed as an open queuing system referring to a real-time enterprise.

A geometric pattern representing possible states of the vehicle and its possible transitions is suggested to analyze the maintenance of the vehicle as a random process with discrete states. The transition state is discrete, but at random times. The performance of a vehicle in time is viewed as a continuous-time and discrete state system.

Since most of the transition rate depends on the total distance travelled, the solution to the Kolmogorov equations is offered by considering numerical integration and Runge-Kutta methods.

Resulting from the theory of Markov random processes the method of dynamics of average is applied to characterize the functioning of a group of vehicles. Being aware of possible performance of a vehicle, you can simulate functioning of a group of any number of vehicles.

The release rate and annual mileage of a j -age group vehicle are necessary to determine the functioning program of a car care enterprise.

Keywords: vehicle, vehicle care enterprise, geometric pattern of states.

References

1. Tehnichna ekspluatatsiya i obslugovuvannya avtomobiliv. Organizatsiya, planuvannya i upravlinnya: Pidruch. dlya studentiv VNZ [Tekst] / Olexandr Ludchenko, Yaroslav Ludchenko; Nac. transp. un-t. 2-ge vyid., pererobl. – Kiev: Logos, 2014. – 462 s.
2. Taha, Hemdi A. Vvedenie v issledovanie operatsyi, 7-e izdanie.: Per. s angl [Tekst] / Taha, Hemdi A. – M.: Izdatelski dom “Vilyams”, 2005. – 912 s.
3. Issledovanie operatsiy v ekonomike: Ucheb. posobie dlya vuzov [Tekst] / N.Sh. Kremer, B.A Putko, I.M. Trishin, M.I. Fridman; Pod. red. N.Sh. Kremera. – M.: UNITI, 2005. – 407 s.
4. Upravlinnya yakistu tehničnogo obslugovuvannya avtomobiliv: navch. posib. dlya stud. vysh. navch. zakl. [Tekst] / Olexandr Ludchenko, Yaroslav Ludchenko, Volodymyr Cherednik; za red. O.A. Ludchenka. – K.: Un-t “Ukraina”, 2012. 327 s.
5. Pogorelov M.G. Uzagalntba model procesiv tehničnogo obslugovuvannya i remontu avto-transportyih zasobiv [Tekst] / M.G. Pogorelov, O.M. Larin, O.I. Subochev //Visti Avtomobilno-dorognogo institute: naukovu-vyirobnyichiy zbirnyik / ADI DonNTU. – Gorlivka, 2010. – S. 32 – 36.
6. Govorushtnko M.Ya. Proectne zabezpechennya formuvannya vyirobnyicho-tehničnoyi bazyi pidpriemstv avtomobilnogo transportu: [Tekst] / Govorushtnko M.Ya., Varfolomeev V.M., Vokkov V.P., Voloshina N.A. – Harkiv: HNADU, 2007. – 116 s.
7. Vetcel E.S. Teohiy sluchainyih procesiv i ee ingenernyie prilogenie [Tekst] / Vetcel E.S. – M.: Izd. tcentr “Akademiya”, 2003. – 432 s.
8. Elektronne dzherelo: <https://refdb.ru/look/2800012.html>.
9. Elektronne dzherelo: <http://bourabai.ru/cm/kolmogorov.htm>.