

РУХОМИЙ СКЛАД

УДК 629.488:519.87

*Борзилов І.Д., к.т.н., професор (УкрДАЗТ)*

**РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕФЕКТИВНОГО  
ФУНКЦІОНУВАННЯ ПІДРОЗДІЛІВ З ТЕХНІЧНОГО  
ОБСЛУГОВУВАННЯ ВАГОНІВ**

*Постановка проблеми.* Відомо, що щорічні усереднені витрати праці на технічне обслуговування у розрахунку на один вагон складають більше 200 люд.-год, що в 2—3 рази більше трудомісткості деповського ремонту, а ефективність роботи працівників, зайнятих плановим деповським ремонтом, у 20—30 разів вище, ніж працівників, зайнятих технічним обслуговуванням вагонів [1]. Тому в теперішній час на першому плані стає наукове та практичне завдання організації ефективного функціонування саме підрозділів з технічного обслуговування вагонів.

*Аналіз останніх досліджень та публікацій.* Рішення деяких питань даної проблеми викладені у працях білоруських та російських фахівців [2,3]. Запропоновані математичні моделі та алгоритми оптимізації параметрів організації виконання функції своєчасного виявлення пошкоджень та відмов вагонних конструкцій; за умов надійності вагонів проведені розрахунки протяжності гарантійних ділянок ПТО на полігоні залізниць. Отримана залежність довжини гарантованої ділянки ПТО вагонів від імовірності браку в роботі оглядачів вагонів, а отже, і від рівня організації роботи ПТО, оснащеності працівників технічними засобами виявлення пошкоджень і т.п.

*Виділення невирішених раніш частин загальної проблеми.* В період реформування вагонної галузі гостро стає питання щодо організації на залізницях самостійної інфраструктури підприємств (експлуатаційних депо), функції яких полягають в утриманні вагонного парку у належному працездатному стані, шляхом своєчасного та якісного проведення різних видів технічного обслуговування вагонів.

**Постановка завдань.** Рішення задачі оптимального розміщення підрозділів експлуатаційних депо на мережі залізниць теоретично може бути розраховано шляхом створення математичної моделі й алгоритму оптимізації параметрів їх ефективного функціонування в умовах інформаційних технологій в галузі – є метою даної статті.

**Викладення основного матеріалу досліджень.** До підрозділів експлуатаційних депо (ВЧДЕ) можуть входити пункти технічного обслуговування вагонів (ПТО) в тому числі й з відчепленням від составів (ПТОВ), пункти підготовки вагонів до перевезень (ППВ) та ін. Для визначення оптимального розміщення підрозділів ВЧДЕ позначимо мережу залізниць розглянутого полігона експлуатації вантажних вагонів через  $X$ . Розіб'ємо її на  $n$  частин і позначимо їх через  $K_1, K_2, \dots, K_n$ . Кожну зону  $K_j$  повинні обслуговувати свої підрозділи експлуатаційного вагонного депо, позначимо їх  $H_j$ . Приймаємо до керівництва постулат, що ВЧДЕ підпадає під поняття теорії системи масового обслуговування (СМО), а під заявками цієї системи будемо розуміти несправні вагони, яким необхідне технічне обслуговування з відчепленням від состава. Для спрощення моделі припустимо, що якість технічного обслуговування на всіх ВЧДЕ полігона приблизно однакова.

Нехай на всі станції полігона, де розташовані підрозділи ВЧДЕ надходять несправні вагони, що утворюють у часі потік типу Пуассоновського

$$P = \{v(t) = k\} = \frac{(\lambda t)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

де  $v(t)$  – число заявок, що прийшли в СМО за час  $t$ ;

$\lambda$  — параметр вхідного потоку.

Кожна окрема відмова вагона характеризується не тільки моментом часу  $t$  її виявлення, але і координатами місця розташування вагона, який відмовив,  $(\chi_1, \chi_2) \in \mathcal{X}$  на полігоні залізниць, що розглядається.

Розподіл координат розташування виявлених несправних вагонів на цьому полігоні випадково, і його можливо задатися щільністю імовірностей  $f(x)$ , де  $x=(x_1, x_2)$ .

За даними про відчеплення вагонів на розглянутому полігоні, що надходять у ГЮЦ УЗ можна одержати математичне вираження цієї функції з наперед заданою погрішністю.

Отже, згідно з теорії масового обслуговування, заявка є  $(t, x)$ , тобто вагон, що відмовив, характеризується моментом виявлення  $t$  відмови і місцем перебування вагона на момент виявлення цієї відмови  $x = (x_1, x_2)$ .

Якщо  $\chi \in K_j$ , то цьому несправному вагону повинно бути проведено технічне обслуговування з відчепленням тільки у ВЧДЕ із номером  $H_j$ .

Позначимо імовірність цієї події через  $P(y)$ , де  $y$  — інтенсивність потоку несправних вагонів  $(t, x)$  при сталому режимі роботи ВЧДЕ. Іншими словами, мова йде про імовірність події  $\{\chi \in K_j\}$ , що і дорівнює  $P(y)$ .

У кожному конкретному випадку функцію  $P(y)$  можна або визначити аналітично, або оцінити чисельним методом.

Позначимо

$$\mu(K_j) = \int \int_{K_j \in x} f(x_1, x_2) dx_1 dx_2 \quad (2)$$

частку несправних вагонів, виявлених у зоні  $K_j$  за визначений проміжок часу.

Тоді ВЧДЕ із номером  $H_j$  обслуговує потік несправних вагонів (1) з параметром

$$\lambda_j = \lambda \mu(K_j). \quad (3)$$

Використовуючи незалежність функціонування ВЧДЕ, отримаємо вираз для імовірності події в зоні  $K_j$  з координатами  $x = (x_1, x_2)$ :

$$Q(x) = \prod_{j=1}^n [1 - P(\lambda_j)]^{U_{K_j}(x)}, \quad (4)$$

$$\text{де } U_{K_j}(x) = \begin{cases} 1 & \text{при } x \in K_j; \\ 0 & \text{при } x \notin K_j. \end{cases}$$

Вираз (4) є імовірність події яка полягає в тому, що несправний вагон, виявлений у точці  $\chi \in K_j$ , за якимись причинами не буде відновлений під час технічного обслуговування у ВЧДЕ із номером  $H_j$ .

Поклавши  $a(z) = 1n(1 - P(z))$ , вираз (4) приведемо до виду:

$$Q(x) = \exp \left[ - \sum_{j=1}^n a(\lambda_j) U_{K_j}(x) \right]. \quad (5)$$

Звідси випливає, що середнє число  $N(K_1, K_2, \dots, K_n)$  не обслужених технічно за одиницю часу (за добу) вагонів на всьому розглянутому полігоні мережі визначається виразом:

$$N(K_1, K_2, \dots, K_n) = \lambda \int \int_{K_j \in x} Q(x_1, x_2) \cdot f(x_1, x_2) dx_1 dx_2 \quad (6)$$

Завдання полягає в такому виборі зон  $K_1, K_2, \dots, K_n$ , а виходить, і в такім розміщенні ВЧДЕ із номерами  $H_1, H_2, \dots, H_n$ , при якому функціонал (6) був би мінімальним:

$$N(K_1, K_2, \dots, K_n) \rightarrow \min. \quad (7)$$

Таким чином, вираз (7) є критерієм оптимального розміщення експлуатаційних депо на заданому полігоні.

Значним результатом розробки моделі на базі методів теорії масового обслуговування [4] є отримання показників якості роботи підрозділів експлуатаційного депо. Так необхідною умовою безаварійної роботи цього підприємства є наступне

$$\frac{\lambda}{n\mu} < 1, \quad (8)$$

де  $\lambda$  – характеристики міцності вагонних конструкцій та інтенсивність руху поїздів на дільниці;

$n$  – число бригад, що виконують технічне обслуговування (число каналів системи);

$\mu$  – параметри організації робіт в підрозділі.

Потрібно знайти такі припустимі значення  $\lambda$ ,  $\mu$ , і  $n$ , при яких буде сформульована задача на умовний екстремум.

Насправді, на території будь-якого підрозділу є обмежена кількість місць для нагромадження несправних вагонів. Нехай воно дорівнює  $m$  вагонів. Якщо в момент відчеплення несправного вагона уже немає місця для постановки його в чергу, тоді цей вагон пересилається на іншу станцію, тобто губиться заявка, а це вважається недоліком у роботі даного підрозділу ВЧДЕ.

Імовірність втрати заявки може бути підрахована за формулою

$$P_{n+m} = \frac{\rho^{n+m}}{n! * n^m} \cdot \frac{1}{\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^n}{n!} \sum_{s=1}^m \left(\frac{\rho}{n}\right)^s}.$$

Середня тривалість очікування технічного обслуговування вагоном

$$T_{oc} = \frac{n \mu p_n}{(n \mu - \lambda)^2} \cdot \left[ 1 - 2 \left(\frac{\rho}{n}\right)^m + \left(\frac{\rho}{n}\right)^{m+1} \right].$$

Як впливає з математичної теорії марковських випадкових процесів, за умови

$$\lambda \cdot \alpha \leq n \mu, \tag{9}$$

де  $\alpha = \sum_{j=0}^{\lambda} j \varphi_j$ , фінальні розподіли  $p_k = \lim_{t \rightarrow \infty} P_k(t)$ , незалежні від початкового стану системи  $\{\xi(t) = j_o\}$ , існують і задовольняють системі алгебраїчних рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} -\lambda p_0 + \mu p_1 = 0; \\ \lambda \sum_{s=0}^{j-1} \varphi_{j-s} p_s - (\lambda + j\mu) p_j + (j+1)\mu p_{j+1} = 0 \quad \text{якщо } j < n; \\ \lambda \sum_{s=0}^{j-1} \varphi_{j-s} p_s - (1 + n\mu) p_j + n\mu p_{j+1} = 0 \quad \text{якщо } j \geq n. \end{array} \right. \quad (10)$$

До цього додаються умови нормування:

$$\sum_{j=0}^x p_j = 1 \quad (11)$$

Умова (9) виключає можливість необмеженого нагромадження несправних вагонів в підрозділах ВЧДЕ, тобто є умовою безаварійної роботи даного підрозділу.

Більш того, систему алгебраїчних рівнянь (10), спираючись на вираз (11), можна одержати невідомі, які необхідно визначити  $p_0, p_2, p_3, \dots, p_j, \dots$ ,

де  $p_j$  - імовірність того, що в навмання узятий момент часу на території ВЧДЕ знаходиться  $j$  несправних вагонів.

Наприклад, під  $p_n$  розуміють імовірність того, що в будь який узятий момент усі « $n$ » ремонтних бригад працюють і жоден вагон не простоє в черзі.

Виникає задача: знайти такі значення параметрів ВЧДЕ  $n$  (число бригад) і  $\mu$  (зворотна величина усереднених витрат часу на технічне обслуговування з відчепленням), щоб при заданому  $\lambda$  (число пар поїздів, що проходять дану станцію) звести до максимуму імовірність  $p_n$ .

Розглянута модель дозволяє вирішувати такі задачі на будь якому етапі реформування галузі.

**Висновки по даному дослідженню.** В результаті отриманий критерій оптимального розміщення підрозділів експлуатаційних депо на заданому полігоні мережі залізниць та створена математична модель й алгоритм оптимізації параметрів їх ефективного функціонування в умовах інформаційних технологій в галузі.

*Список літератури*

- 1 Нагорный Е.В., Хаба И.И. Совершенствование технического обслуживания вагонов на сортировочных станциях. –Киев.: Техника, 1987. –140с.
- 2 Сенько В.И. Совершенствование организации технического обслуживания и текущего ремонта грузовых вагонов. –Гомель: БелГУТ, 2002. –187с.
- 3 Вагонное хозяйство: Учебник для вузов ж.-д. транспорта/ Под ред. П.А. Устича. –М.: Маршрут, 2003. - 560с.
- 4 Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. – М.: Наука, 1966. –431с.

УДК 629.4.027.11.004.63

*Петухов В. М., аспирант (УкрГАЗТ)*

**АНАЛИЗ СТАТИСТИКИ ТРАНСПОРТНЫХ  
ПРОИСШЕСТВИЙ И ОТЦЕПОК ВАГОНОВ ПО  
НЕИСПРАВНОСТЯМ БУКСОВЫХ УЗЛОВ**

**Постановка проблемы.** Важнейшим элементом вагона, влияющим на безопасность движения, является состояние буксового узла. Разрабатываемая технология непосредственного контроля и диагностики буксовых узлов с помощью бортовых диагностических станций призвана обеспечить раннее обнаружение и предупреждение о неисправностях букс[1]. Для разработки данной технологии очень важно знать о наиболее часто возникающих и наиболее опасных неисправностях букс в процессе их эксплуатации. Здесь выбор контролируемых параметров в значительной мере определяет сложность аппаратуры мониторинга букс, ее качественные показатели и, соответственно, её стоимость.

**Основная часть.** Как показывает статистика, в 2006 году в вагонном хозяйстве Укрзалізниці произошло 243 транспортных происшествий, из них по неисправности роликовых букс — 120, т.е (49,4%). Рассмотрев динамику транспортных происшествий по неисправности буксовых узлов за 2002-2006 г.г. (рисунок 1) можно заметить тенденцию к их снижению.