

УДК 658.7.011.1

## ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАПАСІВ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УТРИМАННЯ ТЕПЛОВОЗІВ

Ольховська Т.О.

## DEFINITION OF CHARACTERISTICS OF STOCKS OF SPARE PARTS FOR MAINTENANCE OF THE MAINTENANCE OF DIESEL LOCOMOTIVES

Olhovskaya T.O.

*У статті розглянуті питання формування запасів запасних частин для утримання тепловозів, що дозволяють якісно оцінювати їх рівень з погляду теорії масового обслуговування. Даний підхід дозволяє розділяти запасні частини на ті, які після їх відновлення можна використовувати повторно й запасні частини, які після виходу їх з ладу можна тільки утилізувати. При цьому процес утримання тепловозів приймається як система, а сам локомотив є об'єктом цієї системи з відповідними показниками інтенсивності й потоку відмов його деталей.*

**Ключові слова:** деталі, запас, відмова, потік, система, тепловоз, елемент.

**Вступ.** Запаси мають складну статико-динамічну природу. Статичність їх проявляється в тому, що на визначений момент часу конкретний продукт не витрачається й не переміщується. Динамічність запасів витікає з того, що на складі, де по більшій частині вони зберігаються, ситуація постійно змінюється: тобто одні продукти відпускаються, а інші надходять. Взагалі ефективність логістичних систем підвищилася б при відсутності запасів, у створення та утримання яких вкладаються чималі кошти. Однак на практиці обійтися без запасів зовсім неможливо.

**Постановка проблеми.** Запаси запасних частин і матеріалів є дуже важливим матеріальним ресурсом, без якого неможлива робота ремонтного виробництва. Існує велика кількість моделей поповнення запасів, підходи до яких можуть істотно розрізнятися між собою. Істотно це залежить у першу чергу від виду запасних частин за характером їх подальшого використання. Одні запасні частини після їх відмови можуть бути відновлені (відремонтовані) і у подальшому встановлені на тепловоз, а інші після виходу їх з ладу тільки утилізуються. Виходячи із цього формалізація задачі по управлінню запасами за видами запасних частин є актуальною й своєчасною.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Формування теорії управління запасами як наукової дисципліни розпочалося в середині 1950-х років. Докладний розвиток цього етапу наведений у роботах [2,3]. Є ряд навчальних посібників [1,5,6,8,9], де з математичної точки зору розкривається сутність формування обсягу запасів, а також основні закономірності стосовно до різних галузей промисловості. В одній з останніх робіт [7], на основі узагальнення, як головний показник використана умова забезпечення заданої надійності постачання. Класична модель оптимізації запасів Уілсона (детерміновані умови закупівель і споживання) була запропонована ще в 1915 р. і дотепер залишається актуальною [4]. По суті вона дала цілий напрямок у дослідженні операцій і оптимізації запасів. Висновок формули Уілсона ґрунтується на необхідності мінімізації витрат на закупівлю продуктів і їх утримання на складі у класичному математичному аналізі. З'явилася безліч модифікацій моделі за рахунок включення додаткових факторів. У той же час, таке ускладнення утруднило її практичне застосування, оскільки для розрахунків не завжди вистачає необхідної інформації. Крім того, більшість існуючих розробок мають обмежену застосовність через неконкретність у визначенні витрат в результаті втрати переваг, волевого призначення норм запасів, а також відсутності комплексного підходу до складових частин сукупних запасів.

**Мета статті.** У роботі зроблена спроба отримати аналітичні залежності, за якими можна визначати рівень запасів різних видів запасних частин за їх подальшим використанням.

**Результати досліджень.** Процес відмов деталей тепловозів в експлуатації є випадковим, тобто не можна достатньо точно прогнозувати, яка деталь і в який час відмовить. Виходячи із цього, комплект

запасних елементів повинен забезпечити своєчасну їх заміну з певною ймовірністю [11].

Для технічного обслуговування (ТО) тепловозів постачання має масовий характер, що дозволяє при розгляді процесу забезпечення використовувати математичний апарат теорії масового обслуговування. При цьому можна зробити наступні припущення [10].

1. Є система обслуговування запасними елементами, яка складається з великої кількості однотипних елементів, що входять у комплект  $Z_{3,4}$ . Під системою обслуговування мається на увазі система ТО тепловозів, а сам тепловоз як об'єкт цієї системи. У систему на обслуговування надходить необмежений найпростіший потік вимог, що складається із наступних найпростіших потоків:

- потік відмов деталей  $\Lambda_1$ , які знаходяться у роботі під час експлуатації тепловоза з параметрами потоку відмов

$$\Lambda_1 = m \lambda_1, \tag{1}$$

де  $\lambda_1$  - інтенсивність відмов деталей тепловоза, які знаходяться у роботі під час експлуатації тепловоза;

$m$  - кількість елементів;

- потік відмов (ремонтів)  $\Lambda_2$  деталей, для комплекту  $Z_{3,4}$  із параметрами

$$\Lambda_2 = n_3 \lambda_2, \tag{2}$$

де  $\lambda_2$  - інтенсивність відмов (ремонтів) деталей для комплекту  $Z_{3,4}$ ;

$n_3$  - кількість деталей даного типу.

Тоді, при наявності запасних елементів цього типу в  $Z_{3,4}$  сумарний потік відмов складе

$$\Lambda_c = \Lambda_1 + \Lambda_2 = m \lambda_1 + n_3 \lambda_2. \tag{3}$$

2. При надходженні потоку вимог від тепловоза (який знаходиться на ТО) або від комплекту запасних частин  $Z_{3,4}$  на запасний вузол або деталь воно негайно задовольняється одним із вільних елементів  $Z_{3,4}$ . При відсутності такого елемента система приймає заявку на обслуговування (чергову вимогу), але при цьому виникає певна ймовірність простою об'єкта, який очікує ремонту [10].

3. Кожний елемент комплекту  $Z_{3,4}$  може одночасно обслуговувати тільки одна чергова вимога. Проведеними дослідженнями на кафедрі "Експлуатація та ремонт рухомого складу" УкрДУЗТ було встановлено, що час обслуговування однієї вимоги одним елементом  $Z_{3,4}$  підпорядкований експоненціальному закону з відповідним математичним очікуванням і часом обслуговування  $t_{обсл}$ .

4. У кожний момент часу система забезпечення об'єкта одним типом запасних елементів  $Z_{3,4}$  може знаходитися в одному з наступних станів:

- у комплекті  $Z_{3,4}$  є всі елементи;

- у комплекті  $Z_{3,4}$  відсутній один з необхідних елементів;

- зайняті два елементи комплекту  $Z_{3,4}$ ;

.....

.....

- зайняті  $n_3 - 1$  елементів комплекту  $Z_{3,4}$  (стан  $n$ );

- зайняті все  $n_3$  елементів комплекту  $Z_{3,4}$  (стан  $n_3 + 1$ ).

Отже, можливо всього  $n_3 + 1$  станів системи забезпечення запасними елементами. Ймовірність того, що в момент часу  $t$  зайнято рівно  $s$  елементів  $Z_{3,4}$ , можна визначити за виразом [10]

$$P_s(t) = \left[ \frac{(t_p \Lambda_c)^s}{s!} \right] (1 - e^{-vt})^s e^{-t_p \Lambda_c (1 - e^{-vt})}, \tag{4}$$

де  $t_p$  - середній час ремонту або заміни деталі із запасів  $Z_{3,4}$ ;

$v$  - інтенсивність потоку ремонту або заміни деталі із запасів  $Z_{3,4}$ .

Інтенсивність потоку ремонту або заміни деталей зі  $Z_{3,4}$  визначається як [10]

$$v = \frac{1}{t_p}. \tag{5}$$

Ймовірність того, що в момент часу  $t$  зайнято не більше  $n_3$  елементів  $Z_{3,4}$ , визначається як сума ймовірностей  $n+1$  неспільних станів від  $s = 0$  до  $s = n_3$ , тоді

$$P_{s \leq n_3}(t) = \sum_{s=0}^{n_3} P_s(t) = e^{-t_p \Lambda_c (1 - e^{-vt})} \sum_{s=0}^{n_3} \left[ \frac{(t_p \Lambda_c)^s}{s!} \right] (1 - e^{-vt})^s. \tag{6}$$

Ймовірність того, що в момент часу  $t$  зайнято більше  $n_3$  елементів  $Z_{3,4}$  (подія протилежна попередній), буде складати

$$P_{s > n_3}(t) = 1 - \sum_{s=0}^{n_3} P_s(t) = 1 - e^{-t_p \Lambda_c (1 - e^{-vt})} \sum_{s=0}^{n_3} \left[ \frac{(t_p \Lambda_c)^s}{s!} \right] (1 - e^{-vt}). \tag{7}$$

Розглянемо граничний випадок при  $t \rightarrow \infty$ .  
Тоді

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P_{s \leq n_3}(t) = P_s(t) = 1 - e^{-t_p \Lambda_c} \sum_{s=0}^{n_3} \left[ \frac{(t_p \Lambda_c)^s}{s!} \right]. \quad (8)$$

Позначивши  $t_p \lambda_c$  через  $\rho$ , імовірність можна визначити як

$$P_n(\rho) = 1 - e^{-\rho} \sum_{s=0}^{n_3} \left[ \frac{(\rho)^s}{s!} \right]. \quad (9)$$

Отриманий вираз використаний для розрахунку потрібної кількості сервісного запасу вузлів і деталей  $Z_{3,4}$ , які можуть бути відновлені для ТО тепловозів 2ТЕ116. Для розрахунку прийнята припустима ймовірність простою об'єкта, що очікує ремонту і

користуючись таблицями функцій  $\sum_{s=0}^{n_3} \left[ \frac{(\rho)^s}{s!} \right]$  при

відомому  $\rho$ , визначено значення кількості запасних частин  $n_3$  [2].

Відповідно до даної методики в локомотивних депо Південної залізниці був зібраний статистичний матеріал і проведений розрахунок потрібної кількості запасних вузлів та деталей тепловозів при проведенні ТО, які можуть бути відновлені.

За цими розрахунками були отримані наступні залежності по визначенню запасу вузлів і деталей, які можуть бути відновлені:

- при  $P_n(\rho) = 0,15$  :

$$f(n_3) = 0,0075n_3^2 + 0,8753n_3 - 2,057; \quad (10)$$

- при  $P_n(\rho) = 0,1$  :

$$f(n_3) = 0,0045n_3^2 + 0,454n_3 - 2,1314; \quad (11)$$

- при  $P_n(\rho) = 0,05$  :

$$f(n_3) = 0,004n_3^2 + 0,0577n_3 - 0,261; \quad (12)$$

- при  $P_n(\rho) = 0,01$  :

$$f(n_3) = 0,0025n_3^2 + 0,00309n_3 - 1,6384. \quad (13)$$

За цими залежностями розрахована та складена номограма, яка дозволяє визначити розрахункову кількість запасних вузлів і деталей тепловозів 2ТЕ116, що можуть бути відновлені при проведенні ТО, (рис. 1). За даною методикою складений перелік таких запасних частин.

Для елементів, які не підлягають відновленню, тобто коли середній час ремонту або заміни деталі із запасів  $Z_{3,4}$  складає  $t \rightarrow \infty$ , а  $\nu \rightarrow 0$ , після підстановки цих обмежень у вираз (7) і розкриття невідомості  $0 \rightarrow \infty$ , одержимо

$$\lim_{\nu \rightarrow 0} P_{S \leq n_3}(t) = P_n(t) = 1 - e^{-\Lambda_c t} \sum_{s=0}^{n_3} \frac{(\Lambda_c t)^s}{s!}. \quad (14)$$

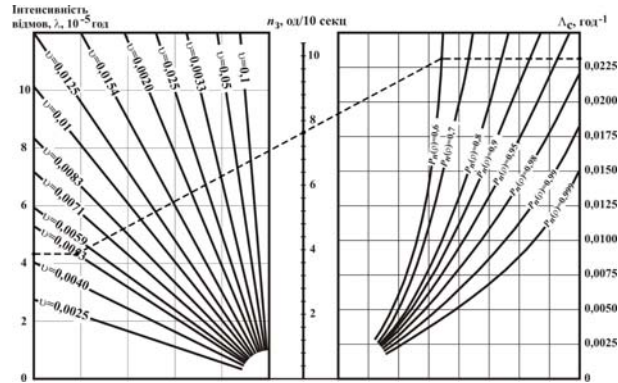


Рис. 1. Номограма для визначення кількості запасних вузлів і деталей тепловозів 2ТЕ116, які можуть бути відновлені

У цьому виразі значення  $\Lambda_c t$  є математичним очікуванням числа запасних елементів за час експлуатації  $t$ . Для розкриття даного виразу приймемо, що об'єкт має інтенсивність відмов  $\Lambda_c$ . Розподіл щільності ймовірності часу безвідмовної роботи  $f(t)$  при експоненціальному законі розподілу відмов має вигляд

$$f(t) = \Lambda_c e^{-\Lambda_c t} = \left( \frac{1}{T_0} \right) e^{-\frac{t}{T_0}}. \quad (15)$$

Система повинна виконувати задані функції протягом часу  $t$  (передбачуваний період експлуатації). За цей час у системі може відбутися випадкова кількість відмов  $n$ , яка обумовлена ненадійністю її окремих елементів. Замість елемента, що відмовив, щоразу із запасу вилучається новий елемент. Тому число витрачених елементів  $n_3$  за час  $t$  буде дорівнює числу відмов  $n$ .

При цих умовах імовірність того, що за час  $t$  об'єкт зажадає точно  $n_3$  запасних елементів, визначиться за формулою Пуассона

$$P_3(t) = \left[ \frac{(\Lambda_c t)^{n_3}}{n_3!} \right] e^{-\Lambda_c t}, \quad (16)$$

де  $\Lambda_c t$  - математичне очікування кількості запасних елементів за час експлуатації  $t$ .

Математичне очікування в цьому випадку можна визначити як

$$M_n = n_3 = \sum_{n_3=0}^{\infty} n_3 P_3(t) = \sum_{n_3=0}^{\infty} \left[ \frac{n_3 (\Lambda_c t)^{n_3}}{n_3!} \right] e^{-\Lambda_c t}. \quad (17)$$

Перший член суми даного виразу при  $n_3 = 0$  буде дорівнювати нулю. Отже, його можна перетворити до наступного виду

$$n_{cp} = \Lambda_c t e^{-\Lambda_c t} \sum_{n_3=1}^{\infty} \frac{(\Lambda_c t)^{n_3-1}}{(n_3-1)!}. \quad (18)$$

Позначимо  $n-1 = k$ . Тоді

$$n_{cp} = \Lambda_c t e^{-\Lambda_c t} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(\Lambda_c t)^k}{k!} = \Lambda_c t e^{-\Lambda_c t} e^{\Lambda_c t} = \Lambda_c t. \quad (19)$$

Таким чином, вираз (9) можна записати у вигляді

$$P_n(t) = 1 - e^{-n_{cp}} \sum_{s=0}^{n_3} \frac{n_{cp}^s}{s!}. \quad (20)$$

Задаючись припустимою ймовірністю простою об'єкта  $P_n(t)$ , а також значенням часу експлуатації  $t$  і знаючи величину  $\Lambda_c$  можна знайти  $n_{cp}$ , а потім за формулою (20) визначити кількість запасних елементів  $n_3$ .

**Висновки.** У роботі визначено, що основною умовою стабільного матеріально-технічного постачання при утриманні тепловозів є формування й контроль запасів відповідних видів запасних частин на всіх видах зберігання (цехах, площадках, коморах). Враховано, що таке постачання має масовий характер. Це, у свою чергу, дозволило при розгляді процесу забезпечення застосувати математичний апарат теорії масового обслуговування. В роботі запропонований порядок розрахунку щодо визначення раціонального розміру запасних частин, які можна поновити та таких, що потребують утилізації. За виконаними розрахунками створені номограми залежностей ймовірності відмов і часу поповнення запасів.

#### Л и т е р а т у р а

1. Бродецкий Г.Л. Управление запасами / Г.Л.Бродецкий. - М.: Эксмо, 2008. - 352с.
2. Букан Дж. Научное управление запасами / Букан Дж., Кенигсберг Э. - М.: Наука, 1967. - 424с.
3. Дж. Хедли Анализ систем управления запасами / Дж. Хедли, Т. Уайтгин. - М.: Наука, 1969. - 512с.
4. Лукинский В.С. Модели и методы теории логистики / В.С.Лукинский. - М.: "Питер", 2003. - 176с.
5. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управление запасами / Ю.И.Рыжиков. - СПб.: "Питер", 2001. - 384с.
6. Сакович В.А. Модели управления запасами / В.А.Сакович. - Минск.: Наука и техника, 1986.-319 с.

7. Тиверовский В.И. Новый этап в развитии транспорта и логистики за рубежом / В.И.Тиверовский // Транспорт: наука, техника, управление. - 2013. - №12. - С.46-51.
8. Фасоляк Н.Д. Экономика, организация и планирование материально -технического снабжения и сбыта / Н.Д.Фасоляк. - М.: Экономика, 1980. - 276 с.
9. Фролов В.А. Организация работы материальных складов железнодорожного транспорта / В.А.Фролов, А.Г.Усов. - М.: Транспорт, 1979. 296 с.
10. Хэнссменн Ф. Применение математических методов в управлении производством и запасами / Хэнссменн Ф. - М.: Прогресс, 1966. - 93 с.
11. Шубников А.К. Экономика и организация материально-технического снабжения железнодорожного транспорта / А.К.Шубников. - М.: Транспорт, 1991.-214с.

#### References

1. Brodeckiy G.L. Upravlenie zapasami / G.L. Brodeckiy. - M.: Eksmo, 2008. - 352s.
2. Bukan Dg., Kenigsberg E. Nauthnoe upravlenie zapasami / Bukan Dg., Kenigsberg E. - M.: Nauka, 1967. - 424s.
3. Dg. Hedly, T. Yatin. Analiz sistem upravleniya zapasami / Dg. Hedly, T. Yatin. - M.: Nauka, 1969/ - 512s/
4. Lukinsky V.S. Modeli I metody teorii logistici / V.S. Lukinsky. - M.: "Piter", 2003. - 176s.
5. Rygikov U.I. Teoriya otheredey i upravlenie zapasami / U.I. Rygikov. - SPb.: "Piter", 2001. - 384s.
6. Sakovich V.A. Modeli upravleniya zapasami / V.A. Sakovich. - Minsk.: Nauka I texnika, 1986. - 319s/
7. Tiversky V.I. Novi etap v razvitii transporta i logistiki za rubegem / V.I. Tiversky // Transport: nauka, texnika, upravlenie. - 2013. - №12. - S.46-51.
8. Fasolyak N.D. Ekonomika, organizaciya i planirovanie materialno-texnicheskogo snabgeniya i zbita / N.D. Fasolyak. - M.: Ekonomika, 1980. - 276s.
9. Frolov V.A. Organizaciya raboty materialnyx skladov geleznodorogного transporta / V.A. Frolov. - M.: Transport, 1979. - 296s.
10. Xensmen F. Primenenie matematicheskix metodov v upravlenii proizvodstvom i zapasami / Xensmen F. - M.: Progres, 1966. - 93s.
11. Hubnikov A.K. Ekonomika i organizaciya materialno-texnicheskogo snabgeniya geleznodorogного transporta / A.K. Hubnikov. - M.: Transport, 1971. - 214s.

#### Ольховская Т.А. Определение характеристик запасов запасных частей для обеспечения содержания тепловозов.

*В статье рассмотрены вопросы формирования запасов запасных частей для содержания тепловозов, позволяющие качественно оценивать их уровень с точки зрения теории массового обслуживания. Данный подход позволяет разделять запасные части на те, которые после их восстановления можно использовать повторно и запасные части, которые после выхода их из строя можно только утилизировать. При этом процесс содержания тепловозов принимается как система, а сам локомотив является объектом этой системы с соответствующими показателями интенсивности и потока отказов его деталей.*

**Ключевые слова:** детали, запас, отказ, поток, система, тепловоз, элемент.

**Olxovskay T.O. Definition of characteristics of stocks of spare parts for maintenance of the maintenance of diesel locomotives.**

*In clause questions formation of stocks of spare parts for the maintenance of the diesel locomotives are considered, allowing qualitatively estimating their level from the point of view of the theory of mass service. The given approach allows to divide spare parts on what after their restoration can be used repeatedly and spare parts which after their exit out of operation can be utilized only. Thus process of the maintenance of diesel locomotives is accepted as system, and the lo-*

*comotive is object of this system with corresponding parameters of intensity and a stream of refusals of his details.*

**Keywords:** *details, a stock, refusal, a stream, system, a diesel locomotive, an element.*

**Ольховська Т.О.** – інженер вагонного депо Харків-Сортувальний, ДП "Південна залізниця".  
Тел. 099-511-32-54

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Марченко Д.М.**

Стаття подана 29.03.2016