

УДК 623.4.083

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.158.2015.63417>

**ОЦІНКА ОПТИМАЛЬНИХ ВЕЛИЧИН ЗАПАСІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕМОНТНОГО ГОСПОДАРСТВА ДЕПО**

Д-р техн. наук О.С. Крашенінін, магістр С.П. Войтович-Левицький

**ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНЫХ ВЕЛИЧИН ЗАПАСОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕМОНТНОГО ХОЗЯЙСТВА ДЕПО**

Д-р техн. наук А.С. Крашенинин, магистр С.П. Войтович-Левицкий

**ESTIMATION OF OPTIMAL VALUES FOR STOCKS DEPOT REPAIR MANAGEMENT**

Doct. of techn. sciences O.S. Krashenin, master student S.P. Voytovych-Levytsky

*Основним резервом підтримки технічного стану локомотивів у сучасних умовах все в більшій мірі залишається ефективне ремонтне господарство. Його ефективність значною мірою залежить від роботи служб постачання ремонтних дільниць різними матеріалами, запасними частинами і напівфабрикатами.*

*У статті на основі аналізу загальних підходів до організації служб забезпечення підприємств розглянуто варіант випадкового попиту, що виникає при проведенні позапланових ремонтів локомотивів і їх обладнання.*

**Ключові слова:** запаси, попит, ремонтне господарство.

*Основным резервом поддержания технического состояния локомотивов в современных условиях все в большей степени остается эффективное ремонтное хозяйство. Его эффективность в значительной степени зависит от работы служб снабжения ремонтных участков различными материалами, запасными частями и полуфабрикатами.*

*В статье на основе анализа общих подходов к организации служб обеспечения предприятий рассмотрен вариант случайного спроса, который возникает при проведении неплановых ремонтов локомотивов и его оборудования.*

**Ключевые слова:** запасы, спрос, ремонтное хозяйство.

*Main reserve support technical condition of locomotives in modern conditions increasingly is effective repair facilities. Its effectiveness largely depends on the supply of services of repair stations different materials, spare parts and semi-finished goods.*

*The article is based on analysis of common approaches to the organization of services providing companies consider the option of random demand that occurs during unplanned locomotives and repair its equipment.*

**Keywords:** stocks, demand, repair facilities.

**Вступ.** На найбільшу перспективу стабільність роботи локомотивного господарства буде забезпечуватися за рахунок якісного виконання ТО, ПР локомотивів. Але резерви щодо підвищення ефективності роботи ремонтного господарства вже майже вичерпані.

Виходячи з цього треба продовжувати пошук нових джерел відновлення ремонтного господарства, що є актуальним завданням для депо.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями.** Ремонтне господарство не може функціонувати без налагодженої системи постачання. За нинішніх умов треба враховувати можливості випадкових попитів на послуги ремонтного сервісу. Це у свою чергу визначає пошук і розроблення нових підходів щодо визначення оптимальної величини запасів для роботи ремонтних ділянок.

Галузь приділяє значну увагу вирішенню завдань забезпечення залізничних підприємств оптимально обґрунтованою кількістю матеріалів і запасних частин, особливо в умовах необхідності подовження терміну експлуатації рухомого складу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Науковці в багатьох дослідженнях відмічають важливе значення, що має система постачання для роботи підприємств [1-4]. Особливо це отримало актуальний характер в умовах розвитку ринку і супроводжуючої його конкуренції з боку зовнішніх чинників.

Наукові та прикладні дослідження, проведені на кафедрі ЕРПС УкрДУЗТ Тартаковським Е.Д., Жалкіним С.Г., Бабаніним О.Б., Пузирем В.Г., показали необхідність пошуку і розвитку підходів до удосконалення системи постачання для локомотивних депо.

**Визначення мети та аналіз дослідження.** Аналіз існуючих підходів до оптимальних систем постачання і розгляд завдань постачання, коли попит на запас має випадковий характер.

**Основна частина дослідження.** Визначення оптимальних запасів є одним з важливих завдань, з якими доводиться стикатися при плануванні дій підприємств [1-3].

Завдання управління запасами в загальному випадку має нижченаведене формулювання.

Є деякі запаси, витрати на утримання яких є функцією їх величини (лінійної або нелінійної). Запаси витрачаються тим чи іншим чином, причому відсутність запасів призводить до того чи іншого штрафу (іноді відсутність запасів взагалі може не допускатися).

Ставиться завдання визначити розмір запасу, оптимальний у сенсі мінімізації загальних витрат [5-7].

Основними поняттями при вирішенні цих завдань є:

- витрати, які за своїм характером поділяються на витрати, пов'язані з доставкою партії, зберіганням запасів, позаплановим придбанням запасу, збитком від продажу

зайвих запасів чи іншими видами функцій штрафу;

- запаси, які можуть відноситися до запасів одного або багатьох типів і можуть поповнюватися або миттєво, або із затримкою в часі;

- попит, що може бути випадковим або не випадковим;

- обмеження, які можуть мати різний характер.

Загальної теорії управління запасами в даний час не існує, хоча багато завдань у цій галузі вирішені й описані [8-11].

У загальному випадку завдання управління запасами зводяться до задачі нелінійного програмування, загальних методів розв'язання якої немає, тому застосовуються окремі методи, які не гарантують отримання оптимального розв'язку.

Розглянемо один з підходів для розв'язання деяких таких задач [1-3]. Нехай деякі запаси витрачаються з постійною швидкістю, причому допускати недостатність цих запасів можна. Нехай витрати на доставку партії запасів не залежать від її розміру і рівні  $C_l$ . Витрати на зберігання запасів в одиницю часу дорівнюють  $C_s$ . Загальний попит за інтервал  $\theta$  дорівнює  $N$ . Вважаючи, що всі партії складаються з однакового числа запасів  $n$ , знайдемо цю величину з умови мінімуму сумарних витрат:

$$n = \sqrt{2 \frac{NC_l}{\theta C_s}}.$$

Сумарні витрати в цьому випадку дорівнюють

$$C_{\Sigma} = \sqrt{2NC_l\theta C_s}.$$

Максимальний розмір запасу дорівнює  $n$ , а зміна запасів у часі має відбуватися так, як це показано на рис. 1,а.

Розглянемо більш загальний випадок, коли недостатність запасів допускається, але призводить до збитків  $C_p$  в одиницю часу. Потрібно вибрати максимальний рівень запасу  $s$  і величину  $n$  з умови мінімуму сумарних витрат [4].

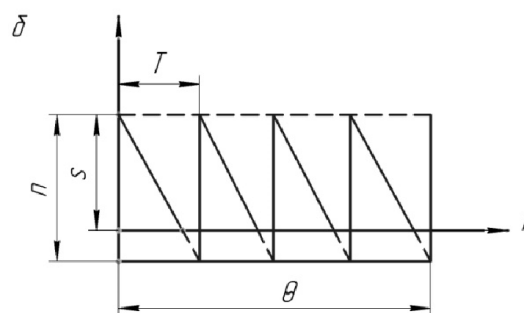
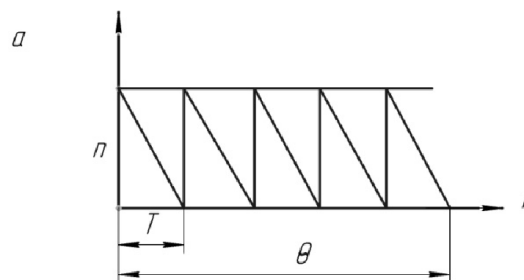


Рис. 1. Зміна запасів

У цьому випадку величина запасів визначається за формулою

$$n = \sqrt{2 \frac{N}{\theta} \cdot \frac{C_l}{C_s} \cdot \frac{C_s + C_p}{C_p}},$$

а максимальний розмір запасу

$$s = n \frac{C_p}{C_s + C_p},$$

сумарні витрати

$$C_{\Sigma} = \sqrt{2N\theta C_l C_s \frac{C_p}{C_s + C_p}},$$

а зміна запасів у часі має відбуватися так, як це показано на рис. 1,б.

Ці випадки, мають безперервний попит, але не випадковий, тобто в одиницю часу  $\theta$  потрібна одна і та ж кількість запасів  $N$ . Проте практично так ніколи не буває. За один проміжок часу запасів буде потрібно більше, за інший проміжок часу менше. У цьому випадку замість  $N$  необхідно або знати ймовірності тієї чи іншої потреби  $P\left(\frac{H}{\theta}\right)$ , або, якщо  $N$  досить

велике, дискретний розподіл імовірностей може бути замінений безперервним, що характеризується щільністю розподілу ймовірностей  $f\left(\frac{N}{\theta}\right)$ .

Нехай деякі запаси витрачаються з постійною швидкістю, величина якої випадкова і характеризується ймовірностями  $P\left(\frac{H}{\theta}\right)$  витрати на зберігання одного виду запасу в одиницю часу  $C_s$ , витрати на доставку партії запасів будемо вважати досить малими, у разі недостатності запасів необхідні додаткові витрати  $C_p$  на відсутній запас в одиницю часу. Потрібно знайти оптимальний рівень запасу і розмір партії [12,13].

Розв'язання цієї задачі досить складне і має такий вигляд: необхідно розрахувати функцію

$$L(s) = P\left(\frac{N}{\theta} \leq s\right) + \left(s + \frac{1}{2}\right) \sum_{\frac{N}{\theta}=s+1}^{\infty} \frac{P\left(\frac{N}{\theta}\right)}{\frac{N}{\theta}},$$

потім визначити оптимальну величину  $S_0$  з умови

$$L(s_0 - 1) \leq \frac{C_p}{C_s + C_p} \leq L(s_0),$$

а математичне очікування витрат – за формулою

$$C_{\Sigma} = C_s \sum_{\frac{N}{\theta}=0}^{\infty} \left(s - \frac{N}{2\theta}\right) P\left(\frac{N}{\theta}\right) + C_s \sum_{\frac{N}{\theta}=s+1}^{\infty} \frac{1}{2} \times \frac{s^2}{\frac{N}{\theta}} P\left(\frac{N}{\theta}\right) + C_p \sum_{\frac{N}{\theta}=s+1}^{\infty} \frac{1}{2} \times \frac{\left(\frac{N}{\theta} - s\right)^2}{\frac{N}{\theta}} P\left(\frac{N}{\theta}\right).$$

Якщо розподіл безперервний, то відповідні суми замінюються інтегралами:

$$L(s) = \int_0^s f\left(\frac{N}{\theta}\right) d\left(\frac{N}{\theta}\right) - s \int_s^{\infty} \frac{f\left(\frac{N}{\theta}\right)}{\frac{N}{\theta}} d\left(\frac{N}{\theta}\right);$$

$$L(s_0) = \frac{C_p}{C_s + C_p};$$

$$C_{\Sigma} = C_s \int_0^s \left(s - \frac{1}{2} \cdot \frac{N}{\theta}\right) f\left(\frac{N}{\theta}\right) d\left(\frac{N}{\theta}\right) + C_s \int_s^{\infty} \frac{s^2}{2 \frac{N}{\theta}} f\left(\frac{N}{\theta}\right) d\left(\frac{N}{\theta}\right) + C_p \int_s^{\infty} \frac{\left(\frac{N}{\theta} - s\right)^2}{2 \frac{N}{\theta}} f\left(\frac{N}{\theta}\right) d\left(\frac{N}{\theta}\right).$$

Розглянемо розв'язання для випадку, коли потреби підпорядковані закону рівної ймовірності.

Функція щільності ймовірності в цьому випадку набуває вигляду

$$f\left(\frac{N}{\theta}\right) = \frac{1}{b} \text{ при } 0 \leq \frac{N}{\theta} \leq b;$$

$$f\left(\frac{N}{\theta}\right) = 0 \text{ при } \frac{N}{\theta} \geq b.$$

Тоді, використовуючи формулу для  $L(s)$ , одержуємо

$$L(s) = \frac{1}{b} \int_0^s d\left(\frac{N}{\theta}\right) + \frac{s}{b} \int_s^b \frac{1}{\frac{N}{\theta}} d\left(\frac{N}{\theta}\right) = \frac{s}{b} + \frac{s}{b} \ln \frac{b}{s}$$

і, використовуючи формулу для  $L(s_0)$ :

$$\frac{C_p}{C_s + C_p} = \frac{s_0}{b} + \frac{s_0}{b} \ln \frac{b}{s_0}.$$

З цього рівняння методом підбору можна знайти  $\frac{s_0}{b}$ .

Для спрощення розрахунків складемо таку таблицю.

$\frac{s_0}{b}$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\frac{C_p}{C_s + C_p}$	0,000	0,330	0,520	0,661	0,767	0,847	0,906	0,950	0,979	0,995	1,000

Математичне сподівання витрат становить

$$C_{\Sigma} = \frac{C_s}{b} \left[ \frac{3}{4} s_0^2 + \frac{s_0^2}{2} \ln \frac{b}{s_0} + \frac{C_p}{2C_s} \left( \frac{b^2}{2} + \frac{3}{2} s_0^2 - 2bs_0 + s_0^2 \ln \frac{b}{s_0} \right) \right].$$

Нехай витрати на збереження запасів  $C_s = 100$  грн/доб, а витрати при недостатності запасів складають  $C_p = 200$  грн/доб. Потреба в запасах може мінятися від 0 до 20000 од. запасів за добу за законом рівної ймовірності.

Тоді значення

$$\frac{C_p}{C_s + C_p} = \frac{200}{100 + 200} = 0,667.$$

З таблиці для цього значення знаходимо

$$\frac{s_0}{b} = 0,306.$$

Звідки  $s_0 = 0,306 \cdot 20000 = 6120$  од. запасів.

Математичне очікування витрат

$$C_{\Sigma} = \frac{100}{20000} \left[ \frac{3}{4} 6120^2 + \frac{6120^2}{2} \ln \frac{20000}{6120} + \frac{200}{2 \cdot 100} \cdot \left( \frac{20000^2}{2} + \frac{3}{2} 6120^2 - 2 \cdot 20000 \cdot 6120 + 6120^2 \ln \frac{20000}{6120} \right) \right] = 5300 \text{ грн}$$

Математичне очікування розміру партії, що подається

$$n = \frac{S}{2} = 10000 \text{ од. запасів.}$$

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному**

**напряму.** Як видно з розрахунків, у разі недопускання недостатності запасів треба мати значно більше запасів, що призводить до додаткових витрат на їх збереження.

З урахуванням випадкового характеру потреби в запасах необхідність резервів, навпаки, зростає.

#### *Список використаних джерел*

1. Годжинский А.М. Основы логистики [Текст]: учеб. пособие / А.М. Годжинский. – М.: ИВЦ «Маркетинг», 1995. – 124 с.
2. Смехов, А.А. Введение в логистику [Текст] / А.А. Смехов. – М.: Транспорт, 1993. – 112 с.
3. Смехов, А.А. Логистика [Текст] / А.А. Смехов. – М.: Знание, 1990. – 64 с.
4. Вунш, Г. Теория систем [Текст] / Г. Вунш. – М.: Советское радио, 1978. – 288 с.

5. Вентцель, Е.С. Исследование операций [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Сов. радио, 1972. – 550 с.
6. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения [Текст] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1988. – 480 с. (Физико-математическая библиотека инженера. Вып. 106).
7. Гнеденко, Б.В. Введение в теорию массового обслуживания [Текст] / Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко. – М.: Наука, 1987. – 336 с.
8. Овчаров, Л.А. Прикладные задачи теории массового обслуживания [Текст] / Л.А. Овчаров. – М.: Машиностроение, 1969. – 324 с.
9. Вентцель, Е.С. Введение в исследование операций [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Сов. радио, 1964.
10. Беллман, Р. Динамическое программирование [Текст] / Р. Беллман; пер. с англ. И.М. Андреевой [и др.]; под ред. Н.Н. Воробьева. – М.: Изд. иностр. лит., 1960.
11. Саати, Т. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения [Текст] / Т. Саати; пер. с англ. Е.Г. Коваленко; под ред. И.Н. Коваленко и Р.Д. Когана. – М.: Сов. радио, 1965.
12. Селеванов, А.И. Основы теории старения машин [Текст] / А.И. Селеванов. – М.: Машиностроение, 1970. – 408 с.
13. Kalbfleisch Wm. Cost of operating farm machinery. Agricultural Department of Canada, 1950.

---

Крашенінін Олександр Семенович, д-р техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-99. E-mail: glelan@mail.ru.  
Войтович-Левицький С.П., магістрант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: v.lev.sergey@mail.ru.

Krashenin Oлександр, doct. of techn. sciences, professor, Department of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport, tel.: (057) 730-19-99. E-mail: glelan@mail.ru.  
Voytovych Levytsky S.P., undergraduate of the maintenance and repair of rolling stock Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: v.lev.sergey@mail.ru.

Наукова праця здана до друку 21.09.2015 р.