

УДК 629.42

ВИЗНАЧЕННЯ І ОПТИМІЗАЦІЯ ЗАПАСІВ ДЛЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ РЕМОНТНОГО ГОСПОДАРСТВА ЛОКОМОТИВНОГО ДЕПО

Д-р техн. наук О. С. Крашенінін, кандидати техн. наук О. О. Шапатіна, О. М. Обозний,
старш. викл. О. О. Анацький, асп. К. С. Бондаренко

DETERMINATION AND OPTIMIZATION OF INVENTORIES FOR THE FUNCTIONING OF THE REPAIR MANAGEMENT OF THE LOCOMOTIVE DEPOT

D. Sc. (Tech.) O. S. Krashenin, PhD (Tech.) O. O. Shapatina,
PhD (Tech.) O. M. Obozny, Senior Lecturer O. O. Anatskyi,
postgraduate student K. S. Bondarenko

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.212.2025.336440>



Анотація. Стабільна робота ремонтного господарства забезпечена наявністю необхідної кількості запасів вузлів і агрегатів, а також матеріалів.

Це визначає необхідність формування такої структури ремонтних дільниць, яка функціонує надійно і забезпечує високий рівень виконання ремонтних робіт.

У статті розглянуто процедуру визначення і оптимізації запасів для ефективного функціонування ремонтного господарства локомотивного депо на підставі оптимізації витрат, пов'язаних із придбанням, дефіцитом запасів і витрат на його збереження.

Рівень величини запасів визначають з урахуванням рівня надійності обладнання, для якого створено запас, за планований період роботи локомотивів, тобто з урахуванням частоти заміни кожної одиниці обладнання.

Ключові слова: ремонтне господарство, запаси, дефіцит, профіцит, відносні приведені витрати.

Abstract. In today's conditions, rolling stock maintenance is not only a means of maintaining operational efficiency, but also an important component of traffic safety, environmental safety of transportation and increasing profitability. Rational planning and use of the depot structure, organization of technological processes, effective use of equipment and qualified personnel allow optimizing costs and improving the quality of maintenance and repair of rolling stock. Stable operation of the repair facility is ensured by the presence of the necessary number of permanent stocks of components and assemblies, as well as materials. This determines the need to form such a structure of repair sections of the locomotive facility, which functions reliably and ensures a high level of performance of repair work and maintenance. The article considers the procedure for determining and optimizing the size of reserves for the effective operation of the repair facility of the locomotive depot based on optimizing costs associated with the acquisition, the presence of a shortage of stocks and the costs of its preservation. From the practical work of the depot, it is known that sometimes in the warehouses of the enterprise, or some departments, there are no spare parts and materials of some items and at the same time there are surpluses of other items of inventory. In the absence of necessary spare parts, when the rolling stock fails, its forced downtime occurs, which leads to losses. But excess spare parts are also associated with losses due to the "freezing" of funds and increased storage costs. One of the reasons leading to the above shortcomings is the lack of substantiated methods for determining the need for spare parts. The level of inventory is determined taking into account the level of reliability of the equipment for which the inventory is created, for the

planned period of operation of the locomotives, that is, taking into account the frequency of replacements of each unit of equipment. Keywords: repair facilities, inventories, deficit, surplus, relative reduced costs.

Keywords: *repair economy, stocks, deficit, surplus, relative reduced costs.*

Вступ. Ремонтне господарство забезпечує необхідний рівень надійності локомотивного парку депо і базоване на оптимальному співвідношенні і поєднанні особливих і штучних елементів виробництва, тобто рівні технічного, технологічного і матеріального забезпечення і кваліфікації ремонтного персоналу.

Високий рівень готовності рухомого складу до експлуатації визначений якістю і часом проведених ремонтних заходів.

На жаль, уже довгий час фінансування ремонтної інфраструктури забезпечено за залишковим принципом, що призвело до несвоєчасного оновлення ремонтного фонду сучасними приладами механізації і автоматизації виробничих процесів і впровадження технологій і устаткування з діагностування стану вузлів, агрегатів і деталей локомотивів [1-3].

З іншого боку, це не завжди виправдані простої в ремонті, що викликано відсутністю необхідного запасу, агрегатів і матеріалів.

У таких умовах актуальним стає завдання визначення оптимальних запасів цих складових з урахуванням дійсно необхідної їхньої кількості на основі інформації про надійність їх в експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемам підвищення ефективності експлуатації тягового рухомого складу присвячено багато праць наукового і прикладного характеру.

Так, у роботах [4, 5] розглянуто питання оптимізації системи ТО, ПР ТРС на основі оптимізації міжремонтних пробігів і обсягів ТО, ПР ТРС з урахуванням використання технологій і устаткування з діагностування обладнання локомотивів.

У дослідженні [5] основну увагу приділено обґрунтуванню витрат на життєвий цикл ТРС.

Роботи прикладного характеру направлені на створення і реалізацію удосконалення системи оцінювання технічного стану окремого обладнання ТРС [6, 7].

У деяких дослідженнях акцентовано на доцільності запровадити сервіс у локомотивних депо замість або як допоміжну систему підтримки і відновлення працездатного стану ТРС до прийнятої планово-попереджувальної системи ТО, ПР [8].

Порушують питання про зміну ролі виробників ТРС не тільки щодо виробництва, але моніторингу і виконання великих ремонтів на власних потужностях.

Як фундаментальні дослідження треба згадати роботи Гнеденка Б. В., Вентцеля Є. С., Белмана та ін., у яких розглянуто питання надійності і оцінювання системи ТО, ПР технічних систем [9].

Але для реальних умов експлуатації, і особливо організації ремонту обладнання ТРС, питання забезпечення ремонтної галузі обґрунтованим об'ємом запасів потребують подальшого розвитку, особливо враховуючи невизначені обмеження і реальний стан технічного об'єкта.

Мета та завдання дослідження. Мета дослідження полягає в розробленні підходів для визначення оптимальної величини запасів для забезпечення функціонування ремонтного господарства депо, враховуючи надійність обладнання, для якого потрібні відповідні запаси, і чинників витрат на придбання, наявності дефіциту або, навпаки, надлишку (профіциту) цих запасів.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Обґрунтувати особливості формування величин запасів.
2. Визначити складові, що визначають рівень і динаміку зміни запасів.

3. Розрахувати оптимальну величину запасів для ремонтного господарства.

Виклад основного матеріалу. Для великих ремонтних підприємств із ремонту ТРС і його обладнання передбачено спеціальні запаси, які називають оборотними.

Традиційно оборотний запас агрегатів поділяють на технологічний і страховий, що пов'язано з забезпеченням технологічного процесу і випадковим характером потреби, пов'язаної з непередбаченими обставинами.

Такий поділ зручний для планування величини запасів для великих видів ремонтів, що значно скорочує простій під технологічними операціями.

Однак для масових потреб запасних частин, таких як кріпильне обладнання, окремі вузли систем локомотивів, цей метод неможливо використовувати.

Із практики відомо, що іноді на складах депо, відділень, залізниць відсутні запасні частини і матеріали одних найменувань, у той же час є надлишки деталей інших найменувань. За відсутності необхідних запасних частин після відмови локомотива настає його вимушений простій, що призводить до збитків. Якщо ж є зайві запасні частини, це також пов'язано зі збитками внаслідок «заморожування» засобів і витрат зберігання. Одна із причин, що призводять до зазначених недоліків, – відсутність обґрунтованих методів визначення потреби в запасних частинах.

Величина запасу деталей розглянутого типу за планований період T_{nl} роботи парку локомотивів чисельністю N має відповідати рівню надійності цих деталей, їхнім фактичним витратам. Останній переважно залежить від міжремонтних пробігів L_p , тому що ресурс деталі до заміни

$$\widehat{L}_{cp} = \int_0^{L_p} P(l) dt.$$

А середній параметр потоку заміни деталей такого типу $\bar{\omega} = \frac{1}{\widehat{L}_{cp}}.$

За планований період T_{nl} (залежить від періодичності поставок запасних частин) кожний локомотив виконає пробіг

$$L_{nl} = \frac{L_p}{365} \cdot T_{nl},$$

де L_p – річний пробіг, протягом якого середня частота заміни кожної деталі складе

$$p_z = \bar{\omega} L_{nl} = \frac{L_p T_{nl}}{365 \widehat{L}_{cp}}.$$

Потрібно визначити, яку кількість z_0 запасних частин необхідно мати на початку періоду за умови забезпечення мінімуму витрат на їхнє придбання, зберігання зайвих деталей і збитків у випадку дефіциту.

Імовірність того, що відмовить рівно m деталей за період T_{nl} , визначимо за формулою Пуассона

$$P_{m,n} = \frac{(p_z n)^m}{m!} e^{-p_z n},$$

де $n = kn$ – кількість деталей певного типу на N локомотивах, а k – кількість деталей на локомотиві.

Якщо запас деталей дорівнює z , то дефіцит їх складе $(m-z)$, а надлишок $-(z-m)$. Тоді витрати і втрати депо через придбання, надлишок і нестачу запасних частин певного типу визначають за формулами

$$E_{z,n} = c_y \sum_{m=0}^n m P_{m,n}; \quad (1)$$

$$E_{zn} = (c'_u + c_{зб}) \sum_{m=0}^{n-1} (z-m) P_{m,n}; \quad (2)$$

$$E_{z0} = c_0 \sum_{m=z+1}^n (m-z) P_{m,n}, \quad (3)$$

де c_u – ціна однієї деталі;

$c_{зб}$ – витрати на зберігання деталі за планований період;

c_0 – збитки від дефіциту однієї деталі;

c'_u – втрати від невикористання однієї деталі за період.

$$T_{nl}, c'_u = c_u [\exp(\varepsilon T_{nl}) - 1]$$

Замість використання нормативного коефіцієнта E_n , що має дискретний характер, застосуємо коефіцієнт ε , що допускає приведення витрат на будь-який строк, у тому числі менше року. Оскільки в цьому випадку час T_{nl} вимірюють у добах, тоді

$$\varepsilon = \frac{1}{365} \ln(1 + E_{zn}),$$

і якщо $E_{zn} = 0,12$, то $\varepsilon = 0,309 \cdot 10^{-3}$, 1/доба.

Сумарні витрати, що залежать від запасу, складуть $E_{zn} = E_{zn} + E_{zu} + E_{z0}$.

Витрати на придбання на підставі рівняння (1) і властивостей розподілу Пуассона $E_{zn} = c_u p_z n$.

Суми у виразах (2), (3) перетворимо до вигляду

$$E_{zn} = c''_u z \sum_{m=0}^{z-1} P_{m,n} - c''_u p_z n \sum_{m=0}^{z-1} P_{m-1,n};$$

$$E_{z0} = c_0 p_z n \sum_{m=z+1}^n P_{m,n} - c_0 z \sum_{m=z+1}^n P_{m,n};$$

де $c''_u = c'_u + c_{зб}$.

Використовуючи табульовану

функцію $q(x) = \sum_{m=x}^{\infty} \frac{a^m}{m!} e^{-a}$, одержимо

$$E_{zc} = c_u n p_z - c''_u \{z[1 - q(z)] - n p_z [1 - q(z-1)]\} + c_0 [n p_z q(z) - z q(z+1)].$$

Розглянемо відносні питомі витрати

$$U_z = \frac{E_{zc}}{n c_u} = 1 + \frac{v_z - p_z}{\gamma_n + \gamma_0} \left(\frac{\gamma_n}{\gamma_n + \gamma_0} - q(v_z) \right), \quad (4)$$

де $\gamma_n = \frac{c''_u}{c_u}$, $\gamma_0 = \frac{c_0}{c_u}$, $\gamma_z = \frac{z}{n}$, а

величину $\frac{1}{n}$ через малість порівняно з v_z (за великих n) не враховано.

Мінімізуючи відомими способами функцію U_z , можна визначити оптимальне значення v_{z0} і запас $z_0 = v_{z0} n$.

За більших значень a у виразі (4) з достатньою точністю

$$q(x) = 1 - F_0\left(\frac{x-a}{\sqrt{a}}\right),$$

де

$$F_0(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$$

Тоді

$$U_z = 1 + \frac{v_z - p_z}{\gamma_n + \gamma_d} \left[F_0 \left(\frac{v_z - p_z}{\sqrt{\frac{p_z}{n}}} \right) - \frac{\gamma_d}{\gamma_n + \gamma_d} \right].$$

З урахуванням цього розрахуємо значення $U_z = f(v_z)$ і зведемо їх у табл. 1-4.

Таблиця 1

Результати розрахунку $U_z = f(v_z)$, якщо $P_z = 0,1$, $\gamma_d = 0,1$

$P_z = 0,1; \gamma_n = 0,05; \gamma_d = 0,1; n = 1000$						
v_z	0,08	0,09	0,10	0,11	0,13	0,15
U_z	1,086	1,034	1,01	1,066	1,11	1,15

Таблиця 2

Результати розрахунку $U_z = f(v_z)$, якщо $P_z = 0,1$, $\gamma_d = 0,5$

$P_z = 0,1; \gamma_n = 0,05; \gamma_d = 0,5; n = 1000$						
v_z	0,08	0,09	0,10	0,11	0,13	0,15
U_z	1,03	1,01	1,0	0,999	1,005	1,008

Таблиця 3

Результати розрахунку $U_z = f(v_z)$, якщо $P_z = 0,15$, $\gamma_d = 0,1$

$P_z = 0,15; \gamma_n = 0,05; \gamma_d = 0,1; n = 1000$								
v_z	0,08	0,09	0,10	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19
U_z	1,31	1,27	1,22	1,17	1,08	1	1,03	1,08

Таблиця 4

Результати розрахунку $U_z = f(v_z)$, якщо $P_z = 0,15$, $\gamma_d = 0,5$

$P_z = 0,15; \gamma_n = 0,05; \gamma_d = 0,5; n = 1000$								
v_z	0,08	0,09	0,10	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19
U_z	1,21	1,09	1,083	1,06	1,03	1,0	1,001	1,007

На підставі отриманих даних на рис. 1 і 2 наведено залежності $U_z = f(v_z)$.

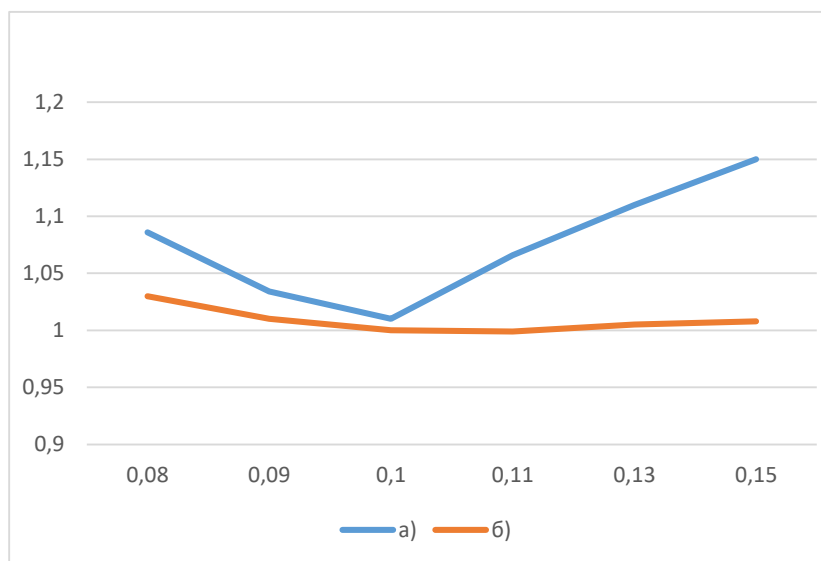


Рис. 1. Оптимізація визначення запасів агрегатів у локомотивному депо:

а - $P_z = 0,1$; $\gamma_n = 0,05$; $\gamma_d = 0,1$; $n = 1000$;

б - $P_z = 0,1$; $\gamma_n = 0,05$; $\gamma_d = 0,5$; $n = 1000$

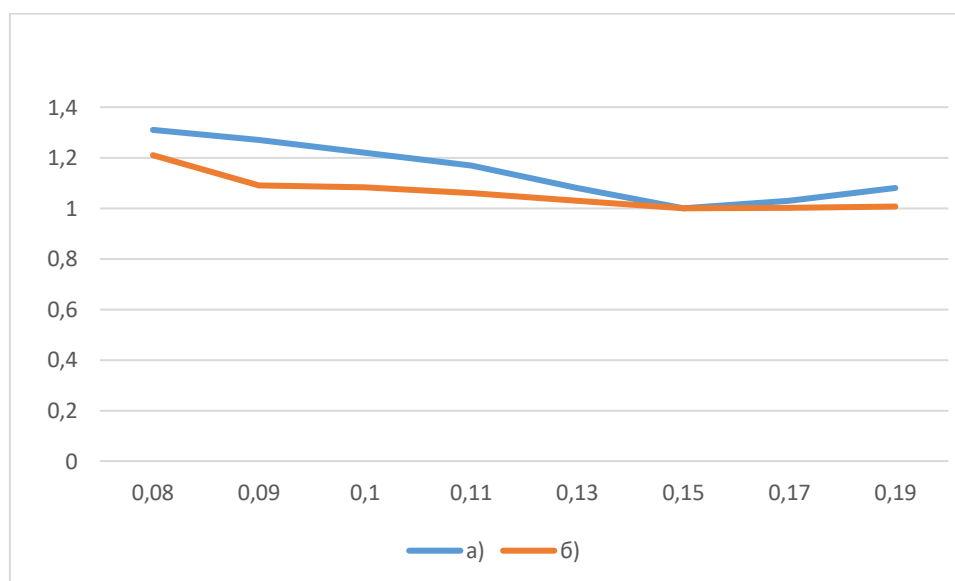


Рис. 2. Оптимізація визначення запасів агрегатів у локомотивному депо:

а - $P_z = 0,15$; $\gamma_n = 0,05$; $\gamma_d = 0,1$; $n = 1000$;

б - $P_z = 0,15$; $\gamma_n = 0,05$; $\gamma_d = 0,5$; $n = 1000$

Оптимальна величина запасів (рис. 1) для випадку а) $z_1 = 1000 \cdot 0,10 = 100$, для випадку б) $z_2 = 1000 \cdot 0,11 = 110$, а для рис. 2 у випадку а) $z_3 = 1000 \cdot 0,15 = 150$, у випадку б) $z_4 = 1000 \cdot 0,17 = 170$.

Висновки. За результатами проведеного дослідження отримано такі результати.

Обґрунтовано особливості формування величин запасів у локомотивному депо.

Визначено складові, що визначають рівень і динаміку зміни запасів: P_z , γ_n , γ_d , v_z .

Розраховано оптимальну величину запасів для ремонтного господарства, що

подано на рис. 1 і 2 залежно від P_z , γ_n , γ_d , v_z .

Рівень $U_{z \min}$ залежить від значення коефіцієнта γ_d і з його збільшенням зміщується вправо по осі абсцис.

Список використаних джерел

1. Проект Закону України про залізничний транспорт України: від 06.09.2019 р. за № 1196-1. URL: w1.c1.rada.gov.ua.
2. Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки: затв. Постановою КМУ 16.12.2000 р. № 1390 із змінами від 26.10.2011 р. № 1106. URL: kmu.gov.ua.
3. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки: затв. Наказом МТЗУ від 14.10.2008 р. № 1259. Київ: ДНДЦ Укрзалізниці, 2009. 299 с.
4. Понтиселли К. Стоимость жизненного цикла железнодорожного подвижного состава: от теории к практике. *Техника железных дорог*. 2009. № 4. 74 с.
5. Тартаковський Е. Д., Уманець М. Г., Аулін Д. О. Визначення життєвого циклу тягового рухомого складу (ТРС). *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. Харків: УкрДАЗТ, 2006. Вип. 72. С. 82-86.
6. Крашенінін О. С., Фалендиш А. П. Оцінка життєвого циклу локомотивів. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків: УкрДАЗТ, 2001. Вип. 46. С. 55-58.
7. Візняк Р. І., Ловська А. О., Рибін А. В. Основи теорії коливань та стійкості рухомого складу : конспект лекцій. Харків: УкрДУЗТ, 2024. Ч. 2. 62 с.
8. Калабухін Ю. Є., Тартаковський Е. Д. Теоретичні положення оновлення тягового рухомого складу з урахуванням життєвого циклу. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків: УкрДАЗТ, 2009. Вип. 111. С. 106-120.
9. Гнеденко Б. В. Курс теорії ймовірностей : підручник. Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2010. 464 с.

Крашенінін Олександр Семенович, доктор технічних наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, Україна. Тел.: 097 991-70-99. E-mail: krashenin@kart.edu.ua. Orcid.org/0000-0001-7462-3372.

Шапатіна Ольга Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, Україна. Тел.: +38(066)8124889. E-mail: shapatina@kart.edu.ua. Orcid.org/0000-0002-9185-6212.

Обозний Олександр Миколайович, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, Україна. Тел.: 050 303-45-59. E-mail: obozny@kart.edu.ua. Orcid.org/0000-0002-0843-6023.

Анацький Олександр Олександрович, старший викладач кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, Україна. Тел.: 095 737-91-66. E-mail: anatsky@kart.edu.ua. Orcid.org/0000-0002-0132-8767.

Бондаренко Костянтин Станіславович, аспірант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, Україна. E-mail: kos.bondarenko.kh@gmail.com. Orcid.org/0009-0001-2284-3557.

Krashenin Olexsandr Semenovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukrainian State University of Railway Transport, Department of Operation and Repair of Rolling Stock, Professor, Kharkiv, Ukraine. Tel.: 097 991-70-99. E-mail: krashenin@kart.edu.ua. Orcid.org/0000-0001-7462-3372.

Shapatina Olga Oleksandrivna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ukrainian State University of Railway Transport, Department of Cargo and Commercial Work Management, Associate Professor of the Department, Kharkiv, Ukraine. Tel.: +38(066)8124889. E-mail: shapatina.uvkr@kart.edu.ua. Orcid.org/ 0000-0002-9185-6212.

Obozny Oleksandr Mykolayovych, Candidate of Technical Sciences, Ukrainian State University of Railway Transport, Department of Operation and Repair of Rolling Stock, Senior Lecturer, Kharkiv, Ukraine. Tel.: 050 303-45-59. Email: obozny@kart.edu.ua. Orcid.org/0000-0002-0843-6023.

Anatskyi Oleksandr Oleksandrovyich, Ukrainian State University of Railway Transport, Department of Operation and Repair of Rolling Stock, Senior Lecturer, Kharkiv, Ukraine. Tel.: 095 737-91-66. E-mail: anatsky@kart.edu.ua. Orcid.org/0000-0002-0132-8767.

Bondarenko Kostiantyn Stanislavovych, Ukrainian State University of Railway Transport, Department of Operation and Repair of Rolling Stock, postgraduate student, Kharkiv, Ukraine. E-mail: kos.bondarenko.kh@gmail.com. Orcid.org/0009-0001-2284-3557.

Статтю прийнято 16.06.2025 р.