

УДК 629.46

О.В. Пономаренко

*(аспірант кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу»,
Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)*

КОРЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УТРИМАННЯ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ПРИ ПОДОВЖЕННІ ТЕРМІНУ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Стаття присвячена питанням коректування технології утримання нетягового рухомого складу при подовженні терміну їх експлуатації за рахунок вибору оптимального варіанта групування деталей при їх одночасній заміні під час виконання ремонту. В умовах подовження експлуатації вагона в понаднормативний термін досягається забезпечення його заданого ресурсу до ремонту за базовою деталлю на основі критерію мінімуму сумарних витрат на проведення замін.

Ключові слова: технологія утримання, вантажний вагон, оптимізація системи ремонту, заміна вузлів, групування деталей, цільова функція.

Вступ. Завдання підвищення ефективності роботи залізничної галузі тісно пов'язані з вагонним господарством. Відповідно до цього, однією з основних вимог, що висуваються до вагонного парку, є надійність та безпечна робота протягом всього терміну служби. Однак тенденція збільшення частки вагонів, які знаходяться в несправному стані чи експлуатуються з подовженим терміном, набула значного темпу. Згідно з даними ПАТ «Українська залізниця» із наявного парку вантажних вагонів робочий парк складає 62%, неробочий – 38%, а загальний знос вантажних вагонів становить 91%. Через обмеженість можливості оновлення вагонів в необхідній кількості та погіршенням технічного стану вагонного парку, яке відбувається значно швидше, ніж оновлення, є потреба прийняття виважених рішень щодо подальшого функціонування галузі на основі, зокрема, коректування технології утримання вантажних вагонів.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Розробці наукових основ з удосконалення системи ремонту рухомого складу приділено багато уваги як вітчизняними, так і закордонними науковцями. За останні роки в роботах Тартаковського Е. Д., Крашенініна О. С., Бубнова В.М., Фоміна О.В., Мямліна С. В. та інших провідних вчених проведені фундаментальні дослідження щодо удосконалення системи утримання рухомого складу [1–10]. Однак, як свідчить практика, при виконанні ремонтних робіт заміна деталей по мірі відмови обладнання, яка пов'язана з подальшим розбиранням, в більшості випадків економічно недоцільна, оскільки веде до тривалих простоїв і у зв'язку з цим і до росту витрат, пов'язаних з ремонтом.

© Пономаренко О. В., 2018

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є коректування технології утримання вагонів при подовженні терміну експлуатації на основі визначення оптимального варіанта групування деталей вагона при їх одночасній заміні. Відповідно до цього поставлені для вирішення такі завдання: визначити динаміку витрат на ремонт; проаналізувати варіанти та за отриманими даними провести формування технологічного процесу ремонту вагонів.

Матеріали та методи дослідження. Вагон – це складна технічна система, яка складається з багатьох деталей, які характеризуються різними значеннями ресурсів

$$B^F = (R_1, R_2, \dots, R_j, \dots, R_F) \subset B, \quad (1)$$

де R_j – значення ресурсу j -го елемента;

F – число деталей вагона, що об'єднуються в процесі коректування технології.

Операції розбирання та збирання деталей обираються з типових норм часу на ремонт транспортного засобу. Оскільки заміна деталей вимагає виконання спочатку розбірних робіт в певній послідовності, а потім складальних, норми часу на ці операції підсумовуються, а самі роботи об'єднуються. Очевидно, що загальні розбірно-складальні роботи при груповій заміні деталей виділяються окремо, нормуються і враховуються при визначенні трудомісткості групових замін для кожної конкретної групи деталей.

Для визначення групової трудомісткості $q_{\bar{i}}$ потрібно використати загальні трудомісткості на індивідуальну заміну кожної деталі q_j та трудомісткості підготовчих розбірно-складальних робіт q_{nj} . Тоді групова трудомісткість $q_{\bar{i}}$ складається з найбільш трудомісткої операції в групі $q_{j_{\max}}$ з додаванням до неї трудомісткостей Δq_j на безпосередню заміну кожної деталі, що входить в i -у групу, звідки маємо

$$\Delta q_j = q_j - q_{nj}; \quad (2)$$

$$q_{\bar{i}} = q_{j_{\max}} + \sum_1^{e_i-1} \Delta q_j. \quad (3)$$

Привласнивши номер кожної вибраної для ремонтів деталі обраного вагона, наноситься шкала ресурсів R_j .

На осі ресурсів відкладаються числові значення ресурсів деталей в порядку їх зростання. Для наочності проставляються номери деталей від 1 до F .

Час, необхідний для заміни зношених деталей, розглядається як простий, протягом якого вагон не працює і не приносить власнику дохід.

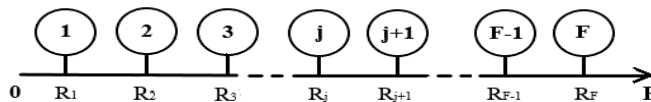


Рис. 1. Шкала ресурсів деталей вагона

Застосовуючи метод послідовного перебору і підсумовування приростів економії по кожній із складових витрат, отримуємо значення цільової функції в явному вигляді:

$$\sum \Delta E = \Delta E_p + \Delta E_m + \Delta E_n + \Delta E_z - \Delta E_n, \quad (4)$$

де ΔE_p – економія від скорочення простою вагона в ремонті, грн;

ΔE_m – економія запасних частин і матеріалів при одночасній заміні деталей, грн;

ΔE_n – зменшення втрат від припрацювання деталей, грн;

ΔE_z – економія заробітної плати слюсарям з ремонту рухомого складу, грн;

ΔE_n – витрати від неповного використання ресурсу деталей, що замінюються, грн.

Критерієм оптимізації при виборі варіантів групування деталей буде максимум економії сумарних витрат, тобто

$$\sum \Delta E \rightarrow (\sum \Delta E)_{\max}. \quad (5)$$

Для визначення витрат $\sum \Delta E$ знаходиться кожна складова цільової функції окремо.

Прирошення економії за рахунок скорочення простою в ремонті

$$\Delta E_p = 1,1 D_{\text{сер}} \left(\sum_1^{e_i} q_j - q^{e_i} \right), \quad (6)$$

де $D_{\text{сер}}$ – середній годинний дохід вагона.

q_j – норма часу на діагностику і розбірно-складальні роботи при заміні j -ї деталі;

q^{e_i} – трудомісткість заміни e одиниць деталей в i -й групі.

Прирошення витрат за рахунок економії ремонтних матеріалів:

$$\Delta E_m = \sum_1^{e_i} (B_j + B_g) - E_g^{e_i}, \quad (7)$$

де B_j, B_g – вартість відповідно деталей і супутніх ремонту матеріалів;

$E_g^{e_i}$ – вартість деталей і витратних матеріалів при односторонній заміні e -штук деталей в i -й групі.

Прирошення економії за рахунок зменшення витрат ресурсу сполучень на припрацювання:

$$\Delta E_z = \frac{K_g \cdot D}{B_g} \left(\sum_1^{e_i} B_j - B_{\max}^{e_i} \right), \quad (8)$$

де K_g – коефіцієнт втрат ресурсу сполучень на припрацювання;

D – дохід, який отримується від роботи вагона за період до його списання;

$B_{\max}^{e_i}$ – найбільша вартість деталі в i -й групі за e штук деталей.

Прирошення економії через зменшення об'єму розбирально-збиральних робіт:

$$\Delta E_n = \delta_c \cdot K_n \left(\sum_1^{e_i} q_j - q^{e_i} \right), \quad (9)$$

де δ_c – середня годинна ставка слюсаря–ремонтника;

K_n – коефіцієнт нарахувань на заробітну плату;

Витрати від неповного використання ресурсу замінюваних деталей:

$$\Delta E_n = \sum_1^{e_i-1} \left[\frac{B_j(R_j - R_k)}{R_j} + \frac{B_j \cdot D}{B_M \cdot R_{заг}} (R_j - R_k) \right], \quad (10)$$

де R_j – ресурс j -ї деталі;

R_k – ресурс групової заміни деталей j -ї групи;

$R_{заг}$ – загальний пробіг вагона до списання;

(e_i-1) – число замінюваних деталей, одна з яких замінюється при повному використанні свого ресурсу.

Згідно з наведеними положеннями розглянемо реалізацію побудови технологічного процесу за табл. 1.

Таблиця 1

Дані для розрахунку оптимального варіанту ремонту деталей вагона

№ п/п	Найменування деталей	Ресурс R_j , тис. км	Вартість S_j , грн	Трудомісткість	
				q_j	q_{nj}
1	Тріангель	390	2500	21,01	4,2
2	Колісна пара	780	32000	16,02	3,2
3	Гальмівна ричажна передача	900	12000	25,34	5,07
4	Комплект центрального ресорного підвішування	1250	8000	10,25	2,05
5	Надресорна балка	2500	43000	3,44	0,69
6	Бічна рама	2500	43000	41,57	8,3

Наведені в табл. 1 дані міжремонтних пробігів по окремим вузлам вагона можна подати у вигляді шкали (рис. 2).

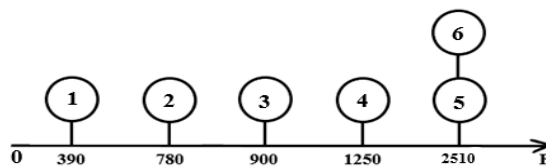


Рис. 2. Шкала ресурсів деталей вагона з початку експлуатації

За розробленим алгоритмом визначені дані для формування технології оптимального групування деталей.

На рис. 3 подані графіки приростів економії складових витрат з оптимальною кількістю деталей для виконання групових замін та шкала оптимальної структури і періодичності групових замін в після нормативний термін експлуатації вагонів (рис. 4). Застосовування при виконанні ремонту методу профілактичних групових

замін зношених деталей дозволяє подовжити ресурс вагона. При цьому досягається економічний ефект експлуатації вагона за рахунок скорочення витрат на запасні частини, заробітну плату слюсарям-ремонтникам, втрату ресурсу за рахунок припрацювання, а також збитки від простою в ремонті.

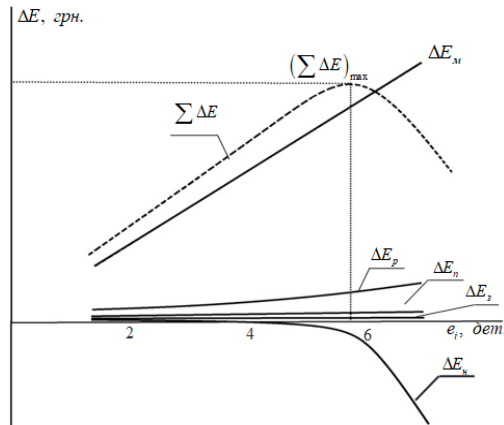


Рис. 3. Оптимальне групування деталей вагона в післянормативний період (при пробігу 2510 тис. км)

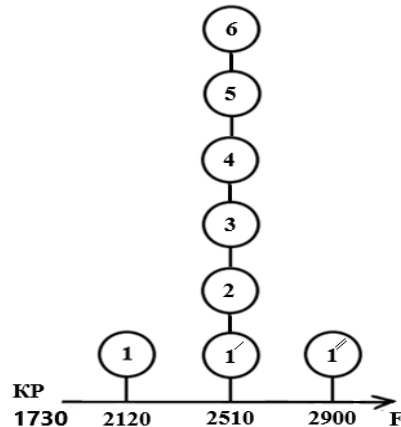


Рис. 4. Оптимальна структура і періодичність профілактичних замін деталей вагона

Висновки. Після проведення процедур по оптимізації технологічного процесу доцільно при перевищенні нормативного терміну експлуатації вагонів виконати групування деталей згідно з рис. 4, що вкладається у вичерпання ресурсу надресорної балки та бічної рами візка моделі 18–100, а подальша експлуатація повинна проводитися з обов'язковим контролем технічного стану іншого обладнання, насамперед, триангеля.

Введення профілактичних замінів, з одного боку, зменшує час на заміну, оскільки вона здійснюється групою елементів (або складальними одиницями), зменшує витрати на припрацювання, бо тільки розбирання-збирання елементів вагона (без їх розукомплектування) знижує термін їх використання до 40 % внаслідок порушення характеру сполучень та взаємного розташування поверхонь, які припрацювались. З іншого боку, одночасна заміна декількох елементів різної довговічності призводить до зростання витрат від неповного використання ресурсів деталей та недоотримання прибутку від експлуатації вагону. Розв'язання даного протиріччя є основою створення оптимальної системи замінів деталей вузлів вагона, яка забезпечить мінімум витрат на ремонт за весь час експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бубнов В. М. Совершенствование технологии ремонта специализированных грузовых вагонов / В. М. Бубнов, И. Ю. Кебал, Н. Б. Манкевич // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2016. – Вип. 1 (61). – С. 62–70.
2. Методы оценки жизненного цикла тягового подвижного состава железных дорог.: [монография] // Э. Д. Тартаковский, С. Г. Грищенко, Ю. Е. Калабухин [и др.]. – Луганск: Изд-

3. Крашенінін О.С. Визначення стратегії технічного обслуговування та ремонту локомотивів в післянормативний період /О. С. Крашенінін, О. В. Пономаренко, С. С. Яковлев// Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту. залізн. трансп., – Х: УкрДУЗТ, 2017. – Вип. 167. – С. 25–33.
4. Сапронова С. Ю. Подовження терміну експлуатації вантажних вагонів/ С. Ю. Сапронова, Д. І. Булич, В. П. Ткаченко// Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля, – С., 2017. – Вип. 3 (233). – С. 179–182.
5. Фомін О. В. Теоретичний базис параметричного синтезу несучих систем вагонів / О. В. Фомін, О. М. Горобченко, Н. С. Кочешкова, В. В. Коваленко// Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2017. – Вип. 4 (70). – С. 117–128.
6. Masek J. Innovative Methods of improving train formation in freight transport/ J. Masek, J. Camaj, E. Nedeliakova// International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering. Vol. 9. – Issue 11. – 2015. P. 1789–1792.
7. Myamlin S. V. Design review of gondola car / S. V. Myamlin, I. U. Kebal, S. R. Kolesnykov// Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2014. – Вип. 6 (54). – С. 136–145.
8. Placzek M. Statistic analysis of data from renovations of freight wagons/ M. Placzek// Silesian University of Technology, Gliwice, Poland, 2016. – Issue 6. – P.77–80.
9. Evans S. Innovative Monitoring and Predictive maintenance solutions on lightweight wagon [Electronic resources]/ S. Evans, E. Matsika, M. Wischner, D. Regazzi. – Available at: http://newrail.org/innowag/wp-content/uploads/2017/12/INNOWAG_D1.1_Benchmark-market-drivers.pdf.
10. Zakharov N. S. Method of planning the needs in spare parts when operating special vehicles / N. S. Zakharov, R. A. Ziganshin, V. I. Nekrasov, A. V. Ziganshina, V. I. Vasilyev // International Journal of Pure and Applied Mathematics. Vol. 118. – 2018. P. 3735-3738.

REFERENCES

1. Bubnov V. M., Kebal I. Yu., Mankevich N. B. (2016,). Sovershenstvovaniye tekhnologii remonta spetsializirovannykh gruzovykh hvagonov [Repair technology improvement of specialized freight cars]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], issue 1 (61), pp. 62–70.
2. Tartakovskiy E. D., Grishchenko S. G., Kalabukhin Y. Ye. (2011). *Metody otsenki zhiznennogo tsikla tyagovogo podvizhnogo sostava zheleznykh dorog* [Methods for assessing the life cycle of railway rolling stock]. Lugansk, Noulidzh Publ., 174 p.
3. Krashenin O. S., Ponomarenko O. V., Yakovlev S. S. (2017). Vyznachennya stratehiyi tekhnichnoho obsluhovuvannya ta remontu lokomotyviv v pislyanormatyvnyi period [Determination of the maintenance and repair strategy for locomotives after the normative period]. *Zbirnyk naukovykh prats' ukrayins'koho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Ukrainian National University of Railway Transport], issue 167, pp.25–33.
4. Sapronova S. Yu., Bulich D. I., Tkachenko V. P. (2017). rodovzhennya terminu ekspluatatsiyi vantazhnykh vahoniv [Continued service life of freight wagons]. *Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsionalnoho universytetu imeni V. Dalya* [Bulletin of the East Ukrainian Volodymyr Dahl National University], issue 3 (233), pp. 179–182.
5. Fomin O. V., Horobchenko O. M., Kocheshkova N. S., Kovalenko V. V. (2017). Teoretychnyy bazys parametrychnoho syntezu nesuchykh system vahoniv [Theoretical basis of parametric synthesis for carrying systems of cars]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], issue 4 (70), pp. 117–128.
6. Masek J., Camaj J., Nedeliakova E. (2015). *Innovative methods of improving train formation in freight transport*. International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, issue 9 (11), pp. 1789–1792.
7. Myamlin S. V., Kebal I. U., Kolesnykov S. R. (2014). Design review of gondola car. *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, issue 6 (54), pp. 136–145.
8. Placzek M. (2016). *Statistic analysis of data from renovations of freight wagons*. Silesian University of Technology. Gliwice, issue 6, pp. 77–80.
9. Evans S., Matsika E., Wischner M., Regazzi D. *Innovative Monitoring and Predictive maintenance solutions on lightweight wagon*. Available at: http://newrail.org/innowag/wp-content/uploads/2017/12/INNOWAG_D1.1_Benchmark-market-drivers.pdf (Accessed 08 November 2018).

10. Zakharov N. S., Ziganshin R. A., Nekrasov V. I., Ziganshina A. V., Vasilyev V. I. (2018). *Method of planning the needs in spare parts when operating special vehicles*. International Journal of Pure and Applied Mathematics, issue 118, pp. 3735-3738.

Е.В. Пономаренко
(аспирант кафедри «Експлуатація і ремонт подвижного складу»,
Український державний університет залізничного транспорту, г.
Харків)

КОРРЕКТИРОВКА ТЕХНОЛОГИИ СОДЕРЖАНИЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ПРИ ПРОДЛЕНИИ СРОКА ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Статья посвящена вопросам корректировки технологии содержания нетягового подвижного состава при продлении срока их эксплуатации за счет выбора оптимального варианта группирования деталей при их одновременной замене во время выполнения ремонта. В условиях продления эксплуатации вагона в посленормативный срок достигается обеспечение его заданного ресурса до ремонта по базовой детали на основе критерия минимума суммарных затрат на проведение замен.

Ключевые слова: технология содержания, грузовой вагон, оптимизация системы ремонта, замена узлов, группировка деталей, целевая функция.

Olena Ponomarenko
(Postgraduate of Department «Exploitation and repair of rolling stock», Ukrainian
State University of Railway Transport)

ADJUSTING TECHNOLOGY FOR MAINTANANCE OF FREIGHT CARS IN THE EXTENSION OF THEIR EXPLOITATION

Current non-traction rolling stock is a complex system, the resource of which limits several basic elements (nodes). Normative documentation regulates the time and expenses for the diagnosing of rolling stock equipment, the time for replacement during preventive repair or failure, as well as cost of a separate node, which allows to estimate the costs of operation of the wagon for the entire period of its exploitation. Together with this, for complex substitutable nodes to determine the costs that depend on the spin after the next replacement of their worn parts is a difficult task. It is obvious that the time necessary for preventive replacements of similar parts of the resource will be less than the sum of time for an individual (permission) replacement and depends on the design and technological features of the site, details. In this regard, and loss of downtime repairs during preventive replacements will also decrease due to increasing the number of simultaneously replaceable details. The difference in costs for separate and prophylactic group replacements is a criterion for assessing the advisability of grouping replaceable elements. The greater the difference in such an organization of prevention, the higher the cost effectiveness of carrying out prophylactic replacements.

Keywords: maintenance technology, freight car, optimization of the repair system, replacement of nodes, part grouping, objective function.