

УДК 656.075

КРАШЕНІНІН О. С., доктор технічних наук, професор кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу»;

ЯКОВЛЕВ С. С., аспірант кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу»;

ЗАДЕСЕНЕЦЬ В. І., аспірант кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу»
(Український державний університет залізничного транспорту)

Обґрунтування критерію ефективності експлуатації локомотивів

Навіть при існуванні тієї кількості показників, які є і характеризують ефективність і надійність локомотивів, все одно вони не дають повного розуміння ситуації про стан локомотива. Це може призвести до нечіткого уявлення про характер зміни ефективності роботи локомотивів під час експлуатації і навіть помилково вважати достатнім рівень надійності роботи обладнання локомотива. У статті проаналізовано застосування нормативних комплексних показників надійності локомотивів для різних стратегій системи їх утримання, показана необхідність удосконалення оцінки ефективності системи ТО, ПР і доцільність оцінювати ефективність експлуатації локомотивів за критерієм приведеної ефективності.

Ключові слова: показники надійності і ефективності, технічне обслуговування (ТО), поточний ремонт (ПР), критерій приведеної ефективності, тяговий рухомий склад (ТРС).

Постановка проблеми

Традиційна планово-попереджувальна система організації ТО, ПР ТРС потребує суттєвих змін як у зв'язку з надходженням нового ТРС, так і необхідністю підтримки технічного стану ТРС, який продовжує експлуатуватися. До цього додається і проблема зношеності ремонтного фонду, який не справляється зі зростанням кількості і обсягів ремонтів. Як показує практика, система контролю та оцінювання технічного стану як ТРС, який експлуатується, так і ШРС, що буде надходити і надійшов на залізницю, не повною мірою відповідає реальному стану рухомого складу. Крім того, у системі показників надійності не враховується термін експлуатації ТРС і зміна динаміки витрат на проведення ТО, ПР.

Введення критерію комплексного оцінювання ефективності експлуатації ТРС дозволить об'єктивно оцінювати його роботу для прийняття рішення щодо коригування термінів і обсягів ТО, ПР.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Нормативна документація, яка не тільки регламентує показники надійності, орієнтована на стабільні характеристики роботи технічних систем, але і містить такі властивості надійності, як безпека і живучість. Для кількісного оцінювання цих властивостей використовуються, зокрема, такі поняття, як ризик і витрати від виникнення надзвичайних ситуацій.

За кордоном і останнім часом у нашій країні поняття ризику набуло нового сенсу у зв'язку з надвеликими втратами, до яких може призвести ігнорування правил безпеки [1].

Дослідження, що проводяться в нашій країні, направлені на оптимізацію системи ТО, ПР, коригування обсягів і циклічності ремонтів, орієнтуючись на скорочення витрат на ТО, ПР ТРС за рахунок модернізації обладнання ТРС, а також і впровадження нових технологій і обладнання для діагностування системи і агрегатів ТРС [2].

Зміни в системі утримання ТРС, що склалися при оновленні рухомого складу, у свою чергу потребують і нових підходів щодо оцінювання ефективності використання ТРС.

Визначення мети та завдання дослідження

Мета дослідження полягає в обґрунтуванні і визначенні оптимального значення критерію ефективності експлуатації локомотивів.

Викладення основного матеріалу дослідження

Будь-яка технічна система в процесі експлуатації під дією різних факторів знижує якість і ефективність параметрів функціонування.

Проведення своєчасних і необхідних за обсягом і глибиною технічних обслуговувань і поточних ремонтів забезпечує підтримання технічних характеристик і надійність роботи системи за призначенням.

Вибір оптимального терміну і обсягів ТО, ПР ТРС дозволяє використовувати системи в довготривалій термін, поки ефективність їх функціонування не знизиться до деякого рівня, який обмежується нормативним терміном використання. Ще з початку експлуатації залізничного ТРС виникла необхідність мінімізації витрат на його утримання або оптимізації інших критеріїв, які характеризували ефективність його використання. Слід відзначити, що специфіка роботи залізничного тягового і нетягового РС чи не в першу чергу передбачає забезпечення безпеки перевезень. Система ТО, ПР ТРС, що склалася з початку експлуатації, базувалася на принципах планово-попереджувальних робіт і дозволяла попереджувати виникнення небезпечних поїзних ситуацій.

За рахунок вибору відповідних термінів і обсягів планових ТО, ПР забезпечувалося досягнення оптимальних показників ефективності експлуатації ТРС.

Як основні показники оцінювання якості експлуатації ТРС таких, наприклад, як показники надійності, обиралися коефіцієнт готовності, коефіцієнт оперативної готовності, параметри потоку відмов, а також економічні показники: середній оптимальний прибуток від надання послуг на перевезення вантажів і населення та сумарні питомі витрати.

При надходженні в експлуатацію нового наукоємного ТРС планово-попереджувальна система ТО, ПР, яка реалізовувалася в локомотивних депо, вже не повною мірою стала відповідати високим вимогам забезпечення надійності та ефективності використання обладнання ТРС.

З іншого боку, локомотивний парк майже вичерпав свій термін і не в змозі на високому рівні відповідати багатьом вимогам з забезпечення надійності.

Крім того, ТРС являє собою складну і дещо унікальну енергетичну і механічну систему, до окремого обладнання якої необхідно запроваджувати індивідуальну стратегію утримання, яка базується на принципах моніторингу технічного стану ТРС.

Так, деякі комплектуючі або вузли агрегатів ТРС можна відновлювати, використовуючи тактику аварійних ремонтів, бо вихід їх з ладу в цілому не шкодить роботі ТРС.

Разом з тим при планово-попереджувальній системі, як показує практика, експлуатація ТРС супроводжується проведенням позапланових ремонтів (вимушених ремонтів), що не відповідає заводським вимогам з забезпечення надійності.

Поступовий розвиток як залізничної техніки, так і удосконалення системи контролю технічного стану обладнання ТРС сприяв запровадженню в організацію ремонту наукоємних технологій і моніторингу технічного стану систем ТРС.

А освоєння швидкісного руху обумовлює перехід до запровадження системи організації ТО, ПР ТРС за технічним станом.

У цих умовах неможливо забезпечити високу ефективність ТРС без залучення заводів і фірм з виробництва ТРС без переходу на взаємодію локомотивних депо і сервісних підприємств, які проводять моніторинг надійності ТРС і забезпечують локомотивні депо запасними частинами і сучасними технологічними процесами.

З точки зору оцінювання ефективності ремонтних підприємств, це обумовлює необхідність створення автоматизованої систем управління надійністю ТРС і визначення узагальнюючого критерію ефективності.

Як вихідні дані для розрахунку надійності і ефективності роботи обладнання ТРС необхідні знання виду функції розподілу часу роботи обладнання (окремої підсистеми) чи ТРС в цілому до відмови – $F(t)$; середній час роботи системи до відмови – T ; середній час на проведення планових ТО, ПР – $T_{пл}$; середній час на виконання позапланових ремонтів (НР) – T_B ; витрати на проведення ТО, ПР – $C_{на}$; витрати на проведення НР – C_B ; добуток від надання послуг на перевезення вантажів і пасажирів – C_q ; час експлуатації ТРС до наступного ТО, ПР – t_0 .

Коефіцієнт готовності при аварійних замінах обладнання ТРС (проводяться тільки НР) можна визначити за формулою

$$K_{Г_1} = \frac{T}{T + T_B}, \quad (1)$$

де T – середній час роботи до відмови обладнання і систем ТРС;

T_B – час на відновлення обладнання і систем ТРС під час проведення НР.

При стратегії виконання планово-попереджувальних робіт і виникненні НР коефіцієнт готовності, за роботою [3] визначається за формулою

$$K_{Г_2} = \frac{1}{1 + (T_B - T_{пл}) \lambda(t)}, \quad (2)$$

де $\lambda(t)$ – інтенсивність відмови обладнання за час t .

Помножимо чисельник і знаменник на T_i , маючи на увазі співвідношення $\lambda(t) = \frac{1}{t}$, і отримаємо такий вираз:

$$K_{Г_2} = \frac{T}{T + T_B - T_{ПЛ}}. \quad (3)$$

Звідси зрозуміло, що діюча планово-попереджувальна система ТО, ПР ТРС дозволяє досягти більш надійної роботи обладнання, ніж попередня.

Стратегія поєднання планово-попереджувальної системи ТО, ПР ТРС з проведенням вимушених НР і проведення спеціальних діагностичних процедур обладнання ТРС дає можливість покращувати надійність роботи ТРС в цілому. Згідно з цією стратегією коефіцієнт готовності можна оцінити за формулою [3]

$$K_{Г_3} = \frac{p(t)}{1 + (T_B - T_{ПЛ}) f(t)}, \quad (4)$$

де $f(t)$ – щільність розподілу часу роботи систем ТРС до відмови.

Поділимо чисельник і знаменник на $p(t)$ і отримаємо вираз

$$K_{Г_3} = \frac{1}{p^{-1}(t) + (T_B - T_{ПЛ}) \frac{f(t)}{p(t)}} \quad (5)$$

або

$$K_{Г_3} = \frac{1}{p^{-1}(t) + (T_B - T_{ПЛ}) \lambda(t)}. \quad (6)$$

У знаменнику формули (6) значення $p^{-1}(t) \geq 1$, тобто $K_{Г_3} \leq K_{Г_2} \leq K_{Г_1}$.

Критерієм надійності нерезервованих відновлювальних систем, до яких належить ТРС, є функція готовності $K_{Г}(t)$ або імовірність того, що будь-яка система готова до роботи в будь-який момент часу t [4].

Для випадку постійності інтенсивності відмов λ та інтенсивності відновлення систем ТРС μ функцію готовності можна подати як [3, 4]

$$K_{Г}(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t}. \quad (7)$$

Маючи на увазі, що $\lambda = \frac{1}{\bar{T}}$, $\mu = \frac{1}{\bar{T}_B}$, де \bar{T} і \bar{T}_B – відповідно середні значення наробітку на відмову і часу відновлення, перетворимо вираз (7) так:

$$K_{Г}(t) = \frac{\frac{1}{\bar{T}_B}}{\frac{1}{\bar{T}} + \frac{1}{\bar{T}_B}} + \frac{\frac{1}{\bar{T}}}{\frac{1}{\bar{T}} + \frac{1}{\bar{T}_B}} e^{-\left(\frac{1}{\bar{T}} + \frac{1}{\bar{T}_B}\right)t} \quad (8)$$

або

$$K_{Г}(t) = K_{Г} + (1 - K_{Г}) e^{-\frac{t}{T_B \times K_{Г}}}. \quad (9)$$

Цей вираз є зручним для оцінювання динаміки зміни готовності систем ТРС у часі. Але разом з цим повністю не відображує комплексний характер оцінювання ефективності роботи систем ТРС.

Доцільно ввести критерій приведених витрат, який враховує час і динаміку витрат на ТО, ПР ТРС, і оцінювати ефективність роботи систем ТРС у такому вигляді:

$$E = \frac{K_{Г}(t)}{\bar{C}} \rightarrow \max, \quad (10)$$

де \bar{C} – приведені середні витрати на проведення заходів з організації утримання ТРС,

$$\bar{C} = \frac{\sum C_{\phi i}}{\sum C_i}. \quad (11)$$

Тут $\sum C_{\phi i}$ являє собою фактичні сумарні витрати на проведення ТО, ПР ТРС за деякий час експлуатації ТРС, а $\sum C_i$ – сумарні витрати при ідеальних умовах експлуатації ТРС. Як показує практика, відхилення $\sum C_{\phi i}$ від $\sum C_i$ може досягати діапазону 0,8÷2,0 [5].

При цьому час на проведення НР T_B можна оцінити за виразом

$$T_B = \bar{T}_{НВ} + \alpha t, \quad (12)$$

де $\bar{T}_{НВ}$ – середні витрати на проведення відновлення роботи обладнання ТРС;

α – коефіцієнт зростання витрат на проведення відновлення обладнання ТРС за час експлуатації t , $1/2$.

Для обчислення α треба брати до уваги, що з часом напрацювання час проведення відновлення обладнання ТРС зростає. Так, за статистичними даними, це зростання може перевищувати нормативне значення на 30 % [5].

Згідно з викладеним розглянемо на прикладі визначення оцінки ефективності роботи ТРС за таких умов:

$O p T p 10 \times 10^3 \text{ км}$ (при v_q – дільничній швидкості – 42 км/год. $O p T p 240$ год);

$\bar{T}_{HB} = 10$ грн; $\alpha = 0,005$; $0,8 p \bar{C} p 2$; $0,8 p K_r p 0,95$.

Оскільки цільова функція достатньо складна, розрахунки проведені для трьох випадків, що відповідають стратегії проведення ТО, ПР ТРС: $K_{r1} = 0,8$; $K_{r2} = 0,9$; $K_{r3} = 0,95$;

На рисунку наведені графічні залежності $E = f(K_r, t, \bar{C}, \alpha, T_{HB})$.

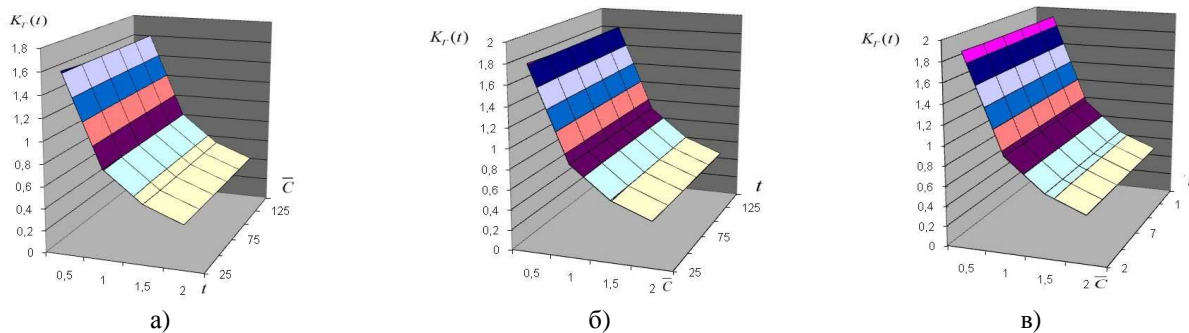


Рис. Динаміка ефективності ТРС при $K_r = 0,8$ (а); $K_r = 0,9$ (б); $K_r = 0,95$ (в)

Висновки з дослідження і перспективи подальшого розвитку в даному напрямі

1. Надійність роботи ТРС напряму залежить від стратегії організації ТО, ПР, що виражається в зростанні коефіцієнта готовності. При запровадженні стратегії ТО, ПР з моніторингом технічного стану і обов'язковим проведенням діагностичних обстежень досягається значне зростання приведеної ефективності використання ТРС і коефіцієнта готовності.

2. За час експлуатації ТРС проведення моніторингу зміни $E = \frac{K_r}{C}$ дозволяє впливати на формування оптимальної системи організації ТО, ПР.

3. Отримані залежності динаміки зміни приведеної ефективності $E = f(K_r, t, \bar{C}, \alpha, T_{HB})$ є основою запровадження адаптивних процедур коригування ТО, ПР ТРС під час експлуатації, у тому числі і при подовженні терміну експлуатації.

Список використаних джерел

1. Толок А. О., Крюковська О. А. Безпека життєдіяльності: навч. посіб. 2011. 215 с.
2. Методы оценки жизненного цикла тягового подвижного состава железных дорог: Монография / Э. Д. Тартаковский, С. Г. Грищенко, Ю. Е. Калабухин, А. П. Фалендыш. Луганск: Ноулидж, 2011. 174 с.

3. Козлов В. А., Ушаков И. А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. Москва: «Советское радио», 1975. 472 с.
4. Половко А. М., Гуров С. В. Основы теории надежности. Практикум. Санкт-Петербург: БХВ – Петербург, 2006. 560 с.
5. Совершенствование системы и методов технического обслуживания и ремонта тепловозов. Труды ВНИИЖТ, 1981. Вып. 637. 120 с.
6. Дацун Ю. Н. Выбор стратегии технического обслуживания и ремонта локомотивов на основе методов нечеткой логики. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2015. № 1. С. 77-80.
7. Industrial and Engineering Chemistry Research Volume 50, Issue 18, 21 September 2011. P. 10630-10642. Multicriteria optimization model for supply process problem under provision and demand uncertainty (Article) Rodriguez, M.A. Email Author, Vecchietti, A.
8. Omega (United Kingdom) Vol. 57. December 01, 2015, P. 217-229. Improving the management of spare parts stocks in the repair shop (article). Dekker, R.

Крашенинин А. С., Яковлев С. С., Задесенець В. И. Обоснование критерия эффективности эксплуатации локомотивов.

Аннотация. Подавляющее число показателей, характеризующих эффективность и надежность

локомотивов, носять в основному одиночний характер. Это может привести к нечеткому представлению о характере изменения эффективности работы локомотивов в процессе эксплуатации и даже ошибочно считать достаточным уровень надежности работы оборудования локомотива. В статье проанализированы применения нормативных комплексных показателей надежности локомотивов для различных стратегий системы их содержания, показана необходимость совершенствования оценки эффективности системы ТО, ТР и целесообразность оценки эффективности эксплуатации локомотивов по критерию приведенной эффективности.

Ключевые слова: показатели надежности и эффективности, техническое обслуживание, текущий ремонт, критерий приведенной эффективности, тяговый подвижной состав.

Krashenin O., Yakovlev S., Zadesenets V. Substantiation of the locomotive operation efficiency criterion.

Abstract. The vast majority of indicators that characterize the efficiency and reliability of locomotives mostly have a single nature. This can lead to a vague idea of the nature of changes in the efficiency of locomotives during operation and even erroneously consider a sufficient level of locomotive equipment reliability. The article analyzes the application of normative complex indicators of locomotive reliability for different maintenance system strategies; shows the need to improve the assessment of the efficiency of maintenance, repair and the feasibility of assessing the locomotive operation efficiency by the criterion efficiency. The traditional planning and warning system for the organization of maintenance and repair of traction rolling stock requires significant changes, both in connection with the arrival of a new traction rolling stock, and the need to maintain the technical condition of the traction rolling stock, which continues to operate. The problem of repair fund wear is added to this, which does not cope with the growing number of repairs and unscheduled repairs. As practice shows, the system of control and assessment of traction rolling stock technical condition, as well as the high-speed rolling stock that will arrive and arrived on the railway, does not fully correspond to the actual condition of the rolling stock. In addition, the system of indicators reliability does not take into account the lifespan of traction rolling stock and changes in the dynamics of costs for maintenance and repair. The introduction of the criterion of a complex efficiency assessment of traction rolling stock operation will allow to objectively evaluate its work in order to make a decision on adjusting the terms and capacity of maintenance and repair.

Key words: reliability and efficiency indicators, maintenance, current repairs, the criterion of reduced efficiency, traction rolling stock

Надійшла 03.09.2020 р.

Крашенінін Олександр Семенович, доктор технічних наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: errs1@mail.ua ORCID 0000-0001-7462-3372.

Яковлев Сергій Сергійович, аспірант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: errs1@mail.ua ORCID 0000-0002-8578-4566.

Задесенець Володимир Іванович, аспірант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: errs1@mail.ua ORCID 0000-0001-6900-6265

Krashenin Alexander Semenovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Operation and Repair of Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: errs1@mail.ua ORCID 0000-0001-7462-3372.

Yakovlev Sergey Sergeevich, post-graduate student of the Department of Operation and Repair of Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: errs1@mail.ua ORCID 0000-0002-8578-4566.

Zadesenets Volodymyr Ivanovich, post-graduate student of the Department of Operation and Repair of Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: errs1@mail.ua ORCID 0000-0001-6900-6265