

УДК 629.4.014.64

*Крашенінін О.С., доктор технічних наук, професор
(професор кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу»
Українського державного університету залізничного транспорту);*

Яковлев С.С.

*(аспірант кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу»
Українського державного університету залізничного транспорту);*

Шапатіна О.О.,

*(асистент кафедри «Управління вантажною і комерційною роботою»
Українського державного університету залізничного транспорту)*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТИМЧАСОВОГО РЕЗЕРВУВАННЯ НА НАДІЙНІСТЬ ОБЛАДНАННЯ ЛОКОМОТИВІВ

У статті розглядаються питання впливу тимчасового резервування роботи окремого обладнання локомотивів на його надійність за умови різних законів розподілу часу роботи, часу відновлення, часу на тимчасове резервування.

***Ключові слова:** закон розподілу випадкових величин, резервування, коефіцієнт готовності, середнє напруцювання, середній час відновлення.*

Вступ. За останні роки в нашій країні поступово набуває розвиток швидкісний залізничний рух. У більшості швидкісний рухомий склад (ШРС), що експлуатується у країні, побудований за кордоном і не завжди режим його експлуатаційних навантажень відповідає рекомендаціям постачальників цієї техніки. Це приводить до зриву руху поїздів, великих простоїв на перегонах, що пояснюється, як загальним станом залізниць, так і інтенсивністю використання цього ШРС.

Ще одним негативним чинником є проблема організації ТО, ПР даного рухомого складу. Сучасна ремонтна інфраструктура локомотивного господарства не була адаптована до проведення ТО, ПР ШРС [10, 11]. Організація великих видів ремонту можлива тільки в окремих локомотивних депо, але і в цьому випадку виконується ремонт не всього обладнання ШРС. Але не тільки для ШРС виникають такі проблеми, тому що діючий тяговий рухомий склад досяг або перевищив нормативний термін використання, ремонтна база оновлюється повільно, технологічні процеси ТО, ПР не коректуються у період життєвого циклу. Все це потребує як практичного так і теоретичного обґрунтування стратегії і тактики ТО, ПР ТРС.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-1-1

Намічені програми реструктуризації та розвитку галузі повинні втілювались у практику роботи локомотивного господарства і не ігноруватись.

З наукової точки зору потрібні обґрунтуванні рішення щодо приведення у відповідність кроків із поліпшення роботи всієї інфраструктури залізниць із науковими досягненнями, що поки залишаються не реалізованими.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблем. В ряді країн робота ШРС стала звичайним явищем. Разом з використанням ШРС в експлуатацію формувалася ідеологія системи його утримання, основою якої є обов'язкове діагностування роботи вузлів і агрегатів рухомого складу як в експлуатації, так при постановці в ремонт, моніторинг технічного стану обладнання, розвиток сервісу, створення нової ремонтної інфраструктури, яка спроможна освоювати ремонт не тільки для приписного парку, але і парку локомотивів іншого депо.

Спектр досліджень в нашій країні включав пошук рішень створення оптимальної системи ТО, ПР локомотивів, впровадження стаціонарного і вбудованого діагностування системи локомотивів, оцінки життєвого циклу ТРС [10, 11].

Разом з цим потребує глибокого розгляду питання впливу випадкової природи виникнення відмов з обґрунтуванням стратегії їх попередження.

Мета і завдання дослідження. Мета полягає в дослідженні впливу тимчасового резервування роботи окремого обладнання локомотивів на його надійність.

Завданням дослідження є проведення розрахунку з урахуванням різних законів розподілу часу роботи до відмови, часу на відновлення, часу на тимчасове резервування.

Матеріали та методи дослідження. Методи забезпечення і підвищення надійності техніки можна сформулювати і науково обґрунтувати, якщо проаналізувати функціональні зв'язки між показниками надійності і розрахункові співвідношення для показників надійності складних систем, яким є тяговий рухомий склад і локомотиви.

Показниками надійності відновлюваних систем є: функція готовності $K_G(t)$, коефіцієнт готовності K_G , напрацювання на відмову T , параметр потоку відмов $\varpi(e)$. Основною формулою визначення коефіцієнта готовності є

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

де T_B – середній час відновлення системи.

Напрацювання на відмову T залежить від показників надійності, таких як інтенсивність відмов елементів і складність системи. Середній час відновлення залежить від інтенсивності відновлення елементів μ_i , числа обслуговуючих бригад k і дисципліни обслуговування (do) . Таким чином, готовність системи є функцією тих же параметрів, що і ймовірність безвідмовної роботи, а також параметрів відновлення μ_i , k , (do) . Тоді $H = f(n, \lambda, t, \mu_i, k, (do))$. Звідси

очевидно, що для підвищення готовності системи необхідно підвищувати її ремонтпридатність (збільшувати μ_i) і вибирати раціональну дисципліну обслуговування (число ремонтних органів, пріоритетність обслуговування). Сучасні технічні системи настільки складні, а вимоги їх надійності настільки високі, що перелічені методи часто недостатні для задоволення вимог на показники надійності. Доводиться вдаватися до крайніх заходів - вводити надмірність в структуру системи. Тоді надійність системи буде залежати від кратності резервування m , виду резервування ($вр$), способу реалізації ($ср$). Тоді функція надійності матиме вигляд:

$$H = f(n, \lambda_i, t, \mu_i, k, (\partial o), m, (вр), (ср)) \quad (2)$$

З метою підтримання високої надійності техніки в процесі її експлуатації проводяться такі заходи, як технічне обслуговування, ремонт, модернізація, продовження ресурсу. Ці заходи назвемо умовами експлуатації ($ус$). Тоді функція надійності має вигляд:

$$H = f(n, \lambda_i, t, \mu_i, k(\partial o), m, (вр), (ср), (ус)) \quad (3)$$

Розглянемо, зокрема, вплив резервування на надійність роботи систем локомотивів.

Тимчасове резервування (тимчасова надмірність) є важливим засобом підвищення надійності технічних. Система має тимчасовий резерв, якщо для усунення відмови вона має певний запас часу. Тимчасової резерв може бути як постійною, так і випадковою величиною [2, 3, 5, 6, 7]. Якщо після будь-якого відмови системи тимчасової резерв має один і той же запас часу, то резерв є поповнюваним. Якщо в результаті відмови система продовжує "витрачати" резервний час, що залишився після попередньої відмови, то резерв є не поповнюваним. Залежно від цього розрізняють системи з поповнюваним або не поповнюваним резервом часу [5, 6]. Припустимо, що система має поповнюваним резервом часу. Тоді стаціонарні показники надійності, такі як напрацювання на відмову, середній час відновлення і коефіцієнт готовності, визначаються наступними співвідношеннями:

$$T_c = \frac{T + \int_0^{\infty} \bar{G}(t) \bar{H}(t) dt}{\int_0^{\infty} \bar{G}(t) h(t) dt}, \quad T_{BC} = \frac{T + \int_0^{\infty} \bar{G}(t) H(t) dt}{\int_0^{\infty} \bar{G}(t) h(t) dt}, \quad T_{BC} = \frac{T + \int_0^{\infty} \bar{G}(t) \bar{H}(t) dt}{T + T_B}, \quad (4)$$

де T – напрацювання на відмову системи при відсутності тимчасового резерву;

T_B – середній час відновлення системи при відсутності тимчасового резерву;

$G(t)$ – функція розподілу часу відновлення системи, $\bar{G}(t) = 1 - G(t)$;

$H(t)$ – функція розподілу резерву часу, $\bar{H}(t) = 1 - H(t)$.

Зокрема, при постійному резерві часу, рівному $t_{рез}$, мають місце формули:

$$T_C = \frac{T + T_B - \Psi(t_{рез.})}{\bar{G}(t_{рез.})}, \quad T_{BC} = \frac{\Psi(t_{рез.})}{\bar{G}(t_{рез.})}, \quad K_r = \frac{T + T_B - \Psi(t_{рез.})}{T + T_B}, \quad (5)$$

$$\Psi(t) = \int_0^{\infty} \bar{G}(t+x) dx$$

Показники надійності системи залежать від закону розподілу часу відновлення системи і величини тимчасового резерву і не залежать від закону розподілу часу безвідмовної роботи.

Функція готовності системи з поповнюваним резервом часу визначається виразом:

$$K_r(t) = \bar{F}(t) + (\bar{F} \cdot g + \bar{G}\bar{H}) \cdot \omega(t), \quad (6)$$

де $\bar{F}(t)$ – функція розподілу часу безвідмовної роботи системи, $\bar{F}(t) = 1 - F(t)$;

$g(t)$ – щільність розподілу часу відновлення системи;

$\omega(t)$ – параметр потоку відмов нерезервованої системи:

$$\omega(t) = \sum_{k=0}^{\infty} f^{*(k+1)} \cdot g^{*(k)}(t);$$

* – позначення згортання функцій:

$$f \cdot g(t) = \int_0^t f(t-x) g(x) dx;$$

$f^{*(k+1)}(t)$ – $(k+1)$ - коротке згортання функції $f(x)$;

$g^{*(k)}(t)$ – k - коротке згортання функції $g(x)$;

Імовірність безвідмовної роботи системи з поповнюваним резервом часу є рішення наступного інтегрального управління:

$$\Gamma(\alpha, \beta), R(\lambda), Exp(\lambda), TN(m_0, \sigma_0), W(\alpha, \beta), M + \sigma \approx const \quad (7)$$

Зауважимо, що тимчасові показники надійності залежать від закону розподілу часу безвідмовної роботи.

Інтегруючи (7), отримаємо вираз для середнього часу безвідмовної роботи системи:

$$T_{1c} = \frac{\int_0^{\infty} (\bar{F}(t) + f \cdot (\overline{GH})(t) dt) T + \int_0^{\infty} \bar{G}(t) \bar{H}(t) dt}{1 - \int_0^{\infty} (g \bar{H})(t) dt} = \frac{0}{\int_0^{\infty} \bar{G}(t) h(t) dt}$$

З формули (5) випливає, що середній час безвідмовної роботи дорівнює напрацюванню на відмову: $T_{1c} = T_c$.

Зведемо в табл. 1 розрахунки по визначенню часу до відмови, часу на відновлення, закону розподілу часу на відновлення, функцію тимчасового резервування, функцію щільності розподілу відновлення для деяких законів розподілу випадкових величин.

В таблиці 1

$\Phi_0(t)$ – функція Лаплас;

$\Gamma(t)$ – гама-функція;

$I(\alpha, t)$ – неповна гама-функція.

Таблиця 1. Параметри надійності

1	Закон розподілу		4	5	6
	2	3			
1	Час до відмови	M, σ	<p>Гама, $\Gamma(\alpha, \beta)$</p> $\alpha = 16, \beta = 12,5$ $M = \alpha\beta = 16 \cdot 12,5 = 200$ $\sigma = \sqrt{\alpha \cdot \beta} = \sqrt{16 \cdot 12,5} = 50$	<p>Релея $R(\lambda)$</p> $M = \sqrt{\frac{\pi}{4\lambda}} = \sqrt{\frac{3,14}{4 \cdot 0,007854}} = 170$ $\sigma = \sqrt{\frac{4-\pi}{4\lambda}} = \sqrt{\frac{4-3,14}{4 \cdot 0,007854}} = 89$ $\lambda = 0,00002714r^{-1}$	<p>Експоненціальне $Exp(\lambda)$</p> $\lambda = 0,008$ $m = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,008} = 125$ $\sigma = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,008} = 125$
2	Час відновлення	M_B, σ_B	<p>Гама, $\Gamma(\alpha, \beta)$</p> $M_B = \alpha \cdot \beta_1$ $M_B = 0,5 \cdot 20 = 10$ $\sigma_B = \sqrt{\alpha \cdot \beta_1} = \sqrt{0,5 \cdot 20} = 14,14$ $t_B = M_B + \sigma_B = 10 + 14,14 = 24,14$	<p>Релея $R(\lambda)$</p> $M_B = \sqrt{\frac{\pi}{4\lambda_1}} = \sqrt{\frac{3,14}{4 \cdot 0,007854}} = 10r$ $\sigma_B = \sqrt{\frac{4-\pi}{4\lambda_1}} = \sqrt{\frac{4-3,14}{4 \cdot 0,007854}} = 5,2r$ $t_B = m_B + \sigma_B = 10 + 5,2 = 15,2r$ $\lambda_1 = 0,007854r^{-1}$	<p>Експоненціальне $Exp(\lambda)$</p> $\lambda_1 = 0,133$ $m_B = \frac{1}{0,133} = 7,5$ $\sigma_B = \frac{1}{0,133} = 7,5$ $t_B = 7,5 + 7,5 = 15$
3	Закон розподілу часу на відновлення	$\bar{G} = 1 - G$	<p>Гама, $\Gamma(\alpha, \beta)$</p> $G_1 = 1 - I\left(\alpha, \frac{t}{\beta}\right)$ $G_1 = \bar{G}$ $\bar{G} = 1 - I\left(0,5; \frac{24,14}{20}\right) = 1 - I(0,5; 1,2) = 1 - 0,215 = 0,785$	<p>Релея $R(\lambda)$</p> $G_1 = \bar{G} = 1 - e^{-\lambda t_B} = 1 - 2,71 \cdot 10^{-0,007854 \cdot (15,2)^2} = 0,835$	<p>Експоненціальне $Exp(\lambda)$</p> $G = e^{-\lambda t} = e^{-0,133 \cdot 15} = 0,136$ $\bar{G} = 1 - G = 0,864$
4	Функція резервування	$\psi(t) = \int_0^t \bar{G}(t+x)$	<p>Гама, $\Gamma(\alpha, \beta)$</p> $\psi(t) = \alpha\beta \left[1 - I\left(\alpha + 1; \frac{t}{\beta}\right) \right] - I\left(1 - I\left(\alpha; \frac{t}{\beta}\right)\right); t = 5$ $\psi(t) = 0,5 \cdot 20 \left[1 - I\left(0,5 + 1; \frac{5}{20}\right) \right]$ $= 5 \left[1 - I\left(0,5; \frac{5}{20}\right) \right] = 0,5 \cdot 20 \left(1 - I(1,5; 0,25) \right) =$ $5 \left(1 - I(0,5; 0,25) \right) = 10 \left(1 - 0,814 \right) = 5 \left(1 - 0,814 \right) = 1,1$	<p>Релея $R(\lambda)$</p> $\psi(t) = \sqrt{\frac{\pi}{\lambda}} \left(0,5 - \Phi_0\left(\sqrt{2\lambda} \cdot t\right) \right) = \sqrt{\frac{3,14}{0,007854}}$ $\left(0,5 - \Phi_0\left(\sqrt{2 \cdot 0,007854} \cdot 5\right) \right) = 19,99 \left(0,5 - \Phi_0(0,6266) \right) =$ $19,99 \left(0,5 - 0,2348 \right) = 5,31$	<p>Експоненціальне $Exp(\lambda)$</p> $\frac{1}{\lambda_1} e^{-\lambda_1 t}, t = 5$ $\frac{1}{0,133} e^{-0,133 \cdot 5} = 3,87$
5	Прави функції розподілу відновлення	$g(t)$	<p>Гама, $\Gamma(\alpha, \beta)$</p> $g = \frac{t^{\alpha-1} e^{-t/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}; \Gamma = \Gamma(\alpha = 0,5) = \frac{0,8862}{0,5} = \frac{0,8862}{0,5} = 1,77$ $g = \frac{24,14^{0,5-1} \cdot e^{-1,2}}{20^{0,5} \cdot \Gamma(0,5)} = \frac{24,14^{-0,5} \cdot e^{-1,2}}{20^{0,5} \cdot 1,77} = \frac{4,91 \cdot 0,33}{4,47 \cdot 1,77} = 0,008$	<p>Релея $R(\lambda)$</p> $g = 2\lambda t e^{-\lambda t^2} = 2 \cdot 0,007854 \cdot 15,2^2 = 0,039$	<p>Експоненціальне $Exp(\lambda)$</p> $g = \lambda e^{-\lambda t} = 0,133 e^{-0,133 \cdot 15} = 0,018$

ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

Закон розподілу		Усічене нормальне $TN(m_0, \sigma_0)$	Вейбулла $W(\alpha, \beta)$
Параметри	2	7	8
1	Час до відмови	$m_0 = 150, \sigma_0 = 50$ $m = m_0 + k\sigma_0 = 150 + 50 * 0,000016 = 150..$ $\sigma = \sigma_0 \sqrt{1 + k \frac{m_0}{\sigma_0} - k^2} \approx 50$ $k = \frac{c}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{m_0^2}{2\sigma_0^2}} = \frac{1,007}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{150^2}{2 \cdot 50^2}} = 1,00 \cdot 0,000016$ $c = \frac{1}{0,5 + \Phi_0\left(\frac{m_0}{\sigma_0}\right)} = \frac{1}{0,5 + \Phi_0\left(\frac{150}{50}\right)} = \frac{1}{0,5 + 0,49865} = 1,007$	$m = \rho T \left(1 + \frac{1}{\alpha}\right), \beta = 230, \alpha = 2$ $\sigma = \beta \sqrt{T \left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - T^2 \left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)}$ $m = 230 \left(1 + \frac{1}{2}\right) = 230 \cdot 0,886 = 203,8$ $\sigma = 230 \sqrt{T \left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - T^2 \left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)} = 230 \cdot 0,463 = 106,5$
2	Час відновлення	$m_B = 10 + 0,039 * 5 = 10,19$ $\sigma_B = 5 \sqrt{1 + 0,039 \frac{10}{5}} = 5,19$ $c = \frac{1}{0,5 + \Phi_0\left(\frac{10}{5}\right)} = \frac{1}{0,5 + \Phi_0(2)} = \frac{1}{0,5 + 0,97725} = 0,677$ $k = \frac{0,677}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{10^2}{2 \cdot 5^2}} = 0,677 \cdot 0,05369 = 0,039$ $m_0 = 10, \sigma_0 = 5$ $t_B = 10,19 + 5,19 = 15,4$	$\beta_1 = 10, \alpha_1 = 1,5$ $m_B = \beta_1 T \left(1 + \frac{1}{\alpha_1}\right) = 10 \cdot 0,903 = 9$ $\sigma_B = 10 \cdot 0,612 = 6,12$ $t_B = 9 + 6,12 = 15,12$
3	Закон розподілу часу на відновлення	$\bar{G}(t) = 1 - G$ $P(t) = \frac{0,5 - \Phi_0\left(\frac{t - m_0}{\sigma_0}\right)}{0,5 + \Phi_0\left(\frac{m_0}{\sigma_0}\right)} = \frac{0,5 - \Phi_0\left(\frac{15,4 - 10}{5}\right)}{0,5 + \Phi_0\left(\frac{10}{5}\right)} = \frac{0,5 - (-0,8599)}{0,5 + 0,97725} = 0,2436$ $\bar{G}(t) = 1 - 0,2436 = 0,756$	$P = e^{\left(\frac{t}{\beta_1}\right)^{\alpha_1}} = e^{\left(\frac{15,12}{9}\right)^{1,5}} = 0,15$ $\bar{G} = 1 - e^{\left(\frac{t}{\beta_1}\right)^{\alpha_1}} = 1 - 0,157 = 0,843$ $\psi(t) = \frac{\beta_1 T}{\alpha_1} \left(\frac{t}{\beta_1}\right)^{\alpha_1 - 1} \left(1 - \left(\frac{t}{\beta_1}\right)^{\alpha_1}\right)^{\beta_1 - 1}$ $\frac{T(1,67)}{0,67} = \frac{0,9033}{0,67} = 1,348$
4	Час на відновлення	$\psi(t) = \int_0^t \bar{G}(t+x) dx$ $\sigma_0^2 g(t) - (t - m_0) \bar{G}(t) = 5^2 \cdot 0,03 - (5,1 - 10) \cdot 0,756 = 0,7538 - (-3,78) = 4,534$	$I = (0,67; 0,354) = 0,423$ $\psi(t) = 5,19$
5	Планг функції розподілу відновлення	$g(t) = \frac{e^{-\frac{(t-m_0)^2}{2\sigma_0^2}}}{e^{-\frac{m_0^2}{2\sigma_0^2}}} = \frac{e^{-\frac{(15,4-10)^2}{2 \cdot 5^2}}}{e^{-\frac{10^2}{2 \cdot 5^2}}} = \frac{e^{-0,8832}}{e^{-0,8832}} = 12,53 \cdot 1,47725 = 0,03$	$g = \frac{\beta_1}{\alpha_1} \frac{\left(\frac{t}{\beta_1}\right)^{\alpha_1 - 1}}{1 - \left(\frac{t}{\beta_1}\right)^{\alpha_1}} = \frac{1,5(15,12)^{1,5}}{1 - \left(\frac{15,12}{9}\right)^{1,5}} = \frac{1,5 \cdot 3,88 \cdot 0,1558}{10^{1,5}} = 51,62$

На відміну від інших функцій, що наведені, насамперед, в [12], неповна гама-функція не наводиться у довідковій літературі, тому вона була розрахована з виразу [9]

$$I(\alpha, t) = (\alpha - 1)! e^{-t} \sum_{K=0}^{\alpha-1} \frac{t^K}{K!}$$

Нехай час до відмови підпорядковується гама-розподілу, середнє напрацювання на відмову складатиме $m = 200$ год., а час на відновлення розподілу Релея з параметрами $m_B = 10$ год., $\sigma_B = 5,2$ год., $t_B = 10 + 5,2 = 15,2$ год., з часом тимчасового резервування $t_{рез.} = 5$ год. напрацювання на відмову з урахуванням розподілів (таблиця 1, 4 стовпець) складе:

$$T_C = \frac{200 + 10 - 5,31}{0,835} = 245 \text{ год.},$$

$$\text{Середній час на відновлення } T_{BC} = \frac{5,31}{0,835} = 6,35 \text{ год.},$$

$$\text{Коефіцієнт готовності } K_G = \frac{200 + 10 - 5,31}{200 + 10} = 0,9747.$$

В таблиці 2 наведені ці розрахунки у порівнянні з даними роботи системи, що не має тимчасового резервування.

Таблиця 2. Значення параметрів T_C, T_{BC}, K_G при Гама розподілі напрацювання на відмову і розподілі часу на відновлення по закону Релея

Наявність тимчасового резервування	$T_C, \text{ч}$	$T_{BC}, \text{ч}$	K_G
Є	245	6,35	0,9747
Немає	200	10	0,9523

Як видно з наведених розрахунків, за рахунок тимчасового резервування показники T_C, T_{BC}, K_G значно кращі, ніж при відсутності тимчасового резервування.

Інші розрахунки T_C, T_{BC}, K_G для різних законів розподілу на відмову і часу відновлення наведені в таблиці 3.

Таблиця 3. Розрахунки T_C, T_{BC}, K_Γ для різних законів розподілу на відмову і часу відновлення

Закон розподілу напрацювання на відмову Закон відновлення		Гама, $\Gamma(\alpha, \beta)$		Релея, $R(\lambda)$		Експоненціальне, $Exp(\lambda)$		Усічене нормальне, $TN(m_0, \sigma_0)$		Вейбула, $W(\alpha, \beta)$	
		Наявність тимчасового резервування									
		Є	Ні	Є	Ні	Є	Ні	Є	Ні	Є	Ні
Гама, $\Gamma(\alpha_1, \beta_1)$	T_C	266	200	227,8	170	170,6	125	202,4	150	270,9	203,8
	T_{BC}	1,4	10	1,4	10	1,4	10	1,4	10	1,4	10
	K_Γ	0,995	0,952	0,994	0,952	0,991	0,952	0,993	0,952	0,995	0,953
Релея, $R(\lambda_1)$	T_C	245	200	209,2	170	155,3	125	185,3	150	249,7	203,8
	T_{BC}	6,35	10	6,35	10	6,35	10	6,35	10	6,35	10
	K_Γ	0,975	0,952	0,97	0,952	0,96	0,952	0,967	0,952	0,978	0,953
Експоненціальне, $Exp(\lambda_1)$	T_C	235,7	200	200,9	170	148,9	125	177,8	150	240,1	203,8
	T_{BC}	4,48	7,5	4,48	7,5	4,48	7,5	4,48	7,5	4,48	7,5
	K_Γ	0,98	0,96	0,975	0,964	0,97	0,964	0,975	0,964	0,982	0,965
Усічене нормальне, $TN(m_0^B, \sigma_0^B)$	T_C	272,0	200	232,4	170	172,8	125	205,9	150	277	203,8
	T_{BC}	5,99	10,2	5,99	10,2	5,99	10,2	5,99	10,2	5,99	10,2
	K_Γ	0,978	0,95	0,975	0,95	0,966	0,95	0,972	0,95	0,979	0,952
Вейбула, $W(\alpha_1, \beta_1)$	T_C	241,8	200	206,2	170	152,8	125	182,5	150	246,3	203,8
	T_{BC}	6,2	9	6,2	9	6,2	9	6,2	9	6,2	9
	K_Γ	0,975	0,957	0,971	0,957	0,961	0,957	0,967	0,957	0,976	0,958

Значення напрацювання на відмову і дисперсії цих напрацювань для різних законів розподілу були підбрані таким чином, щоб величина $M + \sigma \approx const$

Звідки видно, що саме через це значення середнього напрацювання на відмову і коефіцієнти готовності для різних законів розподілу напрацювання на відмову суттєво відрізняються.

На рис. 1 приведені значення напрацювання на відмову для різних законів відновлення при тимчасовому резервуванні роботи системи.

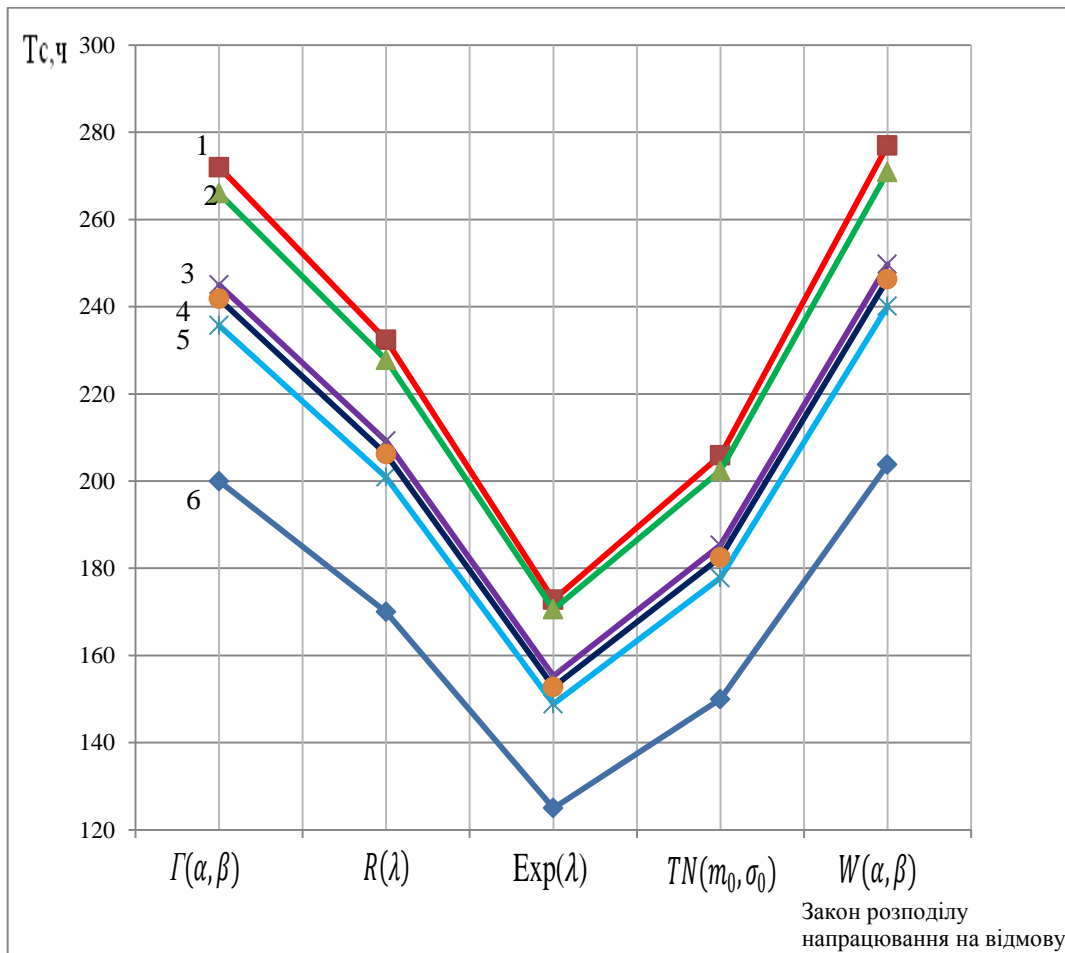


Рис. 1. Змінення середнього часу напрацювання на відмову при різних законах розподілу часу на відновлення при тимчасовому резервуванні

Умовні позначення:

- 1 – функція усіченого нормального розподілу, часу на відновлення, $TN(m_0, \sigma_0)$;
- 2 – функція розподілу часу на відновлення, $\Gamma(\alpha, \beta)$;
- 3 – функція розподілу часу на відновлення Релея, $R(\lambda)$;
- 4 – функція експоненціального розподілу часу на відновлення, $\text{Exp}(\lambda)$;
- 5 – функція розподілу часу на відновлення Вейбула, $W(\alpha, \beta)$;
- 6 – значення середнього часу напрацювання на відмову без тимчасового резервування.

Зміна значень коефіцієнту готовності K_r при різних законах напрацювання на відмову і часу на відновлення при тимчасовому резервуванні приведені на рис. 2.

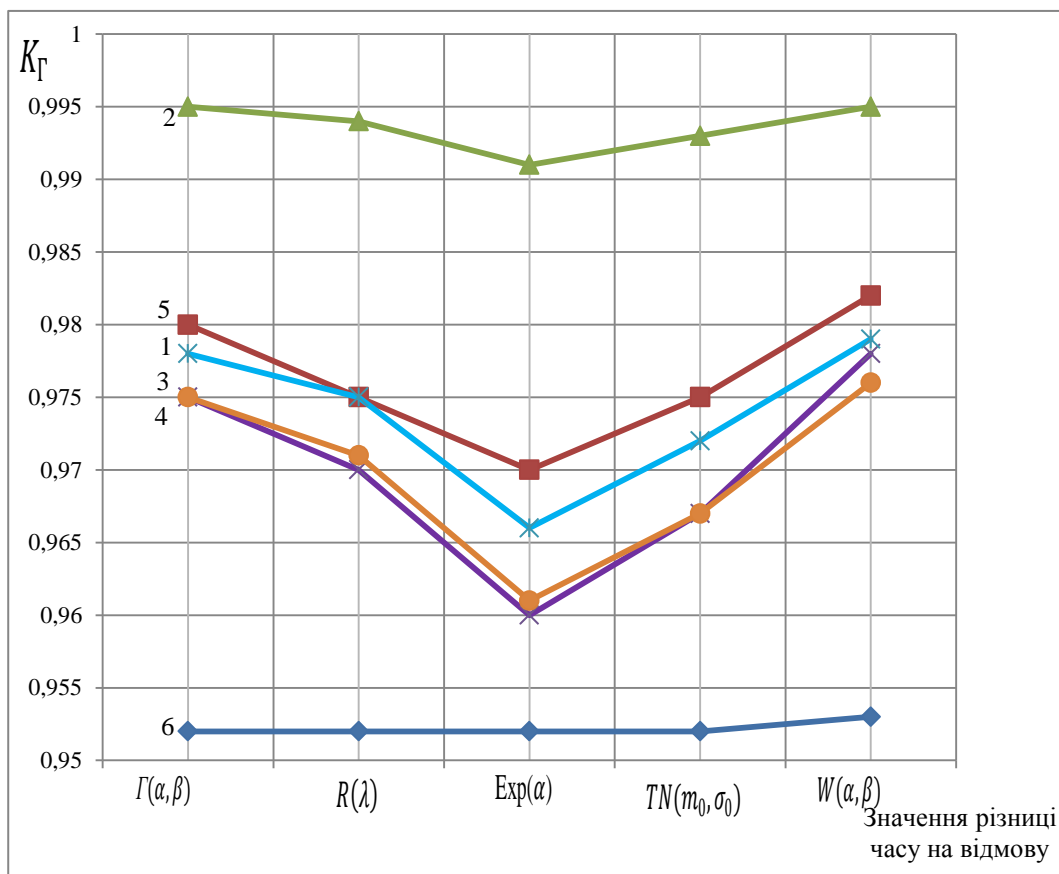


Рис. 2. Зміна K_G при різних законах розподілу часу на відновлення при тимчасовому резервуванні

Зміна часу на відновлення при різних законах розподілу напрацювання на відмову при тимчасовому резервуванні приведені на рис. 3.

Як видно з рис. 1, середній час напрацювання на відмову суттєво залежить від закону розподілу часу на відновлення і закону розподілу напрацювання на відмову. Причому найбільше значення середнього часу напрацювання на відмову досягається при усіченому нормальному розподілі часу на відновлення, а найменше – при експоненційному. Але, як видно з рис. 2, коефіцієнт готовності має найбільше значення при гама-розподілі часу на відновлення, а найменше при розподілі Релея. За величиною T_C і K_G кращий варіант досягається при гама-розподілі часу на відновлення.

Час на відновлення T_{BC} досягає найменшої величини також при гама-розподілі часу на відновлення.

В усіх випадках розподілу часу на відновлення і часу напрацювання на відмову при тимчасовому резервуванні поліпшуються показники T_C, T_{BC}, K_G .

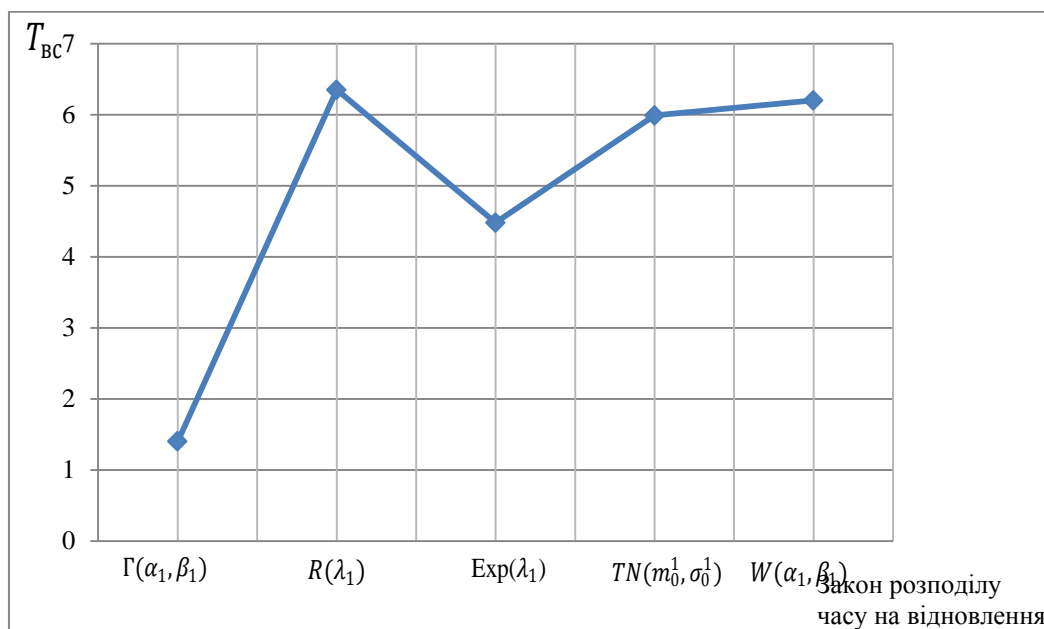


Рис. 3. Зміна часу на відновлення при різних значеннях розподілу часу на відновлення при тимчасовому резервуванні для різних законів розподілу напрацювання на відмову

Висновки

1. Тимчасове резервування роботи систем локомотива суттєво впливає на час напрацювання на відмови T_C , час відновлення T_{BC} і коефіцієнт готовності K_G і значно поліпшує ці показники на відміну від показників системи без тимчасового резервування.

2. Доцільно організувати процес відновлення таким чином, щоб розподіли часу на відновлення були близьким до гама-розподілу. При інших розподілах часу на відновлення середній час на відновлення суттєво більший, хоча і не перевищує час на відновлення без тимчасового резервування. Таким чином, це дає можливість скоротити час простою під обслуговування чи в ремонті обладнання локомотивів.

3. Значення коефіцієнту готовності суттєво залежить від виду закону розподілу напрацювання на відмову і виду закону розподілу часу на відновлення. Найменше значення досягається при розподілі напрацювання на відмову за експоненціальним законом і розподілу часу на відновлення Релея. Фактор, що впливає на цей показник є середнє напрацювання на відмову, яка найменша саме при експоненціальному розподілі напрацювання на відмову. Тобто тимчасове резервування дозволить підвищити надійність роботи обладнання локомотивів, що позитивно впливає на ефективність роботи локомотива в цілому.

ЛІТЕРАТУРА

1. Васілевський О.М., Поджаренко В.О. Нормування показників надійності технічних засобів. Вінниця : ВНТУ, 2010. 129 с.

2. Канарчук В. Є. Надійність машин / В. Є. Канарчук, С. К. Полянський, М. М. Дмитрієв. Київ: Либідь, 2003. 424 с.
3. Александровская Л. Н. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем / Л. Н. Александровская А. П. Афанасьева, А. А. Лисов. Москва: Логос, 2003. 208 с.
4. Труханов В.М. Надежность технических систем типа подвижных установок на этапе проектирования и испытания опытных образцов. Москва: Машиностроение, 2003. 320 с.
5. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. Санкт-Петербург: Политехника, 2000. 248 с.
6. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2008. 704 с.
7. Власенко К.В., Грудкіна Н.С. Надійність технічних систем: методичні рекомендації до самостійної роботи студентів денної і заочної форм навчання за спеціальністю «Інформаційні технології проектування». Краматорськ: ДДМА, 2016. 41 с.
8. Азарсков В.Н., Стрельников В.П. Надежность систем управления и автоматики. Киев: НАУ, 2004. 164 с.
9. Губаревич О.В. Надійність і діагностика електрообладнання. Сєвєродонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2016. 248 с.
10. Krasheninina O.S., Klymenko O.V., Ponomarenko O.V., Yakovlev S.S. Justification of Statutory Service Life Extension of Locomotives on the Basis of Theory of Aging // International Journal of Engineering & Technology. 2018. 7 (4.3). pp. 174-178.
11. Крашенінін О.С., Яковлев С.С., Шапатіна О.О. Вплив організації технічного обслуговування на ефективність експлуатації тягового рухомого // Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології». Вип.32. Т.1 Д: ДУІТ, 2018. С. 103-115.
12. Ушаков И.А. Надежность технических систем: Справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др.; Под ред. И.А. Ушакова. М.: Радио и связь. 1985. 608 с.
13. Фалендиш А.П., Сумцов А.Л., Білецький Ю.В. Модель оптимізації системи технічного обслуговування та ремонту локомотивів. / А.П. Фалендиш, А.Л. Сумцов, Ю.В. Білецький // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2013. 207 (2). С. 45-49.
14. Иванова Н.Г. Применение методики расчета стоимости жизненного цикла при оценке эффективности инноваций на железнодорожном транспорте / Н.Г. Иванова // Локомотив. 2007. 8. С. 12–15.
15. Тартаковский Э.Д. Методы оценки жизненного цикла тягового подвижного состава железных дорог: Монография / Э.Д. Тартаковский, С.Г. Грищенко, Ю.Е. Калабухин, А.П. Фалендыш. Л: Ноулджд. 2011. 174 с.
16. Tartakovsky E., Ustenko O., Puzyr V., Datsun Y. System approach to the organization of locomotive maintenance on Ukraine railways. Studies in Systems, Decision and Control / E. Tartakovsky, O. Ustenko, V. Puzyr, Y. Datsun// Ukrainian state university of railway transport. Kharkiv, 2017. 87. pp. 217-236.

REFERENCES

1. Vasilevskiy O.M., Podzharenko V.O. (2010) *Normuvannya pokaznykiv nadiinosti tekhnichnykh zasobiv. [Rationing of reliability of technical means]* Vinnytsia: VNTU. (In Ukrainian).
2. Kanarchuk, V.Ye., Polyansky, S.K. & Dmitriev, N.M. (2003) *Nadiinist mashyn. [Reliability of machines]*. Kyiv: Lybid (In Ukrainian).
3. Aleksandrovskaya L.N., Afanaseva A.P. & Lysov A.A. (2003) *Sovremennyye metody obespecheniya bezotkaznosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Modern methods of ensuring the reliability of complex technical systems]* Moskva: Lohos (In Russian).
4. Trukhanov V.M. (2003) *Nadezhnost tekhnicheskikh sistem tipa podvuzhnykh ustanovok na etape proyektirovaniya y yspytaniya opytnykh obraztsov [Reliability of technical systems of the type of mobile installations at the stage of design and testing of prototypes]*. Moskva: Mashynostroenye (In Russian).
5. Riabynyn Y. A. (2000) *Nadezhnost y bezopasnost strukturno-slozhnykh sistem. [Reliability and safety of structurally complex systems]* Sankt-Peterburh: Polytekhnika. (In Russian).
6. Polovko A.M., Hurov S.V. (2008) *Osnovu teoryy nadezhnosti. [Fundamentals of Reliability Theory]* Sankt-Peterburh: BKhV-Peterburh. (In Russian).
7. Vlasenko K.V., Hrudkina N.S. (2016) *Nadiinist tekhnichnykh sistem: metodychni rekomendatsii do samostiinoi roboty studentiv dennoi i zaochnoi form navchannia za spetsialnistiu «Informatsiini tekhnolohii proyektuvannia» [Reliability of technical systems: methodical recommendations for independent work of*

students of full-time and correspondence forms of training in the specialty "Information technology of design"]. Kramatorsk: DDMA. (In Ukrainian).

8. Azarskov V.N., Strelnykov V.P. (2004) *Nadezhnost system upravleniya y avtomatyky [Reliability of control and automation systems]* Kyev: NAU. (In Ukrainian).

9. Kanarchuk, V.Ye., Polyansky, S.K. & Dmitriev, N.M. (2003) *Nadiinist mashyn. [Reliability of machines]*. Kyiv: Lybid (In Ukrainian).

10. Krasheninina, O.S., Klymenko, O.V., Ponomarenko, O.V. & Yakovlev, S.S. (2018). *Justification of Statutory Service Life Extension of Locomotives on the Basis of Theory of Aging*. International Journal of Engineering & Technology (7d ed) (In Ukrainian).

11. Krasheninina, O.S., Yakovlev, S.S. & Shapatina, O.O. (2018) *Vplyv orhanizatsii tekhnichnoho obsluhovuvannia na efektyvnist ekspluatatsii tiahovoho rukhomoho [Influence of organization of maintenance on the efficiency of traction mobile operation]*. Collection of scientific works of DUIT. Series "Transport Systems and Technologies" (In Ukrainian).

12. Belyaev, Yu.K., Bogatyrev, V.A., Bolotin V.V. et al (1985). *Nadezhnost tekhnicheskikh system [Reliability of technical systems]*. I.A. Ushakov (Ed.) Moscow: Radio and communication (In Russian).

13. Falendish, A.P., Sumtsov, A.L. & Biletsky, Yu.V. (2013). *Model optymizatsii systemy tekhnichnoho obsluhovuvannia ta remontu lokomotyviv. [Model of optimization of the system of maintenance and repair of locomotives]*. Bulletin of the East Ukrainian National University named after Vladimir Dahl. (2d ed) (In Ukrainian).

14. Ivanova, N.G. (2007). *Prymenenye metody rascheta stoyimosti zhyznennogo tsykla pry otsenke efektyvnosti ynnovatsyi na zheleznodorozhnom transporte [Principal methodologies estimate the cost of the life cycle in evaluating the efficiency of innovations in railway transport]*. Locomotive (In Ukrainian).

15. Tartakovskiy, E.D. (2011). *Metody otsenki zhyznennogo tsykla tiahovoho podvyzhnogo sostava zheleznykh doroh. [Methods for assessing the life cycle of traction rolling stock of railways]*. Lviv: Knowledge (In Ukrainian).

16. Tartakovskiy, E., Ustenko, O., Puzyr, V., & Datsun, Y. (2017) *System approach to the organization of locomotive maintenance on Ukraine railways. Studies in Systems, Decision and Control*. Ukrainian state university of railway transport. (872d ed).Kharkiv (In Ukrainian).

**Крашенинин А.С., доктор технических наук, профессор
(профессор кафедры «Эксплуатация и ремонт подвижного состава»
Украинского государственного университета железнодорожного транспорта);
Яковлев С.С.
(аспирант кафедры «Эксплуатация и ремонт подвижного состава»
Украинского государственного университета железнодорожного транспорта);
Шапатина О.А.,
(ассистент кафедры «Управление грузовой и коммерческой работой»
Украинского государственного университета железнодорожного транспорта)**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕННОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ

В статье рассматриваются вопросы влияния временного резервирования работы отдельного оборудования локомотивов на его надёжность при условии разных законов распределения времени работы, времени восстановления, времени на временное резервирование.

Ключевые слова: закон распределения случайных величин, резервирование, коэффициент готовности, средняя наработка, среднее время восстановления.

*Krashenin A. S., Doctor of Technical Sciences, Professor
(Professor, department "Maintenance and repair of rolling stock" Ukrainian State University of Railway Transport);*

*Yakovlev S. S.,
(graduate student department "Maintenance and repair of rolling stock" Ukrainian State University of Railway Transport);*

*Shapatina O. O.,
(assistant lecturer, department "Management of freight and commercial work", Ukrainian State University of Railway Transport)*

RESEARCH OF THE EFFECT OF TEMPORARY RESERVATION ON THE RELIABILITY OF EQUIPMENT LOCOMOTIVES

The article deals with the issues of the effect of the temporary reservation of the work of a separate locomotive equipment on its reliability, under the conditions different laws of distribution of time of work, time of recovery, time for temporary reservation. At the same time, the issue of the influence of the random nature of the occurrence of refusals with the justification of the strategy of their prevention is considered. The effect of temporary reservation of work of separate equipment of locomotives on its reliability is investigated. Calculation takes place taking into account different laws of distribution of time of work to the failure, time on recovery, time on temporary reservation.

This research is relevant because, in recent years, in our country gradually develops high-speed railway traffic. In the majority, the high-speed rolling stock (SRS) operating in the country, built abroad, and not always the mode of its operational loads meets the recommendations of suppliers of this technique. This leads to a breakdown in train traffic and great downtime, due to both the general condition of the railways and the intensity of the use of this SRS.

One more negative factor is the problem of organization of technical maintenance (TM) and current repair (CR) of this rolling stock. But not only for SRS there are such problems, because the current traction rolling stock has reached or exceeded the normative term of use, the repair base is updated slowly, technological processes TM and CR are not corrected during the life cycle. All this requires both practical and theoretical substantiation of the strategy and tactics of TM and CR of the transport rolling stock.

Therefore, there were formulated and scientifically substantiated methods for ensuring and improving the reliability of technique, on the basis of the analyzed functional relationships between the reliability indicators and the calculated ratios for reliability indicators of complex systems, which are is the traction rolling stock and locomotives.

It has been determined that the temporary reservation of the work of the locomotive systems significantly affects the time to the failure, recovery time and readiness factor and significantly improves these parameters, in contrast to the system performance without temporary reservation. It is also concluded that it is advisable to organize the recovery process in such a way that the distributions of time for recovery were close to gamma-distribution. And the value of the readiness factor depends significantly on the type of the law of distribution of exploitation to failure and the type of the law of distribution of time for recovery.

Keywords: *random distribution law, reservation, availability, average time, average recovery time.*