

УДК658.581

*Крашенінін О.С., д. т. н.,  
(професор кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу»,  
Український державний університет залізничного транспорту);  
Яковлев С.С.,  
(аспірант кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу»,  
Український державний університет залізничного транспорту);  
Шапатіна О.О.,  
(асистент кафедри «Управління вантажною і комерційною роботою»,  
Український державний університет залізничного транспорту)*

### **ВПЛИВ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ**

*У статті розглядаються питання впливу організації технічного обслуговування при різних законах розвитку відмов на ефективність експлуатації тягового рухомого складу (ТРС). На основі вибору параметрів надійності для різних законів розподілу відмов обладнання визначені значення параметрів надійності і проаналізований вплив закону розподілу відмов обладнання на параметри надійності для оцінки ефективності організації технічного обслуговування обладнання ТРС. Отримані при цьому співвідношення дозволяють визначати не тільки показники надійності системи, але і розраховувати оптимальну періодичність і терміни проведення ТО з метою підтримки надійності системи.*

***Ключові слова:** тяговий рухомий склад (ТРС), закони розподілу відмов, показники надійності роботи ТРС.*

**Вступ.** У процесі експлуатації ТРС, який являє собою складну технічну систему, погіршуються технічні характеристики його вузлів, агрегатів і систем на фоні старіння як самого ТРС, так і системи його утримання.

Технічне обслуговування (ТО) в кількісному обсязі робіт з утримання ТРС займає суттєвий сектор і призначене для усунення виникаючих в процесі експлуатації порушень технічного стану і проведення обов'язкового переліку заходів. ТО обслуговування забезпечує подовження часу експлуатації систем і агрегатів ТРС за умови, що інтенсивність їх відмов змінна величина. В процесі експлуатації і старіння ТРС технічне обслуговування забезпечує зменшення швидкості росту інтенсивності відмов  $\lambda(t)$ .

**© Крашенінін О.С., Яковлев С.С., Шапатіна О.О., 2018**

Протягом існування залізниць склалася планово-попереджувальна система технічного обслуговування різних обсягів (ТО- $i$ , де  $i$  – номер обслуговування, поточного ремонту (ПР- $j$ , де  $j$  – номер ремонту та капітальних ремонтів (КР- $m$ , де  $m$  – номер капітального ремонту).

Періодичність і обсяг ТО, ПР регламентуються заводами-виробниками і в процесі експлуатації частково корегуються за даними з відмов обладнання. Разом з цим, час між відмовами при різних законах розподілу відмов має велику дисперсію, що може приводити до розкиду термінів проведення ТО, ПР для конкретного ТРС.

В цих умовах, на фоні загального погіршення технічного стану обладнання ТРС, доцільно переходити до змішаної системи ТО, ПР, що передбачає організацію безперервного контролю зміни стану обладнання ТРС і впровадження системи утримання обладнання ТРС за станом.

**Аналіз останніх досліджень і постановка проблем.** У нашій країні і за кордоном отримали розвиток наукові і прикладні розробки з організації системи утримання ТРС. Направленість цих розробок спрямована на оптимізацію системи технічного обслуговування і ремонту локомотивів, зниження витрат на підтримку технічного стану ТРС за рахунок переходу на обслуговування за технічним станом, впровадження систем автоматизації і діагностування в експлуатацію і ремонт ТРС, на перехід до сервісного обслуговування ТРС.

Значний вклад в удосконалення і підвищення ефективності утримання ТРС внесли дослідження Бабаніна О.Б., Боднара Б.Є., Голубенка О.Л., Ісаєва І.П., Капіци М.І., Кельріха М.Б., Маслієва В.Г., Пузиря В.Г., Стрекопитова В.В., Тартаковського Е.Д., Четвергова В.А. та інших вчених.

Крім цього в дослідженнях [3] запропоновано оригінальний метод оцінки надійності складних систем, який дозволяє представити та розширити дерево несправностей складових систем у кольорових мережах Петрі. В роботі [4] представлені результати застосування різних моделей для оцінки надійності залізничних систем, що ремонтуються, та розроблено підхід щодо використання гомогенної моделі Пуассона (ГЕС) і неоднорідної моделі Пуассона (NHPP) для моделювання надійності систем. В матеріалах [5] запропоновано алгоритм прийняття рішень для визначення відповідної моделі надійності для однотипних одиниць, що підлягають ремонту. Дослідження [6, 7, 8, 9] присвячені проблемам створення оптимальної системи постачання запасних частин і обладнання в систему ремонту. В роботі [10] запропоновано методологію системного підходу до організації обслуговування локомотивів на залізницях України. Дослідження [12] присвячені проблемам подовження терміну експлуатації локомотивів на основі математичних методів та положень таких теорій: надійність, ігри, ймовірність, старіння, розпізнавання образів тощо.

Аналіз наукових досліджень щодо утримання ТРС визначає необхідність комплексної оцінки термінів їх експлуатації, що базується на декількох принципово відмінних підходах: удосконалення існуючих технологічних процесів з урахуванням їх корегування в процесі життєвого циклу; концепції заміни коли собівартість їх роботи перевищує нормативні показники; концепції критичного збільшення витрат на утримання рухомого складу.

Таким чином, будь-яка система утримання ТРС повинна базуватися на врахуванні факторів досягнення граничних значень критеріїв їх утримання в умовах невизначеності зовнішніх впливів.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дослідження є визначення впливу організації технічного обслуговування обладнання ТРС при різних законах розподілу їх відмов на ефективність експлуатації.

Відповідно до цього завданнями дослідження є:

1. Вибір параметрів надійності для оцінки організації технічного обслуговування ТРС;
2. Для різних законів розподілу відмов обладнання визначення значень параметрів надійності;
3. Визначення впливу виду закону розподілу відмов обладнання на параметри надійності для оцінки ефективності організації технічного обслуговування обладнання ТРС.

**Матеріали та методи дослідження.** Надійність роботи вузлів і підсистем ТРС різна. Тому і період ТО повинен бути різний. Проте якщо проводити ТО за станом елементів, то це вимагатиме великого загального часу за рахунок збільшення частоти ТО. Виникають складні математичні і технічні проблеми, пов'язані з вибором оптимальної частоти і глибини ТО для забезпечення високої надійності обладнання ТРС та її аналізу з урахуванням організації ТО. Припустимо, що випадковий час роботи обладнання ТРС (системи) розподілено за законом з щільністю  $f(t)$ . Протягом часу  $\tau$ , поки ТО не проводилося, система втратила частину свого ресурсу. Якщо  $t > \tau$ , то без проведення ТО щільність розподілу часу до відмови залишилася б  $f(t)$ . При наявності ТО час до відмови матиме іншу щільність розподілу, що дорівнює  $f(t - \tau)$ . Це означає, що з точки зору надійності система "забуває" своє минуле - оновлюється.

Припустимо, що час функціонування обладнання ТРС розпадається на інтервали роботи, яким відповідають значення випадкової величини  $\xi_1$ , і інтервали відновлення, яким відповідають значення випадкової величини  $\eta_1$ . ТО проводяться через випадкові проміжки часу тривалістю  $\xi_2$ , час проведення ТО позначимо через  $\eta_2$ . Вважаємо також, що під час ремонту системи ТО не проводиться. Тимчасова діаграма роботи системи зображена на рис. 1, з якої випливає неможливість відмови системи під час проведення ТО.

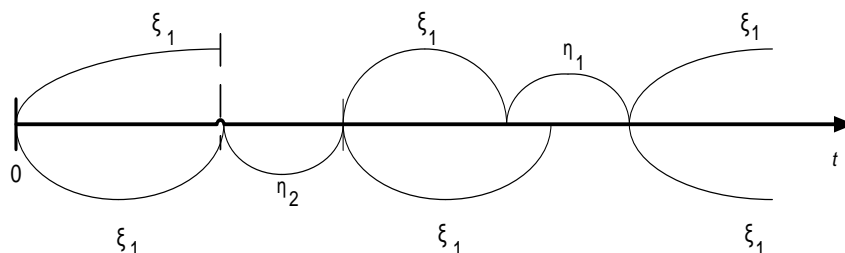


Рис. 1. Тимчасова діаграма роботи системи з організацією ТО

Система має такі можливі стани і відповідні їм шукані функції:

- (0) обладнання справне і працює, ТО не проводиться,  $y_0(S_1, S_2)$ ;
- (1) обладнання відмовило і відновлюється, момент ТО не настав,  $y_1(\tau_1, S_2)$ ;
- (2) обладнання справне, проводиться ТО,  $y_2(0, \tau_2)$ ;
- (3) обладнання відновлюється, ТО не проводиться,  $y_3(\tau_1, 0)$

Справним є стан (0), коли основне обладнання експлуатується згідно з нормативними вимогами, незалежно від того, проводиться ТО чи ні. Стани (1), (2) і (3) є відмовними.

Будемо вважати, що ТО проводиться через певний час  $T_2$  (частота ТО) та продовжується протягом часу  $T_{B2}$  (глибина ТО). Тоді закон розподілу часу між ТО є детермінованим з щільністю  $f_2(t) = \delta_{T_2}(t)$ .

Для коефіцієнта готовності  $K_{ГC}$  маємо такий вираз згідно з [11]:

$$K_{ГC} = \frac{m_1(T_2)}{m_1(T_2) + T_{B1}M_1(T_2) + T_{B2}K_{Г1}(T_2)} \quad (1)$$

де  $m_1(T_2)$  – середнє сумарне напрацювання системи за період часу  $T_2$ ;

$M_1(T_2)$  – середнє сумарне число відмов системи за період часу  $T_2$ .

Напрацювання на відмову і середній час відновлення відповідно дорівнюють:

$$T_C = \frac{m_1(T_2)}{M_1(T_2) + K_{Г1}(T_2)}, T_{BC} = \frac{T_{B1}M_1(T_2) + T_{B2}K_{Г1}(T_2)}{M_1(T_2) + K_{Г1}(T_2)} \quad (2)$$

На основі наведених співвідношень встановимо властивості системи, для якої передбачено ТО. Вихідними даними є параметри деяких розподілів відмов. Відповідні формули наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

**Зв'язок параметрів розподілення з першими двома моментами**

Розподілення	$m$	$\sigma$
Експоненціальне $\text{Exp}(\lambda)$	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda}$
Рівномірне $U(a, b), a \geq 0$	$\frac{a + b}{2}$	$\frac{b - a}{2\sqrt{3}}$
Гама $\Gamma(\alpha, \beta)$	$\alpha\beta$	$\sqrt{\alpha\beta}$

Закінчення табл. 1

Усічене нормальне TN( $m_0, \sigma_0$ )	$m_0 + k\sigma_0$	$\sigma_0 \sqrt{1 + k \frac{m_0}{\sigma_0} - k^2},$ $k = \frac{c}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{m_0^2}{2\sigma_0^2}}$ $C = \left(0,5 + \Phi_0\left(\frac{m_0}{\sigma_0}\right)\right)^{-1}$
Релея R( $\lambda$ )	$\sqrt{\frac{\pi}{4\lambda}}$	$\sqrt{\frac{4 - \pi}{4\lambda}}$
Вейбулла-Гнеденка W( $\alpha, \beta$ )	$\beta\Gamma(1 + 1/\alpha)$	$\beta \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)}$
Нормальне N( $m, \sigma$ ) $m > 3\sigma$	M	$\sigma$

У таблиці  $\Phi_0(t)$  – функція Лапласа,  $\Gamma(t)$  – гама-функція.

Розглянемо такі ситуації. Припустимо спочатку, що час роботи системи до відмови підпорядкований розподіленню Вейбулла-Гнеденка з параметрами  $\alpha = 3$ ,  $\beta = 100$  час. Час відновлення системи має експоненціальне розподілення з параметром  $\lambda = 0,005$  час.<sup>-1</sup>. Середній час між ТО дорівнює  $T_2 = 120$  год., середній час проведення ТО дорівнює відповідно  $T_{B2} = 1,3$  і  $5$  годин (розглянуті три варіанти рішення). Для проведення розрахунків скористаємося формулами зв'язку початкових моментів з параметрами розподілення відмов. По табл. 1 знаходимо математичне очікування часу безвідмовної роботи системи:

$$m = \beta\Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) = 100 \times \Gamma\left(1 + \frac{1}{3}\right) + 100 \times \Gamma(1,3333)$$

Середнє квадратичне відхилення часу безвідмовної роботи:

$$\sigma = \beta \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)} = 100 \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{3}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{3}\right)} = 100 \sqrt{\Gamma(1,6667) - \Gamma^2(1,3333)}$$

Отже значення параметрів розподілення Вейбулла-Гнеденка без проведення ТО ( $W(\alpha, \beta) = W(\alpha = 3, \beta = 100)$ ), приймають такі величини:

1. Сумарне напрацювання

$$m = \beta\Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) = 100\Gamma\left(1 + \frac{1}{3}\right) = 100\Gamma(1,33) = 100 \times 0,893 = 89,3 \text{ год.}$$

$$\sigma_1 = \sigma = \beta \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)} = 100 \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{3}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{3}\right)} =$$

$$100 \sqrt{\Gamma(1,67) - \Gamma^2(1,33)} = 100 \sqrt{0,9028 - (0,893)^2} = 32,5 \text{ год.}$$

$$T'_1 = m + \sigma = 89,3 + 32,5 = 121,8 \text{ год.}$$

$$K_{\Gamma 1} = \frac{T_1}{T_1 + T_{B1}} = \frac{89,3}{89,3 + 20} = 0,8170$$

2. Час і середнє квадратичне відхилення відновлення

$$T_{B1} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,005} = 20 \text{ год. } T_{B1} = \sigma_{B1} = 20 \text{ год.}$$

3. Кількість відмов системи протягом часу  $T_2$ .

$$M_1(T_2) = \frac{t}{T_1 + \sigma_1} = \frac{T_2}{T_1 + \sigma_1} = \frac{120}{89,3 + 32,5} = 0,985$$

4. Параметри системи з ТО

$$K_{\Gamma 1}(T_2) = \frac{m(T_2)}{m(T_2) + T_{B1}} = \frac{120}{120 + 20} = 0,857$$

$$T_c = \frac{m(T_2)}{M_1(T_2) + K_{\Gamma 1}(T_2)} = \frac{120}{0,985 + 0,857} = 64,6 \text{ год.}$$

Інші показники надійності системи при різному часі проведення ТО наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Стационарні показники надійності системи

Показники надійності	Без ТО	з ТО		
		$T_{B2} = 1 \text{ год.}$	$T_{B2} = 2 \text{ год.}$	$T_{B2} = 3 \text{ год.}$
$K_{\Gamma}$	0,8170	0,850	0,8435	0,8332
$T_c, \text{ год.}$	89,3	64,6	64,6	64,6
$T_{BC}, \text{ год.}$	20	11,05	11,99	12,93

З табл. 2 видно, що проведення ТО помітно підвищує коефіцієнт готовності системи  $K_{\Gamma C}$  для широкого діапазону часу його проведення. Якщо час ТО дорівнює 1 годині, то вигрaш складатиме:

$$G_{K_{\Gamma 1}} = \frac{0,8540 - 0,8170}{0,8170} \times 100\% = 4,5\%.$$

Напрацювання на відмову не залежить від часу на проведення ТО. Це ясно з фізичних міркувань, а також з таблиці і формули (1). Оскільки після ТО система оновлюється, то час її відновлення скорочується, а за рахунок цього відбувається збільшення коефіцієнта готовності  $K_{\Gamma C}$ . Зменшення часу відновлення системи  $T_{BC}$  виходить з формули (2), якщо  $T_{B2}$  менше  $T_{B1}$ .

Аналогічно проведемо розрахунки для інших видів розподілення відмов обладнання:

- нормального  $N(m = 150, \sigma = 7)$ ;

- рівномірного  $U(a = 100, b = 150)$ ;
- гама розподілу  $\Gamma(\alpha = 2, \beta = 100)$ ;
- Релея  $R(\lambda_1 = 0,0001)$ .

Розподілення нормальне (без проведення ТО):

$$m=150 \text{ год.}; \sigma_1=\sigma=7; T'_1 = m + \sigma = 150 + 7 = 157 \text{ год.};$$

$$K_{\Gamma 1} = \frac{150}{150+20} = 0,882.$$

$$M_1\left(T_2 = \frac{t}{T_1 + \sigma_1}\right) = \frac{T_2}{T_1 + \sigma} = \frac{120}{150+7} = 0,764.$$

Розподілення рівномірне (без проведення ТО):

$$m = \frac{100+150}{2} = 125 \text{ год.}$$

$$\sigma = \frac{b-a}{2\sqrt{3}} = \frac{150-100}{2\sqrt{3}} = \frac{50}{3,464} = 14,4 \text{ год.}$$

$$T'_1 = m + \sigma = 125 + 14,4 = 139,4 \text{ год.}$$

$$K_{\Gamma 1} = \frac{125}{125 + 20} = 0,862$$

$$M_1(T_2) = \frac{120}{125 + 14,4} = 0,860$$

Гама розподілення (без проведення ТО):

$$m(T_1) = \alpha\beta = 2 \times 100 = 200 \text{ год.}$$

$$\sigma(\sigma_1) = \sqrt{\alpha} \times \beta = \sqrt{2} \times 100 = 141,2 \text{ год.}$$

$$T'_1 = m + \sigma = 200 + 141,4 = 341,4 \text{ год.}$$

$$K_{\Gamma 1} = \frac{200}{200 + 20} = 0,909$$

$$M_1(T_2) = \frac{t}{T_1 + \sigma_1} = \frac{T_2}{T_1 + \sigma_1} = \frac{120}{200 + 141,4} = 0,35$$

Розподілення Релея (без проведення ТО):

$$m = \sqrt{\frac{\pi}{4\lambda_1}} = \sqrt{\frac{3,14}{4 \times 0,0001}} = 88,6 \text{ год.}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{4-\pi}{4\lambda_1}} = \sqrt{\frac{4-3,14}{4 \times 0,0001}} = 46,37 \text{ год.}$$

$$T'_1 = 88,6 + 46,37 = 134,97 \text{ год.}$$

$$K_{\Gamma 1} = \frac{88,6}{88,6 + 20} = 0,816$$

$$M_1(T_2) = \frac{120}{88,6 + 46,37} = 0,869$$

Інші розрахунки параметрів надійності для цих розподілень зведені в табл. 3 і 4.

Таблиця 3

Розрахунки динаміки зміни часу відновлення надійності обладнання та зміни коефіцієнта готовності для різних законів відмов (без проведення ТО)

Показники надійності	Вейбулла – Гнеденка (W)	Нормальний (N)	Рівномірний U(a, b)	Гамма $\Gamma(\alpha, \beta)$	Релея R( $\lambda$ )
$K_{\Gamma}$	0,817	0,882	0,862	0,909	0,816
$T_{C}$ , год.	89,3	150	125	200	88,6
$T_{BC}$ , год.	20	20	20	20	200

Таблиця 4

Розрахунки динаміки зміни часу відновлення надійності обладнання та зміни коефіцієнта готовності для різних законів відмов (з проведенням ТО)

Показники надійності	Вейбулла – Гнеденка (W)			Нормальний (N)			Рівномірний U(a, b)			Гамма $\Gamma(\alpha, \beta)$			Релея R( $\lambda$ )		
	$T_{B2} = 1$	$T_{B2} = 3$	$T_{B2} = 5$	$T_{B2} = 1$	$T_{B2} = 3$	$T_{B2} = 5$	$T_{B2} = 1$	$T_{B2} = 3$	$T_{B2} = 5$	$T_{B2} = 1$	$T_{B2} = 3$	$T_{B2} = 5$	$T_{B2} = 1$	$T_{B2} = 3$	$T_{B2} = 5$
$K_{\Gamma}$	,854	,843	,836	,882	,877	,876	,869	,858	,848	,939	,926	,914	,866	,855	,845
$T_{C}$ , год.	65,1			7,4			69,9			99,3			68,73		
$T_{BC}$ , год.	1,7	2,6	3,0	0	1	2	0,5	1,5	2,5	,5	,9	,3	0,7	1,7	2,6

На підставі цих розрахунків побудовані графічні залежності  $T_{BC} = f(T_{B2})$ ;  $K_{\Gamma C} = f(T_{B2})$  (рис. 1, 2).

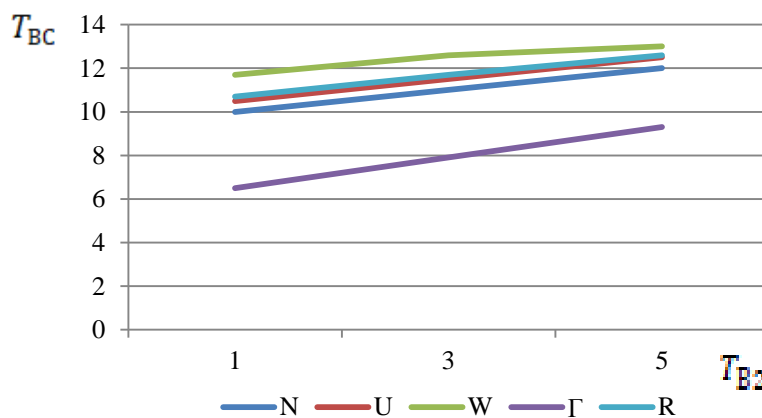


Рис. 1. Динаміка зростання часу відновлення надійності обладнання для різних законів відмов



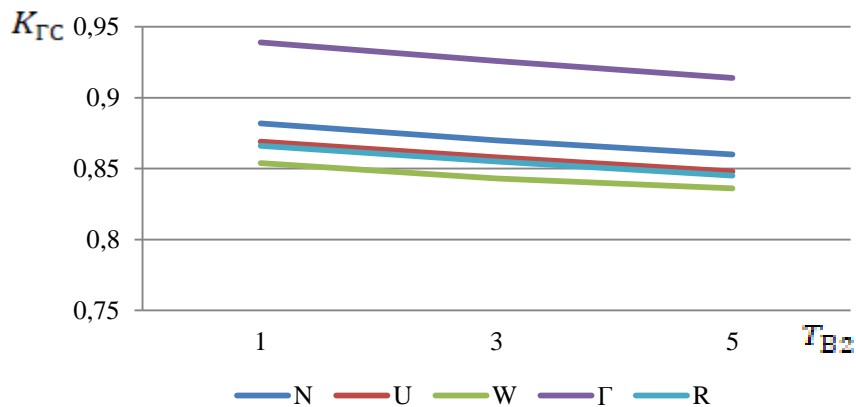


Рис. 2. Динаміка зміни коефіцієнту готовності для різних законів відмов

### Висновки

1. Для оцінки організації технічного обслуговування обладнання ТРС доцільно визначити такі показники надійності  $K_C, T_C, T_{BC}$ . Причому, якщо  $T_2 \rightarrow \infty$ , що означає не проведення ТО, коефіцієнт готовності, напрацювання на відмову і середній час відновлення збігаються зі своїми звичайними значеннями:  $\frac{T_1}{T_1 + T_{B1}}$ ,  $T_1$  та  $T_{B1}$ . Якщо інтенсивність відмови пристрою постійна, то ТО не дає вигоди в надійності, а, навпаки, коефіцієнт готовності системи зменшується в порівнянні з відсутністю ТО.

2. Для різних законів розподілу відмов обладнання визначені значення параметрів надійності. Слід відмітити, що за рахунок скорочення часу на відновлення при дотриманні умови  $m_1(T_1) < T_2$  зростає коефіцієнт готовності  $K_G$ , а при зростанні часу простою на ТО ( $T_{B2}$ ) спостерігається динаміка зменшення  $K_G$  (згідно з формулою (3)).

3. Згідно з отриманими графічними залежностями в різному ступені спостерігається зростання часу відновлення надійності обладнання для різних законів відмов і навпаки – протилежна динаміка зміни коефіцієнта готовності. Слід відмітити, що отримані при цьому співвідношення дозволяють визначати не тільки показники надійності системи, але і розраховувати оптимальну періодичність і терміни проведення ТО з метою підтримки надійності системи.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надёжности / Я.Б. Шор – М.: Советское радио, 1962. – 553 с.
2. Шор Я.Б., Кузьмин Ф.Н. Таблицы для анализа и контроля надёжности / Я.Б. Шор, Ф.Н. Кузьмин – М.: Советское радио, 1968. – 288 с.
3. Song H., Schnieder E. Evaluating Fault Tree by means of Colored Petri nets to analyze the railway system dependability / H. Song, E. Schnieder – Safety Science Volume 110, December 2018, Pages 313-323.
4. Navas M.A., Sancho C., Carpio J. Reliability analysis in railway repairable systems // International Journal of Quality and Reliability Management. – 2017. – 34 (8). – pp 1373-1398.
5. Garmabaki A.H.S., Ahmadi A., Block J., Pham H., Kumar U. Reliability A reliability decision framework for multiple repairable units // Engineering and System Safety. – 2016. – 150. – pp 78-88.

6. *Toporkova O.A., Zheludovych O.A.* Logistics management in inventory system / O.A. Toporkova., O.A. Zheludovych // Proceedings of the Dnipropetrovsk National University of Railway. – 2014. – № 7. – Retrieved from: <https://doi.org/10.15802/pte.v0i7.32097>
7. *Устенко М.О.* Основні проблеми транспортної логістики. Проблеми транспортного комплексу України / М.О. Устенко // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2010. – № 29. – С. 236-238.
8. *Rodriguez M.A., Vecchietti A.* Multicriteria optimization model for supply process problem under provision and demand uncertainty / M.A. Rodriguez, A. Vecchietti // Industrial and Engineering Chemistry Research. – 2011 – 50 (18) – pp 10630-10642.
9. *Dekker R* Improving the management of spare parts stocks in the repair shop / R. Dekker // Omega (United Kingdom). – 2015. – 57 (01). – pp 217-229.
10. *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. – 2017. – 87. – pp. 217-236.
11. *Козлов Б.А., Ушаков И.А.* Справочник по расчёту надёжности аппаратуры радиоэлектроники / Б.А. Козлов, И.А. Ушаков. – М. : Советское радио, 1975. – 472 с.
12. *Krasheninina O., Klymenko O., Ponomarenko O., Yakovlev S.* Justification of statutory service life extension of locomotives on the basis of theory of aging / O. Krasheninina, O. Klymenko, O. Ponomarenko, S. Yakovlev // International Journal of Engineering & Technology – 2018. – 7 (43). – pp 174-178.

## REFERENCES

1. *Shor, Y.B.* (1962). Statistical methods for analysis and quality control and reliability. Moscow, Soviet Radio (In Russian).
2. *Shor, Y.B., Kuzmin, F.N.* (1968). Tables for the analysis and control of reliability. Moscow, Soviet Radio (In Russian).
3. *Song, H., Schmieder, E.* (2018). Evaluating Fault Tree by means of Colored Petri nets to analyze the railway system dependability. Safety Science Volume 110. 313-323.
4. *Navas, M.A., Sancho, C., Carpio, J.* (2017) Reliability analysis in railway repairable systems. International Journal of Quality and Reliability Management. 34 (8). 1373-1398.
5. *Garnabaki, A.H.S., Ahmadi, A., Block, J., Pham, H., Kumar, U.* (2016). Reliability. A reliability decision framework for multiple repairable units. Engineering and System Safety. 150. 78-88.
6. *Toporkova, O.A., Zheludovych, O.A.* (2014). Logistics management in inventory system. Proceedings of the Dnipropetrovsk National University of Railway, 7. Retrieved from: <https://doi.org/10.15802/pte.v0i7.32097> (In Ukrainian).
7. *Ustenko, M. O.* (2010). Osnovni problem transportnoi lohistyky. Problemy transportnoho kompleksu Ukrainy [The main problems of transport logistics. Problems of the transport complex of Ukraine]. Visnyk ekonomiky transport i promyslovosti, (29), 236-238.
8. *Rodriguez, M.A., Vecchietti, A.* (2011) Multicriteria optimization model for supply process problem under provision and demand uncertainty. Industrial and Engineering Chemistry Research. 50 (18). 10630-10642.
9. *Dekker, R.* (2015). Improving the management of spare parts stocks in the repair shop. Omega (United Kingdom). 57 (01). 217-229.
10. *Tartakovsky, 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*. 87. 217-236. (In Ukrainian)
11. *Kozlov, BA, Ushakov, I.A.* (1975). Handbook for the calculation of reliability of radio electronics equipment. Moscow, Soviet Radio (In Russian).
13. *Krasheninina, O., Klymenko, O., Ponomarenko, O., Yakovlev, S.* (2018) Justification of statutory service life extension of locomotives on the basis of theory of aging. International Journal of Engineering & Technology. 7 (43). 174-178.

*Крашенинин О.С., д. т. н.,  
(профессор кафедры «Эксплуатация и ремонт подвижного состава»,  
Украинский государственный университет железнодорожного транспорта);  
Яковлев С.С.,  
(аспирант кафедры Эксплуатация и ремонт подвижного состава»,  
Украинский государственный университет железнодорожного транспорта);  
Шапатина О.О.,  
(ассистент кафедры «Управление грузовой и коммерческой работой»,  
Украинский государственный университет железнодорожного транспорта)*

### **ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

*В статье рассматриваются вопросы влияния организации технического обслуживания при различных законах развития отказов на эффективность эксплуатации тягового подвижного состава (ТПС). На основе выбора параметров надежности для различных законов распределения отказов оборудования определены значения параметров надежности и проанализировано влияние закона распределения отказов оборудования на параметры надежности для оценки эффективности организации технического обслуживания оборудования ТПС. Полученные при этом соотношения позволяют определять не только показатели надежности системы, но и рассчитывать оптимальную периодичность и сроки проведения ТО с целью поддержания надежности системы.*

***Ключевые слова:** тяговый подвижной состав (ТПС), законы распределения отказов, показатели надежности работы ТПС.*

*Krashenin A. S.,  
(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)*

### **INFLUENCE OF THE MAINTENANCE ORGANIZATION ON THE TRACTION ROLLING STOCK OPERATION EFFICIENCY**

*During the existence of railways, schedule preventive maintenance system of different levels has been established (M-i, where i – maintenance number, current repair (CR-j, where j – repair number and overhaul (O-m, where m – overhaul number).*

*Frequency and amount of maintenance, CR are regulated by manufacturers and in the process of operation are partially adjusted according to the data from equipment failures. At the same time, the time between failures under different failure distribution*

laws has a large variance, which can lead to spreading of the timing of  $M$ ,  $CR$  for a specific traction rolling stock (TRS).

Under these conditions, against the background of the general deterioration of the technical state of TRS equipment, it is advisable to change to a mixed maintenance system, CR, which provides the organization of continuous monitoring of changes in the status of TRS equipment and the implementation of a TRC equipment maintenance system according to this condition.

This article deals with the issues of the impact of maintenance organization under various laws of failures development on the traction rolling stock operation efficiency. Based on the choice of reliability parameters for various failure distribution laws of equipment, the values of reliability parameters are determined and the influence of the type of failure distribution law on the reliability parameters is analysed, for the evaluation of the effectiveness of the TRS equipment maintenance organization. The ratios obtained at the same time make it possible to determine not only the reliability indicators of the system, but also to calculate the optimal frequency and timing of maintenance in order to maintain the reliability of the system.

**Keywords:** traction rolling stock (TRS), failure distribution laws, TRS reliability indicators.