

УДК 625.143.482

**ПАРАМЕТРИ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ
У РІЗНИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВАХ**

Д-р техн. наук І. Е. Мартинов, кандидати техн. наук В. Г. Вітольберг, Д. О. Потапов

**ПАРАМЕТРЫ НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ В РАЗНЫХ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ**

Д-р техн. наук И. Э. Мартынов, кандидаты техн. наук В. Г. Витольберг, Д. А. Потапов

**PARAMETERS OF RELIABILITY OF REINFORCED CONCRETE SHAPES IN
DIFFERENT OPERATING CONDITIONS**

Dr. sc. sciences I. E. Martynov, phd. tehn. V. G. Vitolberg, D. O. Potapov

DOI: 10.18664/1994-7852.175.2018.127076

Розглянуто роботу залізобетонних шпал марок Ш-1-1 і СБ-3-0 в умовах магістральних залізниць і колій незагального користування. Визначено основні експлуатаційні фактори, які впливають на їх роботу в колії. На основі даних обстеження залізобетонних шпал марки Ш-1-1 встановлено залежності їх виходу в непридатні. Запропоновано загальний підхід до прогнозування надійності роботи залізобетонних шпал марки СБ 3-0 на основі даних виходу шпал марки Ш-1-1. Отримано прогнозні залежності імовірності безвідмовної роботи шпал СБ 3-0 з використанням універсального двопараметричного розподілу Вейбулла. Визначено очікувані терміни служби шпал СБ 3-0 в різних експлуатаційних умовах.

Ключові слова: колія, шпала, робота, надійність, відмови, напруження.

Рассмотрена работа железобетонных шпал марок Ш-1-1 и СБ-3-0 в условиях магистральных железных дорог и путей необщего пользования. Определены основные эксплуатационные факторы, влияющие на их работу в пути. На основе данных

обследования железобетонных шпал марки Ш-1-1 установлены зависимости их выхода в дефектные. Предложено общий подход к прогнозированию надежности работы железобетонных шпал марки СБ-3-0 на основе данных выхода в дефектные шпал марки Ш-1-1 в условиях путей необщего пользования. Предложены прогнозные зависимости вероятности безотказной работы шпал СБ-3-0 с использованием универсального двухпараметрического распределения Вейбулла. Определены прогнозные сроки службы шпал СБ 3-0 в различных эксплуатационных условиях.

Ключевые слова: путь, шпалы, работа, надежность, отказы, напряжения.

The work of reinforced concrete sleepers of brands Sh-1-1 and SB-3-0 in the conditions of main railways and non-public roads is considered. The main operational factors influencing their work in the way are determined. Based on the survey data of reinforced concrete sleepers of brand Sh-1-1, which were removed from the tracks, the dependencies of their yield to defective ones were established, and the main groups of defects and damages were determined. A general approach is proposed for forecasting the reliability of the performance of concrete sleepers of the brand SB-3-0 on the basis of data on the yield of defective sleeper sh-1-1 in conditions of non-public roads, taking into account the possibility of changing these parameters, which is caused by the difference in the stressed state of sleepers of these brands. Taking into account the proposed approach, we propose predictive dependencies of the probability of failure-free operation of sleepers SB-3-0 under various operating conditions using the universal two-parameter Weibull distribution. On the basis of the proposed dependences of the probability of failure-free operation, the predicted service life of sleepers SB 3-0 is determined in various operating conditions.

Key words: railwaytrack, sleepers, functioning, reliability, failures, stresses.

Вступ. При вивченні роботи елементів верхньої будови колії, у тому числі найбільш розповсюджених марок залізобетонних шпал марок Ш-1-1 і СБ-3-0, у різних експлуатаційних умовах важливу інформацію про характер їх роботи дає застосування теорії надійності.

Як відомо, шпали марки Ш-1-1 є одними з основних типів підрейкових опор на магістральних коліях залізниць України для ділянок із безстиковою конструкцією колії з проміжним рейковим скріпленням типу КБ. Проміжне рейкове скріплення типу КБ разом з рядом переваг має суттєві недоліки (велика кількість деталей, наявність різьбових з'єднань, що викликає необхідність у періодичному проведенні робіт з закріплення гайок клемних і закладних болтів та ін.), тому в якості реальної альтернативи зараз на магістральних коліях розширюється полігон укладання проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 на залізобетонних шпалах типу СБ-3-0. З іншого боку, беручи

до уваги перспективи укладання залізобетонних шпал СБ-3-0 в колії залізниць незагального користування, постає питання щодо адекватної оцінки їхнього експлуатаційного ресурсу та надійності їх роботи. Тому встановлення функції розподілу вірогідності безвідмовної роботи елементів колії дозволить отримати значення параметра потоку відмов, середнього часу безвідмовної роботи і ряд інших, що дасть змогу прогнозно оцінити роботу цього елемента верхньої будови колії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженнями ряду авторів [1-5] встановлені дефекти, при яких ремонт і використання залізобетонних шпал неможливі:

- а) поперечний злам шпали з розкриттям тріщин більше 1 мм або руйнування бетону в місцях зламу;
- б) поздовжні тріщини в бетоні з розкриттям більше 5 мм;
- в) відколи більше 30 % площі підрейкової площадки;

г) тріщини більше 5 мм, що проходять по торцях шпал;

д) руйнування бетону в підрейковій частині;

е) корозійні руйнування арматур усередині бетону з появою на поверхні шпали бурих плям, смуг або поздовжніх тріщин.

Під терміном «ураження шпал» розуміється кількість шпал, що мають дефекти, при яких можливе їх використання після ремонту. Факторів, що впливають на вихід і ураження шпал дефектами, багато. До них належать вантажонапруженість, осьові навантаження, швидкості руху, стан колії, ступінь засміченості баластного шару та ряд інших.

Можна припустити, що частина факторів, що впливають на вихід і ураження шпал, залежать від часу. Чим довше шпала лежить у колії, тим більше перепадів температур вона витримає, тим більше забруднювачів потрапить у баласт. Розлади колії також прогресують з часом, викликаючи залишкові деформації всієї колійної решітки. На відміну від факторів часу, від яких залежить вихід і ураження шпал, існують головні фактори, що викликають зношування й старіння шпал, – силові фактори, що відбуваються від впливу рухомого складу на колію.

Таким чином, на загальне ураження і вихід залізобетонних шпал впливають дві групи: силові фактори (вантажонапруженість, осьові навантаження, пропущений тоннаж) і фактори часу, до яких належать кількість перепадів температур, засмічення баласту, розлади колії та інше.

Дослідженнями [8, 9, 15] встановлено, що вплив швидкостей руху на вихід і ураження шпал на коліях незагального користування невеликий через невеликий діапазон зміни цих швидкостей (до 40 км/год).

Одним з критеріїв оцінки працездатності залізобетонних шпал СБ 3-0 в умовах колій незагального користування, окрім оцінки їх характеристик на міцність, є

надійність роботи. Використання апарату теорії надійності дозволяє визначити термін служби цих шпал у різних експлуатаційних умовах, прогнозувати роботу при повторному укладанні в колію.

Однак безпосереднє визначення показників надійності, встановлення залежностей вірогідності безвідмовної роботи шпал СБ 3-0 в умовах колій незагального користування теоретично неможливо, оскільки потребує довгострокового та масивного нагляду за роботою шпал у таких умовах, накоплення статистичних даних про вихід шпал у дефектні. Крім того, на сьогодні шпали СБ 3-0 використовуються тільки на магістральних коліях.

Шпали типу СБ 3-0 відрізняються від шпал типу Ш1-1 тільки конструкцією проміжного скріплення та способом прикріплення рейок чи підкладок – анкер при шпалах СБ 3-0 та закладні болти при шпалах Ш1-1. Дослідження [7, 10, 14], показали, що в умовах колій незагального користування напруження, які виникають у шпалах СБ 3-0, вище порівняно з напруженнями у шпалах марки Ш-1-1 на 12-16 % по середній верхній постелі та на 17-23 % по середній підрейковій площадці. В основному це відбувається за рахунок більш концентрованого прикладення вертикального та горизонтального поперечного навантаження.

Шпали типу Ш-1-1 застосовуються на залізницях незагального користування вже більше сорока років. Нормативний документ [6] рекомендує укладання цих шпал на ділянках колій з осьовим навантаженням до 300 кН та при річному перевезенні до 10 млн т. Однак в останні роки у зв'язку з високою ціною дерев'яних шпал шпали Ш-1-1 укладаються на ділянках з осьовим навантаженням до 500 кН та при будь-яких обсягах перевезень. До цього часу накопичено значний статистичний матеріал, який дозволяє отримати достовірні залежності вірогідності безвідмовної роботи цих шпал. Беручи до уваги

вищенаведене, можливо припустити, що використання інформації про надійність роботи шпал марки Ш-1-1 в різних експлуатаційних умовах дозволить оцінити основні показники надійності роботи шпал типу СБ 3-0.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою дослідження є визначення терміну служби залізобетонних шпал типу СБ-3-0 з урахуванням особливостей їх напружено-деформованого стану в різних експлуатаційних умовах.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі завдання:

1. Встановити залежності зміни інтенсивності потоку відмов залізобетонних шпал Ш-1-1 в дефектні.

2. Отримати залежності вірогідності безвідмовної роботи шпал СБ 3-0 з використанням універсального двопараметричного розподілу Вейбулла.

3. Визначити терміни служби шпал СБ 3-0 в різних експлуатаційних умовах за рахунок введення в розрахункові рівняння поправкових коефіцієнтів.

Основна частина дослідження. Застосовуючи як гіпотезу той або інший вид розподілу вірогідності безвідмовної роботи, ми часто наперед припускаємо характер зміни інтенсивності потоку відмов. Так наприклад, на рис. 1 наведено залежність зміни з часом інтенсивності потоку відмов при використанні розподілів Релея, експоненціального, усіченого нормального і рівномірного.

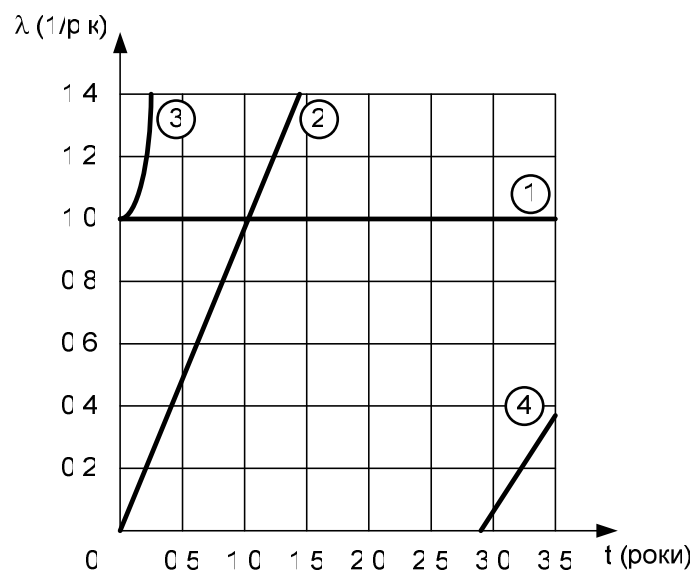


Рис. 1. Зміна інтенсивності потоку відмов:

1 – експоненціальний розподіл; 2 – розподіл Релея;
3 – усічений нормальний розподіл; 4 – рівномірний розподіл

Але спостереження за роботою залізобетонних шпал при різних осьових навантаженнях показують, що інтенсивність потоку відмов у деяких випадках істотно відрізняється від залежності, наведеної на рис. 1.

У зв'язку з цим доцільно застосувати розподіл Вейбулла [13, 16] як гіпотезу вірогідності безвідмовної роботи.

$$P(t) = e^{-\frac{t^m}{x_0}}, \quad (1)$$

де m і x_0 – параметри розподілу;
 t – параметр часу.

Параметр потоку відмов у цьому розподілі можна отримати використовуючи співвідношення:

$$a(t) = -P'(t), \quad (2)$$

що для розподілу Вейбулла можна визначити як

$$a(t) = \frac{m}{x_0} t^{m-1} e^{-\frac{t^m}{x_0}}. \quad (3)$$

Тоді, використовуючи залежність між параметром потоку відмов, функцією розподілу $P(t)$ і інтенсивністю потоку відмов $\lambda(t)$:

$$a(t) = \lambda(t)P(t), \quad (4)$$

отримаємо залежність зміни інтенсивності потоку відмов з часом:

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)} = \frac{m}{x_0} t^{m-1}. \quad (5)$$

Таким чином, використання розподілу Вейбулла дозволяє більш точно судити про характер роботи елементів колії в різних умовах експлуатації.

Викладені вище міркування були використані при вивченні роботи залізобетонних шпал типу Ш-1-1 на коліях підприємств чорної металургії при значеннях осьових навантажень від 200 до 450 кН/вісь і більше. Параметри m і x_0 в розподілі Вейбулла були отримані методом найменших квадратів на підставі даних обстежень.

$$m = \frac{\sum \ln t \cdot \sum \ln(-\ln \hat{P}(t)) - \sum \ln t \ln(-\ln \hat{P}(t))}{\sum (\ln t)^2 - (\sum \ln t)^2},$$

$$\ln x_0 = m \sum \ln t - \sum \ln(-\ln P(t)), \quad (6)$$

де $\hat{P}(t)$ – статистичний показник вірогідності безвідмовної роботи,

$$\hat{P}(t) = 1 - \frac{n(t)}{N(0)}, \quad (7)$$

де $N(0)$ – кількість шпал, придатних у момент часу t ;

$n(t)$ – кількість шпал, що вийшли з ладу до моменту часу t .

Отримані значення параметрів m і x_0 для ділянок з різними осьовими навантаженнями наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Значення параметрів в розподілі Вейбулла

Осьові навантаження, кН/вісь	m	x_0
>450	4,72	$16,82 \cdot 10^5$
291–450	2,87	$30,92 \cdot 10^4$
251–290	1,17	330,25
<250	0,24	254,56
Магістральні колії, $P_{oc} < 230$	0,95	355,27

Тут же надані значення параметрів, отриманих для колій магістральних залізниць з осьовими навантаженнями до 230 кН/вісь при відповідних значеннях вантажонапруженості.

Вплив швидкостей руху не враховувався. Параметри m і x_0 отримані на

підставі даних досліджень, проведених у роботах [10, 17].

На рис. 2 наведені криві залежності інтенсивності потоку відмов від часу для колій з осьовими навантаженнями, вказаними в табл. 1.

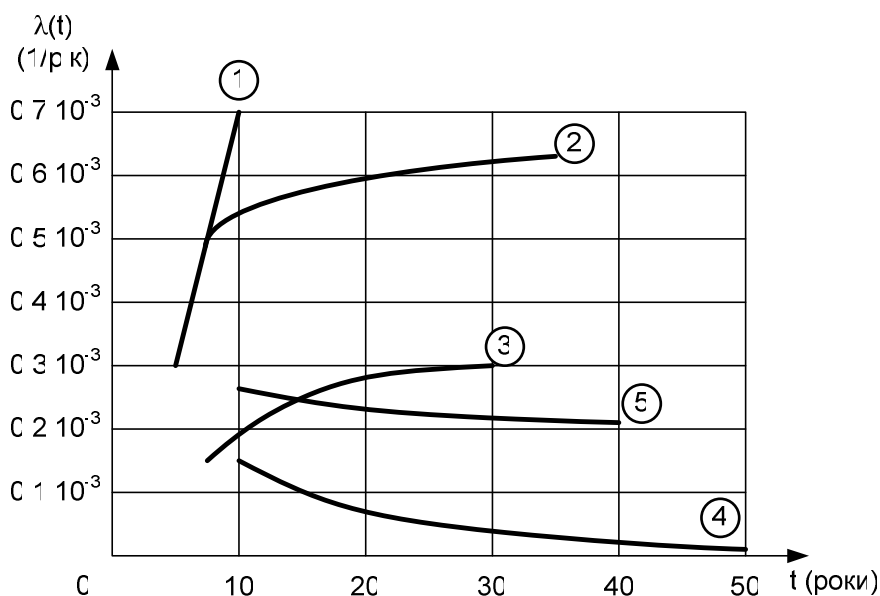


Рис. 2. Інтенсивність потоку відмов залізобетонних шпал типу Ш-1-1:

- 1 – колії підприємств чорної металургії $P_{oc} > 450$ кН/вісь;
- 2 – колії підприємств чорної металургії $P_{oc} = 291-450$ кН/вісь;
- 3 – колії підприємств чорної металургії $P_{oc} = 251-290$ кН/вісь;
- 4 – колії підприємств чорної металургії $P_{oc} < 250$ кН/вісь;
- 5 – колії магістральних залізниць $P_{oc} < 230$ кН/вісь

Крім того, багаторічні спостереження за роботою залізобетонних шпал марки Ш-1-1 в магістральних коліях і в умовах залізниць незагального користування дозволили отримати кількісні показники (із подальшою апроксимацією) щодо виходу їх у дефектні. Отримані залежності наведені в табл. 2 для прямих ділянок колії. Залежності конкретизовані по діапазонах осьових навантажень, що відповідають даній категорії колії. Статистична обробка результатів спостережень виконана за загальноприйнятою методикою [13, 16] з

метою встановлення коефіцієнтів кореляції й величини довірчого інтервалу.

Отримані значення коефіцієнтів кореляції наведені в п'ятому стовпці табл. 2. Їхні величини досить прийнятні, однак значущість їх повинна бути перевірена. Перевірка здійснюється множенням отриманої величини на $\sqrt{n-1}$, де n – кількість спостережень. Значення $r\sqrt{n-1}$ порівнюються з табличною величиною критичного значення [13]. Таблична величина критичного значення при надійності висновку $P=0,99$ наведена в сьомому стовпці табл. 2.

Таблиця 2

Залежності виходу та ураження залізобетонних шпал Ш-1-1

Категорія колії	Осьові навантаження, т/вісь	Залежність	n	r	$r\sqrt{n-1}$	Табличне значення при $P = 0,99$	Довірчий інтервал C
1	2	3	4	5	6	7	8
ВНК	>35	$y=0,577 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$	23	0,544	2,552	2,47	0,011
		$z=1,567 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$	23	0,530	2,486	2,47	0,009
	25-35	$y=0,539 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$	13	0,710	2,459	2,37	0,010
		$z=1,496 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$	13	0,695	2,409	2,37	0,012
	<25	$y=0,497 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$	31	0,464	2,541	2,49	0,011
		$z=1,424 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$	31	0,460	2,519	2,49	0,012
I	≥ 25	$y=0,434 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$	40	0,425	2,654	2,51	0,012
		$z=1,049 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$	40	0,415	2,592	2,51	0,090
	<25	$y=0,392 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$	30	0,417	2,663	2,49	0,090
		$z=0,953 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$	30	0,414	2,643	2,49	0,010
II	<25	$y=0,161 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$	36	0,433	2,561	2,50	0,010
		$z=0,440 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$	36	0,428	2,532	2,50	0,011

Отримані значення $r\sqrt{n-1}$ виявляються у всіх випадках більше критичних значень. Отже, досліджувані величини корелюються.

Для визначення ступеня точності отриманих залежностей були обчислені значення довірчого інтервалу за формулою

$$C = f(p, n) \frac{S}{n}, \quad (8)$$

де S – середньоквадратичне відхилення.

Отримані значення довірчого інтервалу наведені у восьмому стовпці табл. 2. Вони становлять від 7 до 14 % середніх значень параметрів y і z .

Коефіцієнт K , що враховує вплив кривих на вихід і ураження залізобетонних шпал, емпірично визначений як

$$K = 1 + \frac{m}{R}, \quad (9)$$

де R – радіус кривої, м;

m – параметр формули, визначений методом найменших квадратів.

У результаті обчислень отримано такі значення виразу (9) для колій різних категорій:

- для позакатегорійних колій $K = 1 + \frac{106,5}{R}$;
- для колій першої категорії $K = 1 + \frac{84,0}{R}$;
- для колій другої категорії $K = 1 + \frac{63,0}{R}$.

Для визначення термінів служби залізобетонних шпал типу СБ 3-0 скористаємося отриманими залежностями виходу шпал типу Ш-1-1 з урахуванням їх коригування та апаратом теорії надійності.

Під безвідмовністю роботи якогось пристрою розуміють властивість цього пристрою зберігати працездатність протягом заданого інтервалу часу в певних умовах експлуатації. Імовірність безвідмовної роботи – імовірність того, що пристрій буде працювати безвідмовно протягом необхідного інтервалу часу t_0 .

$$P(t_0) = 1 - F(t_0), \quad (10)$$

де $F(t_0)$ – функція розподілу випадкової величини Θ , а Θ – випадкова тривалість часу безвідмовної роботи пристрою до появи відмови.

Статистичне визначення ймовірності безвідмовної роботи [13, 16]

$$P\hat{t}(t_0) = 1 - \frac{n(t_0)}{N(0)}, \quad (11)$$

де $N(0)$ – кількість пристроїв, справних у початковий момент часу $t=0$;

$n(t_0)$ – кількість пристроїв, що відмовили до моменту часу t_0 .

Для залізобетонних шпал марки СБ 3-0 відношення $\frac{n(t_0)}{N(0)}$ можна представити у вигляді

$$\frac{n(t_0)}{N(0)} = \frac{y \cdot T \cdot K \cdot K_t}{100}, \quad (12)$$

де y – питомий вихід залізобетонних шпал, %/млн т;

T – пропущений тоннаж, млн т;

K – коефіцієнт, що враховує кривизну ділянки;

K_t – коефіцієнт, який враховує тип шпали,

або

$$\frac{n(t_0)}{N(0)} = \frac{at^2T}{100} = \frac{at^3T_0 \cdot K \cdot K_t}{100},$$

де T_0 – річні перевезення по ділянці, млн т/р.;

t – час перебування шпал у колії, р.

$$\frac{aT \cdot K \cdot K_t}{100} = b,$$

тоді

$$P\hat{t}(t) = 1 - bt^3. \quad (13)$$

Відмова колії в частині роботи залізобетонних шпал відбудеться в тому випадку, коли в колії буде три й більше несправних залізобетонних шпали. Тоді ймовірність безвідмовної роботи залізобетонних шпал як системи з паралельно з'єднаними елементами [13, 16], можна визначити за формулою

$$P_c\hat{t}(t) = [1 - (1 - P\hat{t}(t))^3], \quad (14)$$

де $P\hat{t}(t)$ – імовірність безвідмовної роботи одного елемента (шпали).

З урахуванням виразу (13) отримаємо

$$P_c\hat{t}(t) = \left[1 - (1 - bt^3)^3\right]. \quad (15)$$

Як розподіл імовірності безвідмовної роботи системи залізобетонних шпал використаємо розподіл Вейбулла як найбільш універсальний [13, 16]:

$$P_c(t) = \lambda \frac{-t^m}{x_0}. \quad (16)$$

Параметри m і x_0 у цьому розподілі визначимо методом найменших квадратів. Отримані величини m і x_0 наведені в табл. 3.

Перевірка гіпотези про характер закону розподілу ймовірності безвідмовної роботи виконана за критерієм Колмогорова.

Середній термін служби залізобетонних шпал визначається за формулою

$$T = \int_0^{\infty} P(t) dt$$

або

$$T = x^m \Gamma\left(\frac{1}{m} + 1\right), \quad (17)$$

де $\Gamma(x)$ – табульована гамма-функція Ейлера.

Таблиця 3

Значення величин m і x_0

Категорія колії	Осьові навантаження, т	Вантажонапруженість, млн т/р.	Час перебування в колії, р.	Залежність виходу шпал у	b	m	x_0
ВНК	35	–	7	$0,577 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$	$26,62 \cdot 10^{-5}$	4,21	$15,83 \cdot 10^5$
	25-35	10	12	$0,535 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$	$5,73 \cdot 10^{-5}$	0,95	3639,41
		10-15 15	10 7		$8,09 \cdot 10^{-5}$ $16,18 \cdot 10^{-5}$	1,31 2,62	12572,53 $31,92 \cdot 10^4$
25	10-15 15	15 12	$0,497 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$	$3,25 \cdot 10^{-5}$ $5,87 \cdot 10^{-5}$	0,59 0,97	1294,37 3552,78	
I	25	–	12	$0,434 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$	$7,15 \cdot 10^{-5}$	1,17	330,25
	25	5-10 10	20 18	$0,392 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$	$1,76 \cdot 10^{-5}$ $2,17 \cdot 10^{-5}$	0,34 0,49	677,25 677,25
II	25	–	30	$0,161 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$	$0,59 \cdot 10^{-5}$	0,12	123,80
		5	24		$1,02 \cdot 10^{-5}$	0,24	254,56

Розрахунок середнього терміну служби залізобетонних шпал T для різних умов експлуатації наведений у табл. 4 (шостий стовпець). У сьомому стовпці наведені терміни служби колії до капітального ремонту. У восьмому – відношення

можливого середнього терміну служби к терміну служби до капітального ремонту. Як видно з табл. 4, залізобетонні шпали можуть перебувати в колії 2-3 міжремонтних термінів.

Таблиця 4

Результати розрахунків середнього терміну служби залізобетонних шпал марки Сб-3-0

Категорія колії	Осьові навантаження, т/вісь	Вантажонапруженість, млн т/р.	m	x_0	T , р.	Термін служби до капітального ремонту T_0 , р.	$\frac{T}{T_0}$
1	2	3	4	5	6	7	8
ВНК	>35	–	4,21	$15,83 \cdot 10^5$	15,3	7	2,19
	25-35	<10	0,95	$36,39 \cdot 10^2$	40,2	12	3,35
		10-15	1,31	$12,57 \cdot 10^3$	31,8	10	3,18
		>15	2,62	$31,92 \cdot 10^4$	19,3	7	2,75
<25	10-15	0,59	$12,94 \cdot 10^2$	51,8	15	3,45	
	>15	0,97	$35,52 \cdot 10^2$	39,6	12	3,30	
I	>25	–	1,17	$32,32 \cdot 10^2$	42,6	12	3,28
	<25	5-10 >10	0,34 0,49	$3,30 \cdot 10^2$ $6,77 \cdot 10^2$	71,0 62,6	20 18	3,55 3,48
II	<25	–	0,12	$1,23 \cdot 10^2$	110,4	30	3,68
		5	0,24	$2,54 \cdot 10^2$	86,6	24	3,61

Висновки:

1. Отримані залежності зміни інтенсивності потоку відмов підтвердили припущення про те, що величина осьових навантажень має істотний вплив на характер виходу залізобетонних шпал у дефектні.

2. Запропоновано загальний підхід до прогнозування надійності роботи залізобетонних шпал типу СБ 3-0 на основі даних по виходу та шпал типу Ш-1-1 в умовах колій незагального користування з урахуванням можливості зміни цих параметрів, які обумовлені різницями напруженого стану шпал цих типів.

3. На основі даних обстеження залізобетонних шпал марок Ш-1-1 встановлено залежності виходу в непридатні та загальні ураження шпал дефектами залежно від експлуатаційних умов – осьове навантаження, річні

перевезення, радіуси кривих. Крім головних факторів – силових, враховано також фактор часу знаходження шпал у колії, природні та кліматичні впливи на шпали – кількість циклів заморожування-відтавання, корозійного впливу та ін.

4. З урахуванням запропонованого підходу до прогнозування надійності роботи шпал типу СБ 3-0 в різних експлуатаційних умовах запропоновано прогнозні залежності вірогідності безвідмовної роботи шпал СБ 3-0 з використанням універсального двопараметричного розподілу Вейбулла.

5. На основі запропонованих прогнозних залежностей вірогідності безвідмовної роботи визначено очікувані терміни служби шпал СБ 3-0 у різних експлуатаційних умовах. Можливо припустити, що термін служби цих шпал складає не менше двох нормативних міжремонтних термінів.

Список використаних джерел

1. Железобетонные шпалы для рельсового пути [Текст] / под ред. А. Ф. Золотарского. – М. : Транспорт, 1981. – 265 с.
2. Андриевский, М. Г. Дефекты железобетонных шпал и причины их появления [Текст] / М. Г. Андриевский, К. А. Александров. – Ташкент : УзИНТИ, 1966. – С. 17-21.
3. Ангелейко, В. И. Накопление дефектов от воздействия подвижной нагрузки в железобетонных шпалах [Текст] / В. И. Ангелейко // Труды ДИИТа. – Днепропетровск, 1981. – Вып. 209. – С. 35-39.
4. Даніленко, Е. І. Залізнична колія [Текст]: підруч. для вищ. навч. закл. / Е. І. Даніленко. – К. : Інпрес, 2010. – Т. 2. – 456 с.
5. Railway construction [Text] / Sz. Fisher, B. Eller, Z. Kada, A. Németh // Universitas-Győr Nonprofit Kft., Győr, 2015. – 334 p.
6. Ангелейко, В. И. Разработка системы повторного использования железобетонных шпал на предприятиях Минчермета СССР [Текст]: отчет по НИР / В. И. Ангелейко, А. Н. Даренский. – № 01830039004. – Харьков : ХИИТ, 1985. – 85 с.
7. Даренский, А. Н. Сопротивление промежуточных скреплений КБ и КПП–5 перемещениям рельсов в продольной плоскости [Текст] / А. Н. Даренский, В. Г. Витольберг // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – 2008. – № 14. – С. 142-152.
8. Даренський О.М. Экспериментальное определение сопротивлений скреплений КБ и КПП – 5 перемещениям рельсов в продольной плоскости [Текст] / О.М. Даренський, В.Г. Витольберг // ДонІЗТ Збірник наукових праць. – 2008.- № 15. -С. 112-124.
9. Даренский, А. Н. Результаты экспериментальных работ по определению сил сопротивления железобетонных шпал продольным перемещениям [Текст] / А. Н. Даренский, В. Г. Витольберг, Н. В. Бугаец // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – 2009. – № 17. – С. 157-171.

10. Вітольберг, В. Г. Особливості опору залізобетонних шпал СБ 3-0 поздовжнім зсувам на коліях промислових залізниць [Текст] / В. Г. Вітольберг // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2012. – № 4 (175). – С. 53-58.
11. ДБН В.2.3-19-2008. Споруди транспорту залізничні колії 1520 мм. Норми проектування [Текст] / Мінрегіонбуд України. – К., 2008. – 134 с.
12. СНиП 2.05.07-91 Споруди транспорту. Промисловий транспорт [Текст]. – К., 1991. – 54 с.
13. Гнеденко, Б. В. Математические методы в теории надежности [Текст] / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – М. : Наука, 1965. – 524 с.
14. Даренский, А. Н. Надежность работы железобетонных шпал на путях Минчермета СССР [Текст] : деп. рукопись / А. Н. Даренский. – рукопись деп. в ЦНИИТЭИ МПС 28.11.86, № 3534.
15. Ангелейко, В. И. Железнодорожный путь и станции промышленных предприятий [Текст] / В. И. Ангелейко, В. И. Дмитриев, А. Н. Перцев. – К. : Вища школа, 1980. – 184 с.
16. Бондаренко, І. О. Надійність залізничної колії [Текст] : навч. посібник / І. О. Бондаренко, Д. М. Курган, М. А. Арбузов; [Дніпропетр. нац. ун-т залізнич. трансп. ім. акад. Лазаряна]. – Дніпропетровськ : Акцент ПП, 2015. – 156 с.
17. Meli, E. An innovative wheel–rail contact model for railway vehicles under degraded adhesion conditions [Text] / E. Meli, A. Ridolfi //Multibody System Dynamics. – 2015. – Т. 33. – № 3. – С. 285-313.

Мартинов Ігор Ернстович, доктор технічних наук, професор кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-35. E-mail: vagoni@kart.edu.ua.

Вітольберг Володимир Геннадійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-60. E-mail: vitolberg@kart.edu.ua.

Потапов Дмитро Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-60. E-mail: potapov@kart.edu.ua.

Мартынов Игорь Эрнстович, доктор технических наук, профессор кафедры вагонов Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел. : (057) 730-10-35. E-mail: vagoni@kart.edu.ua.

Витольберг Владимир Геннадиевич, кандидат технических наук, доцент кафедры пути и путевого хозяйства Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел. : (057) 730-10-60. E-mail: vitolberg@kart.edu.ua.

Потапов Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры пути и путевого хозяйства Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел. : (057) 730-10-60. E-mail: potapov@kart.edu.ua.

Igor Martynov, Dr. Sc. Science, Department of railway carriages Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-13. E-mail: info@kart.edu.ua.

Vladimir Vitolberg, PhD. Sc. Associate Professor, Department of Track and Track Facilities Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-60. E-mail: vitolberg@kart.edu.ua.

Dmitry Potapov, PhD. Sc. Associate Professor, Department of Track and Track Facilities Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-60. E-mail: potapov@kart.edu.ua.

Статтю прийнято 18.02.2018 р.