

УДК 625.14

DOI: <https://doi.org/10.18664/iksz.v31i1.357615>

Муригіна Н.О., PhD, ст. викл.

Малішевська А.С., канд. техн. наук, доцент

Бугаєць Н.В., канд. техн. наук, доцент

Тертичний В.В., аспірант.



Критерії для призначення ремонту з оновлення верхньої будови безстикової колії

Анотація. У статті запропоновані чисельні значення основних критеріїв щодо призначення ремонту з оновлення верхньої будови безстикової колії, які встановлені на основі аналізу зміни надійності рейко-шпальної решітки в процесі експлуатації.

У якості основних критеріїв розглядаються пропущений тоннаж (строк служби у роках) та поодинокий вихід рейок за дефектами у період експлуатації колії.

Запропоновані математичні моделі для визначення: ймовірність появи відмов рейок, залізобетонних шпал та проміжних скріплень типу КБ в залежності від напрацьованого тоннажу.

Ключові слова: безстикова колія, верхня будова колії, модернізація колії, капітальний ремонт колії, критерії призначення, рейко-шпальна решітка, напрацьований тоннаж.

Вступ.

Безстикова колія є однією з найсучасніших конструкцій колій у світі. Це основний тип колійної конструкції, що використовується на магістральних лініях у Європі, Північній Америці, Китаї, СНД та інших регіонах. Застосування безстикової колії забезпечує високі швидкості та здатність витримувати великі осьові навантаження. У порівнянні зі ланковою колією вона зменшує обсяг необхідних колійних робіт. При її укладанні потрібно менше металомістких скріплень. Вона має мінімальну кількість стиків, які є найуразливішими та найбільш напруженими ділянками, а також основним місцем накопичення залишкових деформацій. Безстикова колія допомагає зменшити питомий опір коченню, призводить до зменшення зносу коліс, збільшує пропускну здатність за рахунок підвищення швидкості поїздів та скорочує витрати на паливо та електроенергію. Крім того, рівень шуму на безстиковій колії знижується на 15 децибел, а комфорт їзди покращується.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

«Правила технічної експлуатації залізниць України» вимагають, що «усі елементи залізничної колії за станом мають забезпечувати безпечний і плавний рух поїздів із швидкостями, встановленими на даній ділянці».

У роботі [1] наданий аналіз сучасної нормативної бази з основних організаційно-технічних заходів з ремонтів залізничної колії на залізницях України. Де, зокрема, у якості основних критеріїв для призначення ремонту з оновлення верхньої будови колії (ВБК) розглядаються:

- пропущений тоннаж (строк служби у роках),
% від нормативного;

- поодинокий вихід (за період експлуатації ВБК) рейок за дефектами (для безстикової колії – кількість дефектних місць в межах рейкової пліти) – m_p , шт/км.

Визначення мети та завдання дослідження.

На залізницях України основною конструкцією ВБК є безстикова колія, що експлуатується майже на 75% розгорнутої довжини головної колії. При цьому переважає конструкція безстикової колії з такими характеристиками: рейкові пліти зварені з термозміцнених рейок типу Р65, залізобетонні шпали епюрою 1840 шт/км, проміжне скріплення типу КБ, щебеневий баласт.

Оновлення ВБК на ділянці залізниці здійснюється під час виконання капітальних ремонтів колії із використанням нових чи старопридатних матеріалів ВБК. У якості ведучої роботи при цих ремонтах розглядається повна заміна рейко-шпальної решітки, що виробила свій ресурс.

Основною метою та завданням виступає визначенні надійності конструкції рейко-шпальної решітки безстикової колії при напрацьованні тоннажу.

Нижче наводяться результати досліджень з визначення чисельних значень показника m_p , які ґрунтуються на оцінці надійності рейко-шпальної решітки в процесі експлуатації.

Основна частина дослідження.

Для оцінки надійності рейко-шпальної решітки (РШР) використовується ймовірність безвідмовної роботи конструкції $P_{РШР}(t_i)$, значення якої у конкретний момент часу t_i (після напрацювання певного тоннажу T_i , млн. т бруто) визначається за формулою:

$$P_{РШР}(t_i) = P_p(t_i) P_{шп}(t_i) P_{скр}(t_i), \quad (1)$$

ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

де $P_p(t_i)$, $P_{шп}(t_i)$, $P_{скр}(t_i)$ – ймовірність безвідмовної роботи (на момент часу t_i) відповідно рейок, шпал та проміжних скріплень.

На практиці для оцінки надійності j -го елемента у деяких випадках доцільно застосовувати таку характеристику як ймовірність появи його відмови $F_j(t_i)$:

$$F_j(t_i) = 1 - P_j(t_i), \quad (2)$$

де j – елемент РШР (рейки, шпали, проміжне скріплення).

Оцінка надійності рейкових плітей безстикової колії в процесі експлуатації передбачає умовний їх поділ на відрізки довжиною 12,5 м. Рейки зрівнювальних прольотів з розгляду виключаються.

У роботі [2] наведена залежність показника m_p (штук/км) від напрацьованого тоннажу T , млн. т бруто (для ділянок з середнім зваженим осьовим навантаженням 155 кН та швидкістю руху поїздів 100 км/година):

$$m_p = 0,56 \cdot 10^{-8} T^3. \quad (3)$$

Ймовірність появи відмов рейок в процесі експлуатації визначається за формулою:

$$F_p(t_i) = m_p(t_i) / N_p, \quad (4)$$

де N_p – кількість умовних рейок довжиною 12,5 м на 1 км колії.

У даному випадку цей показник становить:

$$F_p(t_i) = 0,35 \cdot 10^{-10} T^3. \quad (5)$$

Дослідженнями [3] (для сучасних умов експлуатації колії) встановлено допустимий (з умови економічно-раціональної роботи рейок) рівень сумарного поодинокого виходу рейок у дефектні $[m_p]$ для ділянок з відповідною вантажонапруженістю Γ :
 $\Gamma=30$ млн. ткм бруто/км за рік - $[m_p]=8$ штук/км;
 $\Gamma=50$ млн. ткм бруто/км за рік - $[m_p]=6,5$ штук/км;
 $\Gamma=80$ млн. ткм бруто/км за рік - $[m_p]=5,6$ штук/км;

Таблиця 1

Залежність елементів РШР від пропущеного тоннажу протягом «життєвого» циклу ВБК

T, млн. т	100	200	300	400	500	600	700	800
$P_p(t_i)$	0,99996	0,99972	0,99905	0,99776	0,99562	0,99244	0,98700	0,98208
$P_{шп}(t_i)$	0,99999	0,99997	0,99993	0,99987	0,99980	0,99972	0,99961	0,99949
$P_{скр}(t_i)$	0,9972	0,9774	0,9236	0,8189	0,9236	0,8189	0,9236	0,8189
$P_{РШР}(t_i)$	0,9972	0,9771	0,9227	0,8170	0,9194	0,8125	0,9112	0,8038

Аналіз результатів таблиці 1 дозволяє відмітити, що ймовірність безвідмовної роботи РШР в процесі її експлуатації (при напрацьованні тоннажу) змінюється від 1,0 до 0,8 (при умові, що протягом «життєвого» циклу ВБК на ділянці виконуються своєчасно роботи по заміні непридатних шпал та елементів скріплень).

У таблиці 2 наведені чисельні значення основних критеріїв щодо призначення ремонту з

Обробка цих даних дозволила визначити відповідну залежність $[m_p]=f(\Gamma)$, яка описується рівнянням:

$$[m_p]=0,0009 \Gamma^2 - 0,147\Gamma + 11,6 \quad (6)$$

Таким чином, величина m_p може знаходитися в межах 3÷11 шт/км залежно від параметра Γ , тобто від категорії колії.

Залежність сумарного виходу залізобетонних шпал за дефектами $m_{шп}$ (штук/км) в процесі експлуатації безстикової колії (з рейковими плітками довжиною 650м) відповідає наступній математичній моделі [2]:

$$m_{шп} = 0,146 \cdot 10^{-5} T^2. \quad (7)$$

Ймовірність появи відмов шпал (для даної конструкції РШР) при напрацьованні тоннажу відповідає математичній моделі

$$F_{шп}(t_i) = 7,93 \cdot 10^{-10} T^2. \quad (8)$$

У роботі [4] визначені такі математичні моделі для оцінки:

ймовірності появи відмов проміжного скріплення типу КБ (епюра шпал 1840 шт/км) при напрацьованні тоннажу

$$F_{КБ}(t_i) = 28,3 \cdot 10^{-10} T^3, \quad (9)$$

сумарного виходу за дефектами вузлів проміжного скріплення типу КБ в процесі експлуатації

$$m_{КБ} = 10,4 \cdot 10^{-6} T^3. \quad (10)$$

У таблиці 1 наведені значення показників $P_p(t_i)$, $P_{шп}(t_i)$ та $P_{скр}(t_i)$ залежно від T для випадку, коли на ділянці (1км колії) протягом «життєвого» циклу ВБК виконуються роботи по заміні непридатних шпал та елементів скріплень.

оновлення верхньої будови безстикової колії, які встановлені на основі аналізу зміни надійності РШР при напрацьованні тоннажу.

Таблиця 2

Основні критерії призначення ремонту з оновлення верхньої будови безстикової колії

Категорія колії	Основні критерії		Вид ремонту
	Пропущений тоннаж (строк служби у роках), % від нормативного (не менше)	Поодинокий вихід рейок (кількість дефектних місць) у сумі з моменту укладання у колію (в середньому на ділянці), штук/км	
I – III	100	3 та більше	Капітальний ремонт колії
IV	100	4 та більше	
V – VI	100	8 та більше	Капітальний ремонт колії із використанням старопридатних матеріалів ВБК.
VII	100	10 та більше	

Примітки до таблиці 2: Нормативний тоннаж (нормативний строк служби рейок) встановлюється згідно [5].

Висновки.

У статті запропоновані чисельні значення основних критеріїв щодо призначення ремонту з оновлення верхньої будови безстыкової колії, які встановлені на основі аналізу зміни надійності рейкошпальної решітки в процесі експлуатації.

Імовірність безвідмовної роботи рейкошпальної решітки в процесі експлуатації (при напрацюванні тоннажу) змінюється від 1,0 до 0,8 за умови, що протягом «життєвого» циклу ВБК на ділянці виконуються своєчасно роботи по заміні непридатних шпал та елементів скріплення).

Список використаних джерел

1. Штомпель А.М., Малішевська А.С., Муригіна Н.О. Нормативна база для призначення ремонтів колії на залізницях України *Sworld 2* (2019) 25-30. DOI: 10.30888/2663-5720.2019-02-01-002.

2. Штомпель А.М., Носенко Б.В., Стомін Т.Ю. Обсяги залізничних перевезень та вихід у дефектні елементів верхньої будови безстыкової колії *Науковий погляд в майбутнє* 2(2)(1) (2016) 72-75.

3. Баль О.М. Підвищення ефективності ведення рейкового господарства за показниками надійності. Автореф. Дис... к.т.н. ДНУЗТ, Дніпропетровськ (2008) 25 с.

4. Штомпель А.М. Вплив поїзного навантаження на змінення рівня надійності верхньої будови безстыкової колії *Sworld* 48(1) (2017) 73-77.

5. ДБН В.2.3. – 19:2025 Залізничі колії 1520 мм Норми проектування. Київ (2025) 123с.

References

1. **Shtompel, A. M., Malishevskaya, A. S., & Murygina, N. O. (2019).** Normativna baza dlia pryznachennia remontiv kolii na zaliznytsiakh

Ukrainy [Normative base for scheduling track repairs on the railways of Ukraine]. *Sworld*, (2), 25-30. <https://doi.org/10.30888/2663-5720.2019-02-01-002> [in Ukrainian].

2. **Shtompel, A. M., Nosenko, B. V., & Stomin, T. Yu. (2016).** Obsiahy zaliznychnykh perevezen ta vykhid u defektni elementiv verkhnoi budovy bezstykovoi kolii [Volumes of railway transportation and failure of track superstructure elements of continuous welded track]. *Naukovyi pohliad v maibutnie*, 2(2(1)), 72-75 [in Ukrainian].

3. **Bal, O. M. (2008).** Pidvyshchennia efektyvnosti vedennia reikovooho hospodarstva za pokaznykamy nadiinosti [Improving the efficiency of rail management based on reliability indicators] [Unpublished doctoral dissertation abstract]. DNUZT [in Ukrainian].

4. **Shtompel, A. M. (2017).** Vplyv poiznoho navantazhennia na zminennia rivnia nadiinosti verkhnoi budovy bezstykovoi kolii [The impact of train load on the change in the reliability level of the continuous welded track superstructure]. *Sworld*, 48(1), 73-77 [in Ukrainian].

5. **DBN V.2.3 – 19:2025. Zaliznytsi kolii 1520 mm. Normy proiektuvannia [SBN V.2.3 – 19:2025. Railways of 1520 mm gauge. Design standards]. (2025).** [in Ukrainian].

Муригіна Надія Олександрівна, PhD (Tech.), старший викладач, кафедри залізничної колії і транспортних споруд, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0001-8843-285X. E-mail: murygina@kart.edu.ua

Малішевська Аліна Сергіївна, к.т.н., доцент кафедри залізничної колії і транспортних споруд, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0002-4780-7691. E-mail: kttolik@gmail.com

Бугаєць Наталя Володимирівна, к.т.н., доцент кафедри залізничної колії і транспортних споруд, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID ID: 0000-0002-8322-6501. E-mail: bugaetsn@kart.edu.ua

Тертичний Віталій Вікторович, аспірант кафедри залізничної колії і транспортних споруд Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD 0009-0002-9025-6546. E-mail: ppx_xiit@kart.edu.ua

THE MAIN CRITERIA FOR THE APPOINTMENT OF REPAIR TO UPDATE THE UPPER STRUCTURE OF THE CONTINUOUS WELDED TRACK

PhD (Tech) Murygina N.O., PhD (Tech) Malishevskaya A.S., PhD (Tech) Bugaets N.V.

Abstract. Continuous welded rail is one of the most advanced track designs in the world. It is the primary type of track construction used on main lines in Europe, North America, China, the CIS and other regions. The use of this track design enables high speeds and the ability to withstand high axle loads. Compared to jointed track, it reduces the volume of trackwork required. Fewer metal-intensive rail fastenings are needed for its installation. It has a minimum number of joints, which are the weakest and most stressed points, as well as the primary location for the accumulation of residual deformations. Continuous welded track helps reduce specific rolling resistance, leads to reduced wheel wear, increases capacity by raising train speeds, and cuts fuel and electricity costs. Furthermore, noise levels on continuous welded track are reduced by up to 15 decibels, and ride comfort is improved.

During operation, various deviations from track maintenance standards accumulate in the track, which may subsequently lead to track failures.

To ensure the safety of train operations, it is essential to minimise the risk of sudden failures resulting from a loss of stability. An important approach to addressing this issue is monitoring the condition of the track, assessing the stability margin for the current actual condition by analysing the factors affecting the normal operation of continuous welded track. The terminology and definitions of key reliability concepts for use in science and engineering are established by current standards.

Reliability is the property of the track superstructure to perform specified functions (allowing trains to pass) whilst maintaining performance indicators within specified limits over the required time intervals or operating hours in million gross tonnes.

The article proposes numerical values for the main criteria for determining the need for renewal of the superstructure of continuous-welded track, which are established on the basis of an analysis of changes in the reliability of the rail-sleeper grid during operation.

The main criteria considered are the tonnage passed (service life in years) and the isolated failure of rails due to defects during the track's operational period.

Mathematical models are proposed to determine: the probability of failure of rails, reinforced concrete sleepers and KB-type intermediate fastenings depending on the tonnage worked

Mathematical models are proposed to determine: the probability of failure of rails, reinforced concrete sleepers and KB-type intermediate fastenings as a function of accumulated tonnage.

Keywords: non-stick track, top track structure, track modernization, track overhaul, design criteria, sleeper rack, tonnage worked.

Murygina Nadiia, PhD (Tech). Senior lecturer of the Department "Railway tracks and transportation infrastructure", Ukrainian State University of Railway Transport in Kharkiv, Ukraine. ORCID iD: 0000-0001-8843-285X. E-mail: murygina@kart.edu.ua

Malishevskaya Alina, PhD (Tech), Associate Professor, Department "Railway tracks and transportation infrastructure", Ukrainian State University of Railway Transport in Kharkiv, Ukraine. ORCID iD: 0000-0002-4780-7691. E-mail: kttolik@gmail.com

Bugaets Natalia, PhD (Tech), Associate Professor, Department "Railway tracks and transportation infrastructure", Ukrainian State University of Railway Transport in Kharkiv, Ukraine. ORCID iD: 0000-0002-8322-6501. E-mail: bugaetsn@kart.edu.ua

Tertychnyi Vitalii, postgraduate student of railway track and transport facilities department, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD 0009-0002-9025-6546. E-mail: ppx_xiit@kart.edu.ua

Стаття надійшла 03.12.25

Стаття прийнята до друку після рецензування 02.02.26

Стаття опублікована (оприлюднена) 27.04.26

Стаття поширюється на умовах ліцензії Creative Commons Attribution License International CC-BY.