

УДК 625.143.3:620.179

**ЗАСОБИ РЕЙКОВОЇ ДЕФЕКТОСКОПІЇ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ ДІЛЯНОК
ВПРОВАДЖЕННЯ ШВИДКІСНОГО РУХУ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ**

Канд. техн. наук Д. О. Потапов, магістрант В. Т. Сторчай

**СРЕДСТВА РЕЛЬСОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ
УЧАСТКОВ ВНЕДРЕНИЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ
УКРАИНЫ**

Канд. техн. наук Д. А. Потапов, магистрант В. Т. Сторчай

**MEANS RAIL TESTING FOR IMPLEMENTATION PROMISING AREAS HIGH-SPEED
SERVICE ON UKRAINIAN RAILWAYS**

PhD, Associated Professor D. O. Potapov, mag. V. T. Storchay

Проведено огляд технічних характеристик сучасних засобів рейкової дефектоскопії. Показана доцільність їх використання на ділянках залізниць України, де планується перехід на швидкісний рух.

Ключові слова: рейки, дефекти рейок, рейкова дефектоскопія, швидкісний рух.

Проведен обзор технических характеристик современных средств рельсовой дефектоскопии. Показана целесообразность их применения на участках железных дорог Украины, где планируется переход на скоростное движение.

Ключевые слова: рельсы, дефекты рельсов, рельсовая дефектоскопия, скоростное движение.

Since rail is one of the basic sectors of Ukrainian economy among the many ways to improve the functioning of the national rail system occupies a special place the phased introduction of high-speed traffic.

The aim of the article is to examine modern rail flaw detection, their technical characteristics that ensure timely detection of defects rails railway track, taking into account the characteristics of the defect in the promising areas of implementation of high-speed traffic.

The current system of non-destructive testing at the required level to ensure traffic safety, but requires constant development and improvement, the study of foreign experience and attract qualified staff.

Modern means of rail flaw detection, which were reviewed in the article make it possible to ensure reliable and uninterrupted functioning of the promising areas of railway track, which is planned to introduce high-speed traffic on the railways of Ukraine with unconditional ensuring the required level of safety.

Keywords rails, rail defects, rail flaw detection, high-speed traffic.

Вступ. Залізничний транспорт являє собою одну із базових галузей національної економіки України. Серед багато численних способів підвищення ефективності функціонування вітчизняної залізничної транспортної системи особливе місце посідає поетапне впровадження швидкісного руху. У зв'язку з цим урядом України у різні роки було затверджено такі програми:

- Концепція впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів на залізницях України від 31.12.2004, №979;

- Комплексна програма оновлення рухомого складу України на 2006-2010 роки;

- Концепція державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 роки;

- Концепція комплексної програми розвитку залізничного транспорту України на 2007-2020 роки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. По мірі впровадження нового рухомого складу, перспективних конструкцій залізничної колії [11] та об'єктів транспортної інфраструктури, найбільш актуальними постають питання, що пов'язані із забезпеченням безпеки руху. Взаємодія рухомого складу та залізничної колії на ділянках швидкісного руху [10] має суттєві відмінності у порівнянні з іншими, що накладає відбиток на механізми появи та розвитку дефектів та пошкоджень в рейках. Тому в першу чергу існує проблема підбору засобів рейкової

дефектоскопії [7] саме для ділянок, де планується перехід на швидкісний рух. Розв'язання цієї проблеми тісно пов'язане із положеннями вищеперелічених програм.

Визначення мети та задачі досліджень. Метою статті є розгляд сучасних засобів рейкової дефектоскопії, їх технічних характеристик, які б забезпечували своєчасне і якісне виявлення дефектних та гостродефектних рейок в колії, з урахуванням особливостей дефектоутворення в рейках на перспективних ділянках швидкісного руху.

Основна частина. Рейкова дефектоскопія — одна з частин системи діагностики та моніторингу залізничної інфраструктури. Використання сучасних типів дефектоскопів, які дозволяють здійснювати реєстрацію результатів контролю рейок у комплексі із системою визначення місця знаходження за допомогою GPS, дало можливість суттєво знизити кількість випадків зламів рейок на вітчизняних залізницях протягом останніх років.

Наприклад, система неруйнівного контролю рейок на Південній залізниці відповідно до [7, 8] складається з комплексу засобів дефектоскопії, до якого входять мобільні засоби — вагони-дефектоскопи та знімні дефектоскопи. Загальна кількість рейкових дефектоскопів становить близько 170 одиниць, які обслуговують більш ніж 388 працівників. Протягом 2015 року вагонами-дефектоскопами було перевірено близько 61 тис. км

колії, знімними дефектоскопами перевірено 95 877 км колії, 92 493 стрілочних переводи та 321 003 зварних стики в плітях безстикової колії. У зазначений період було виявлено 620 небезпечних місць, наявність яких у колії могла б призвести до зламів рейок та більш небезпечних наслідків.

Із загальної кількості гостродефектних рейок, що виявлені з початку 2015 року, найбільшу частку становлять дефекти рейок 2-ї групи: дефекти коду 27 (гартувальні тріщини в загартованому шарі металу головки та злами через них) — 117 шт., дефекти коду 21 (поперечні тріщини в головці у вигляді світлих і темних плям і злами через них, унаслідок недостатньої контактної-втомлювальної міцності металу), їх кількість 61 шт. Другими за кількістю є дефекти 3-ї групи, а саме дефекти коду 30Г (горизонтальне розшарування головки через наявність неметалевих включень) — 61 шт. та дефекти коду 37 (горизонтальне

розшарування загартованого шару головки рейки) — 98 шт.

Основними засобами неруйнівного контролю рейок були й залишаються на сьогодні знімні дефектоскопи суцільного контролю. Загальна кількість дефектоскопів цього типу, які щоденно виконують контроль стану рейок, становить більш ніж 100 одиниць. Найсучасніші з тих, що використовуються на Південній залізниці, це дефектоскопи РДМ-22 та УДС2-73.

Двонитковий пересувний дефектоскоп РДМ-22 (рис. 1) призначений для виявлення дефектів рейок за Класифікацією [1] в обох нитках залізничної колії по всій довжині та перерізу рейок, за винятком пір'їв підшви, при суцільному контролі зі швидкістю руху до 4 км/год, а також для вибіркового ручного контролю зварних стиків, окремих перерізів і ділянок рейки, визначення координат виявлених дефектів та їх умовної протяжності [2,3].



Рис. 1. Загальний вигляд дефектоскопа РДМ-22

Дефектоскоп є переносною механізованою системою ультразвукового контролю рейок із використанням луна методу і дзеркально-тіньового методу при контактному способі введення ультразвукових коливань. У дефектоскопі передбачено безперервне документування (реєстрація) результатів контролю у вигляді дефектограм проконтрольованих ділянок,

які реєструються через 1 мм пройденого шляху.

Дефектоскопи серії УДС2-73 випускаються НВФ «УЛЬТРАКОН-СЕРВІС» (м. Київ) (рис. 2), на вітчизняних залізницях експлуатуються з 2004 року і постійно вдосконалюються. Першим вдосконаленням стало додавання до конструкції блоку резонаторів перетворювача з кутом введення ультразвукових коливань

70 градусів. Впровадження нових матеріалів дозволило підвищити зносостійкість п'єзоелектричних перетворювачів при контакті з рейкою. В 2013 році у приладі проведено повне оновлення

електронно-елементної бази і програмного забезпечення, що дозволило підвищити достовірність контролю і надійність системи в цілому.

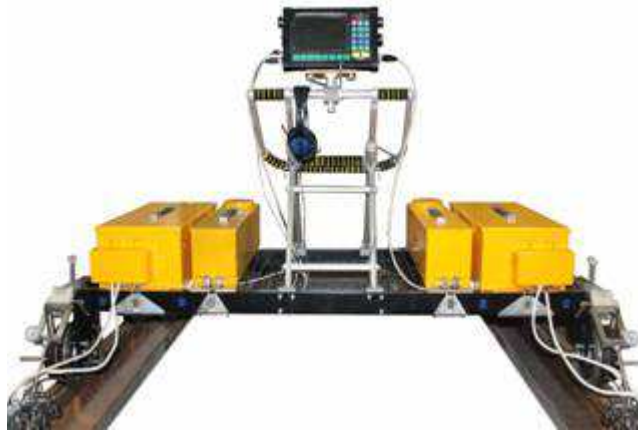


Рис. 2. Загальний вигляд дефектоскопа УДС2-73

Для забезпечення безпеки руху поїздів і вибору оптимальної періодичності дефектоскопного контролю рейок з метою своєчасного виявлення дефектів контактної

втомлювального походження необхідно знати швидкість росту тріщини T_β , на будь-якій ділянці, млн т брутто.

Значення T_β може бути визначене за формулою

$$T_\beta = (0,04 \cdot M - 0,06 \cdot V + 0,002 \cdot R - 0,0405 \cdot P_{oc} + 10,15), \quad (1)$$

де α – коефіцієнт, що враховує наявність термічної обробки рейок;

γ – коефіцієнт, що враховує величину інтервалу розвитку поперечної утомленої тріщини від F_1 до F_2 (у відсотках від поперечного перерізу головки рейки), рівний $\ln \frac{F_2}{F_1}$;

M – маса рейки, кг/м;

V – швидкість руху поїздів, км/год;

R – радіус кривої, м;

P_{oc} – статичне осьове навантаження вагонів, кН.

Для спрощення розрахунків можливе використання відповідних номограм періодичності перевірок рейок у добах (n)

від значень T_β для конкретних експлуатаційних умов (рис. 3).

Знаючи пропущений тоннаж T з моменту перекладання рейки до його вилучення після виявлення дефектоскопом тріщини, розкривають дефект, заміряють площу F_1 і F_2 по кутах α_1 і α_2 , розраховують коефіцієнт не менш ніж для трьох тріщин у рейках даної ділянки за формулою

$$\beta = \frac{1}{T} \ln \frac{F_2}{F_1}, \quad (2)$$

де F_1 – площа тріщини під кутом α_1 у момент перекладання;

F_2 – площа тріщини, що розвилася під кутом α_2 , виявленої дефектоскопом.

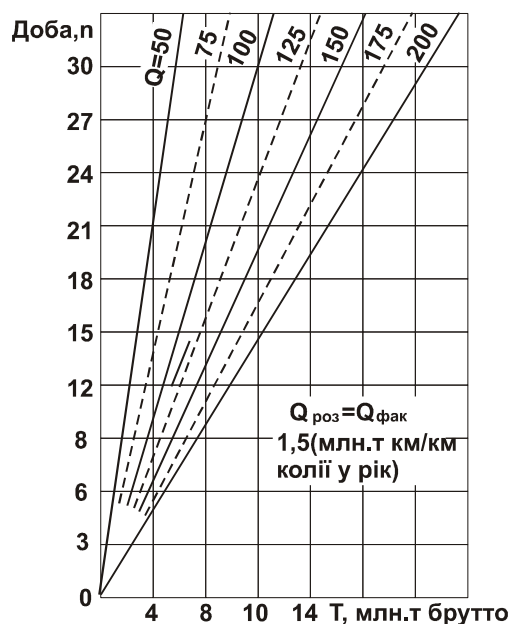


Рис. 3. Залежність періодичності перевірок відповідно до конкретних експлуатаційних умов

Інтервал між черговими перевірками дефектоскопом колії на даній ділянці в добі можна визначити з такого виразу:

$$n = \frac{1}{\beta_{\max}} \ln \frac{F_{\text{крит}}}{F_{\text{мін}}} \cdot \gamma_c, \quad (3)$$

де β_{\max} – найбільше значення коефіцієнта β , отримане не менш ніж для трьох тріщин;

$F_{\text{крит}}$ – відношення критичної площі тріщини до загальної площі перетину головки рейки, %;

$F_{\text{мін}}$ – мінімальна площа тріщини, яку здатний знайти даний тип дефектоскопа, відсоток від площі перетину головки;

γ – коефіцієнт, який характеризує, що для надійності виявлення тріщини за період її росту від $F_{\text{мін}}$ до $F_{\text{крит}}$ проведено не менш двох перевірок рейок дефектоскопами (γ як правило, приймають рівним 2,5-3);

t_c – розрахунковий тоннаж, що пропускається на даній ділянці за добу.

Однак, як було зазначено вище, впровадження швидкісного руху накладає більш жорсткі вимоги щодо забезпечення безпеки руху. Тому поряд з цими двома сучасними типами дефектоскопів слід зауважити про деякі перспективні технічні засоби [6], використання яких сприяє вирішенню поставленої задачі.

Дефектоскопна мобільна лабораторія (ЛДМ) (рис. 4) належить до спеціалізованого самохідного рухомого складу на комбінованому ході, призначена для автоматизованого безперервного контролю, діагностування та виявлення дефектів з використанням дефектоскопа «ЭХО-КОМПЛЕКС» без магнітного каналу [4].



Рис. 4. Мобільна дефектоскопна лабораторія ЛДМ

ЛДМ випускається компанією «ТВЕМА» (РФ) і змонтована на серійному переобладнаному на комбінований хід двовісному автомобілі підвищеної прохідності з переднім і заднім ведучими мостами УАЗ-3263–ПАТРИОТ (ЛДМ-1), а її модифікація – на позашляховику LAND ROVER-DEFENDER (ЛДМ-ЛР).

Крім того, модифікація ЛДМ-ЛР забезпечена пристроєм, що дозволяє за короткий час переводити систему комбінованого ходу з рейкової колії 1520 мм на загальноєвропейську 1435 мм і назад.

Лабораторія забезпечує безперервний контроль, діагностування та виявлення дефектів рейок із використанням

комп'ютерних систем обробки інформації зі швидкістю руху до 25 км/год. По ходу свого руху ЛДМ також уточнює параметри ділянки залізничної колії (координати кілометрових відміток, переїздів, мостів, стрілочних переводів та ін.), формує і передає інформацію про стан залізничної колії на сервери центрів діагностики залізниць для її подальшого використання в роботі (рис. 5).

Двонитковий ультразвуковий дефектоскоп УДС-РДМ-23 (рис. 6) дозволяє виявляти та діагностувати дефекти в рейках залізничної колії шириною від 990 до 1550 мм.



Рис. 5. Робоче місце оператора ЛДМ



Рис. 6. Загальний вигляд дефектоскопа УДС-РДМ-23

Кількість незалежних інформаційних каналів, які реалізуються при роботі з блоками п'єзоелектричних резонаторів у режимі суцільного контролю, для кожної з ниток залізничної колії – 14, із них вісім із реалізацією в каналі роздільної, а шість – суміщеної схеми випромінювання та приймання. Таким чином, використання при суцільному контролі рейок 28-канальної однієї з чотирьох програмно встановлюваних послідовно-паралельних схем розучування забезпечує ефективне виявлення різноорієнтованих дефектів за

один прохід ділянки контролю. Функціональні клавіші приладу дозволяють скоротити час налаштування дефектоскопа оператором для контролю та виключити можливі помилки в процесі роботи.

Ультразвуковий одонитковий рейковий дефектоскоп УДС2-РДМ-12 (рис. 7) призначений для виявлення, реєстрації сигналів від дефектів в рейках на ділянках колії, де перевірка одночасно по двох нитках ускладнена або небезпечна (тунелі, мости, пасажирські платформи); в рейках покілометрового запасу; в

старопридатних рейках на рейкозварювальних підприємствах; при вибірковому ручному контролі зварних стиків.



Рис. 7. Загальний вигляд дефектоскопа УДС2-РДМ-12

Портативний дефектоскоп АВИКОН-17 (рис. 8) зі спеціальним скануючим пристроєм, розроблений ВАТ «Радиоавионика» (РФ) у 2012 році на базі промислового комп'ютера Panasonic CF-19, дозволяє оцінювати реальний розмір

внутрішнього дефекту в головці рейок, і, що найголовніше, визначити динаміку розвитку дефектів при заданих умовах експлуатації.



Рис. 8. Загальний вигляд дефектоскопа АВИКОН-17

Принцип дії дефектоскопа полягає у переміщенні сканера по дефектній ділянці (на величину до 100 мм в обидва боки від дефекту) і подальшому скануванні вузьким ультразвуковим променем головки рейки з її бічних граней (по всій висоті головки від верхньої до нижньої викружки). Після завершення сканування на екрані дефектоскопа відображається переріз головки з внутрішнім дефектом у вигляді трьох проекцій (рис. 9).

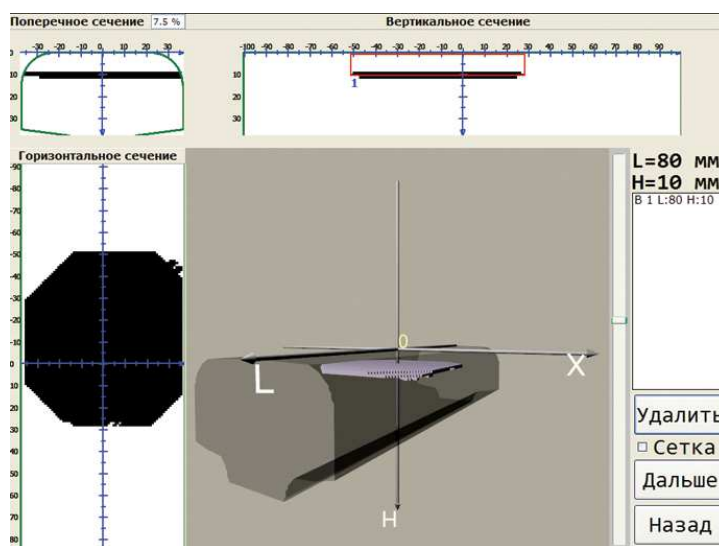


Рис. 9. Візуальне зображення дефекту за результатами роботи дефектоскопа АВИКОН-17

З 2009 року ЗАТ «Фирма ТВЕМА» (м. Москва) розпочала випуск суміщених вагонів-дефектоскопів серії ВД-УМТ1 (рис. 10) [4], які відрізняються від попередніх серій (ВД-1МТ, ВД-1МТ5К) використанням більш досконалих засобів і систем комплексного діагностування, можливістю реалізації швидкості контролю до 70 км/год, розширеним кліматичним діапазоном експлуатації, поліпшеною

ергономікою та комфортабельним приміщенням.

Як стверджують розробники [5], вперше в практиці неруйнівного контролю рейок і стрілочних переводів мобільними засобами діагностики на даному вагоні реалізовані чотири методи контролю: ультразвуковий, магнітно-динамічний, візуально-вимірювальний, оптичний.



Рис. 10. Вагон-дефектоскоп ВД-УМТ1

Вагон-дефектоскоп обладнано дефектоскопним візком із шарнірним вузлом для постійного контакту колісних пар із рейками, що забезпечує їх плавне кочення в кривих ділянках і стрілочних переводах. Дистанціювання ультразвукової лижі відносно головки рейки відбувається за допомогою безконтактної магнітної слідкувальної системи, не через механічний контакт із рейкою, а безконтактним магнітним методом.

До складу діагностичного комплексу вагона (рис. 11) входить сім систем: дефектоскоп «ЭХО-КОМПЛЕКС-2», реєструвальний комплекс і спеціалізоване керуюче програмне забезпечення «КРУЗ-2», безконтактна центральна система «БАРС», підсилена намагнічувальна система «МАРС», відеосистема візуального виявлення дефектів «СВОД-2»,

безконтактна система вимірювання додаткових параметрів геометрії рейок «СОКОЛ-2», система автоматизованої обробки результатів контролю «АСТРА».

Згідно з [9, 10] одним із перспективних засобів рейкової дефектоскопії для ділянок зі швидкісним рухом є ультразвуковий поїзд-дефектоскоп фірми Speno US 6-1 (рис. 12).

Спеціально розроблений високошвидкісний ультразвуковий візок, що встановлюється на вагон, дозволяє проводити контрольні заходи на швидкостях до 90 км/год. Безперервність контролю рейок та стрілочних переводів на високих швидкостях досягається за рахунок конструктивних особливостей контролюючого візка, який зроблено у вигляді нескінченної стрічки, що рухається між рейкою та детекторами.

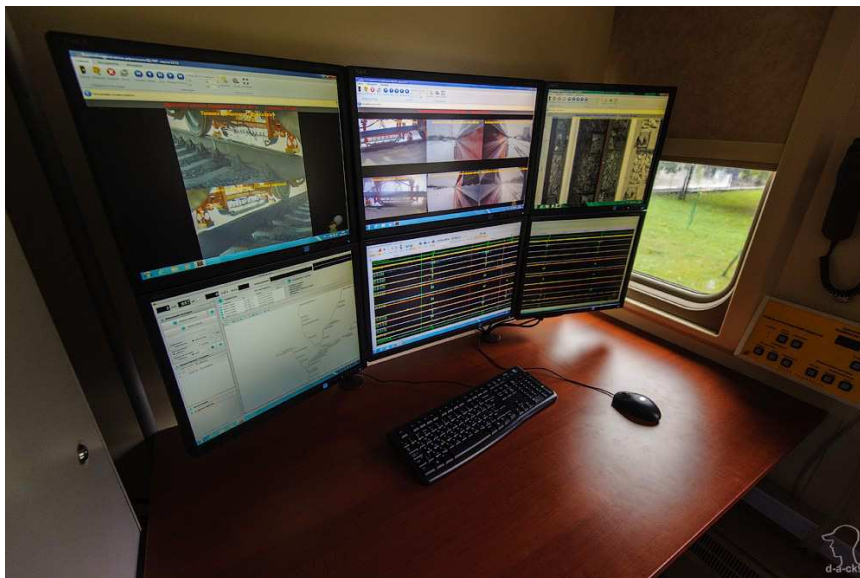


Рис. 11. Робоче місце оператора вагона-дефектоскопа ВД-УМТ1



Рис. 12. Поїзд-дефектоскоп Speno US 6-1

Висновки з дослідження. Існуюча система неруйнівного контролю відповідає необхідному рівню забезпечення безпеки руху поїздів, але потребує постійного розвитку і вдосконалення, вивчення зарубіжного досвіду та залучення кваліфікованих фахівців.

Сучасні технічні засоби рейкової дефектоскопії, що були розглянуті в статті,

дозволяють забезпечити надійне та безперебійне функціонування перспективних ділянок залізничної колії, де планується впровадження швидкісного руху на залізницях України при безумовному забезпеченні необхідного рівня безпеки руху.

Список використаних джерел

1. Класифікація та каталог дефектів і пошкоджень елементів стрілочних переводів України [Текст]: ЦП-0284; Класифікація та каталог дефектів та пошкоджень рейок залізниць України [Текст]: ЦП-0285.– К.: Видавництво ТОВ «Інпрес», 2013. – 196 с.
2. Дефектоскоп ультразвуковой УДС2-РДМ-22 [Текст]: Руководство по эксплуатации/ Редакция 2.25.3.2007. – Кишинев, 2007. – 112 с.
3. Дефектоскоп ультразвуковой УДС2-РДМ-22 [Текст]: Учебный альбом пользователя/ Редакция 2.25.3.2007. – Кишинев, 2007. – 68 с.
4. Сайт компанії «Фірма ТВЕМА»: www.twema.ru.
5. Тарабрин, В. Ф. Совмещенный вагон-дефектоскоп нового поколения ВД-УМТ-1 – средство повышения эффективности комплексной диагностики рельсового пути [Текст] / В. Ф. Тарабрин, О. Н. Кисляковский, С. В. Сараев // В мире неразрушающего контроля. – 2014. – №3 (65). – С. 74-80.
6. Карпов, М. І. Засоби неруйнівного контролю рейок [Текст]: навч. посібник / М. І. Карпов, Р. М. Йосифович. – К.: Видавництво ТОВ «Аванпост-Прим», 2015. – 174 с.
7. Положення при систему організації роботи, ремонту та обслуговування засобів дефектоскопії в колійному господарстві [Текст]: ЦП-0264. – К.: «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 88 с.
8. Положення про організацію роботи вагонів-дефектоскопів, автотрикс дефектоскопних та дефектоскопів на комбінованому ході [Текст]: ЦП-0263. – К.: «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 76 с.
9. Rezaie, F. Experimental and numerical studies of longitudinal crack control for rails [Text] / F. Rezaie, M. R. Shiri, S. M. Farnam // «Engineering Failure Analysis» № 26 (2012) 21-30.
10. Modern Railway Track [Електрон. ресурс] /editing D. Z. Nieuwenhuizen. – D.: TUDelft, 2001. - 654с. – Режим доступу:<http://www.esveld.com>.
11. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України [Текст]: ЦП-0285. – К.: Видавництво ТОВ «Девалта», 2015. – 48 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор О. М. Даренський

Потапов Дмитро Олександрович, канд. техн. наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-60.
E-mail. ppx-xiit@kart.edu.ua.
Сторчай Віталій Тимофійович, магістрант ІППК. Тел.: (067) 469-03-31.

Potapov Dmytro Oleksandrovych, PhD, Associated Professor of Track and Track Facilities Department Ukraine State of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-60.
Storchay Vitaliy Tymophiyovich Master of Training Institute. Tel.: (067) 469-03-31.

Стаття прийнята 15.06.2016 р.