

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.012.25-047.37:625.142

А. А. ПЛУГІН<sup>1\*</sup>, Д. А. ПЛУГІН<sup>2</sup>, С. В. МІРОШНІЧЕНКО<sup>3</sup>,  
О. А. КАЛІНІН<sup>4</sup>, О. П. КРИКУН<sup>5</sup>

<sup>1\*</sup> Кафедра «Залізнична колія і транспортні споруди», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейербаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 10 58, ел. пошта plugin\_aa@kart.edu.ua, ORCID 0000-0002-6941-2076

<sup>2</sup> Кафедра «Будівельні матеріали конструкції та споруди», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейербаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 771 46 91, ел. пошта plugin.da@kart.edu.ua, ORCID 0000-0002-4359-4369

<sup>3</sup> Кафедра «Будівельні матеріали конструкції та споруди», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейербаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (050) 692 53 89, ел. пошта Miroshnichenko@kart.edu.ua, ORCID 0000-0002-7328-5209

<sup>4</sup> Кафедра «Будівельні матеріали конструкції та споруди», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейербаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 10 68, ел. пошта kalinin@kart.edu.ua, ORCID 0000-0003-3063-5659

<sup>5</sup> Кафедра «Залізнична колія і транспортні споруди», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейербаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (095) 778 17 71, ел. пошта krikun@kart.edu.ua, ORCID 0000-0003-4731-179X

### ДОСЛІДЖЕННЯ БЕТОНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ, ЩО ЗАЗНАЛИ ПОШКОДЖЕНЬ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

**Мета.** На залізницях України на окремих ділянках спостерігається інтенсивний передчасний вихід шпал через утворення дефектів, який може вплинути на безпеку руху поїздів та завдає суттєвих матеріальних збитків через одиничну заміну значної кількості шпал. Мета дослідження – встановлення причин пошкодження залізобетонних шпал на характерній ділянці залізниці з їх інтенсивним передчасним виходом. **Методика.** Досліджено стан залізобетонних шпал типу СБ3 під безпідкладкові рейкові скріплення на 324-332 км парної колії дільниці Одноробівка-Букіне Південної залізниці, де з 2007 р. спостерігався їх інтенсивний вихід за дефектністю. **Результати.** Встановлено, що за 15 років експлуатації по мірі попуску 236,3 млн. т. через дефектність замінено близько 2,8 % шпал (44 шт. на 1 км колії). Характерними дефектами (пошкодженнями), через які шпали знімали з колії, були переважно 12.2 і 13.2 за класифікацією ЦП-0150 – тріщини та злам шпал, у т.ч. з роздрібненням бетону. Цим дефектам передувало утворення сітки тонких тріщин на видимих поверхнях шпал. Відібрано та досліджено 3 шпали з первинною міцністю бетону на стиск 68...77 МПа виробництва Коростенського заводу залізобетонних шпал і Гніванського заводу спецзалізобетону, зняті з колії через характерні дефекти. Із шпал відібрано керни, за якими визначено остаточну міцність бетону та проведено мікроскопічні дослідження, у т.ч. методом люмінесцентної дефектоскопії. Встановлено, що сітка тріщин у шпалах є просторовою, найбільш розвинутою під верхньою гранню, найменш розвинутою над нижньою гранню, і спричиняє зниження міцності бетону на стиск на 47...72 %. Відзначено, що руйнування бетону під час навантаження відбувалось за цими тріщинами. На внутрішніх поверхнях тріщин відзначені окремі зерна заповнювачів, які мають ознаки вмісту активного кремнезему, що разом з характером тріщин може свідчити, що причиною їх утворення є корозія бетону від взаємодії луг цементу з реакційно здатними заповнювачами. На поверхнях тріщин в нижній частині шпал виявлено продукти вилугування, очевидно, електроміграційного, що може свідчити про сприяння корозійним процесам струмів витоку на електрифікованих постійним струмом коліях. **Наукова новизна.** Отже, основною причиною дефектів, за якими замінялись шпали, була корозія бетону від взаємодії луг цементу з реакційно здатними заповнювачами, якій сприяли вплив струмів витоку, а також невелика епюра шпал і застосування безпідкладкових анкерних проміжних рейкових скріплень. **Практична значимість.** Результати дослідження дозволяють встановити причини утворення тріщин та інших пошкоджень у залізобетонних шпалах під час експлуатації та, у свою чергу, зменшити втрати підприємств-виробників скріплень та шпал від браку та рекламаций, оптимізувати сукупні витрати на ремонтно-колійні роботи та подальше утримання колії за рахунок раціонального призначення конструкції колії, зменшення пошкоджуваності та заміни шпал під час експлуатації колії.

**Ключові слова:** залізобетонна шпала; бетон; дефект; тріщина; корозія; реакційно здатний заповнювач; струм витоку

## Вступ

На залізницях України експлуатується переважно безстикова колія на залізобетонних шпалах. По мірі напрацювання тоннажу під час планових капітальних робіт здійснюють суцільну заміну шпал. Більшість знятих старопридатних шпал знов укладають в колію на ділянках нижчих категорій. Під час експлуатації окремі шпали зазнають пошкоджень (дефектів) і також можуть замінюватись у встановленому порядку.

Періодично на окремих ділянках спостерігається інтенсивний передчасний вихід шпал через утворення дефектів, який може вплинути на безпеку руху поїздів та завдає суттєвих матеріальних збитків через одиничну заміну значної кількості шпал. Виконані раніше дослідження показали, що однозначної причини пошкодження шпал не існує – вони утворюються внаслідок сполучення багатьох факторів. Тому встановлення причин пошкодження залізобетонних шпал на різних ділянках залізниць з їх інтенсивним передчасним виходом і накопичення даних про такі ділянки для подальшого аналізу є актуальним завданням, розв'язання якого сприятиме підвищенню безпеки руху поїздів і зниженню витрат на експлуатацію.

## Аналіз останніх досліджень і публікацій

Залізобетонні шпали почали масово укладати на залізницях колишнього СРСР, у т.ч. України, з 1960-х рр. З того часу і дотепер шпали виготовляють під навантаження на вісь від рухомого складу 232 кН (25 тс) із бетону класу С32/40 (раніше марки М500, класу В40) попередньо напруженими з арматурою із високоміцного дроту 44Ø3 мм із вуглецевої сталі. Прикріплення рейок до шпал здійснювалось переважно підкладковими проміжними рейковими скріпленнями, основним з яких стало роздільне клемно-болтове скріплення типу КБ. Майже з початку експлуатації залізобетонних шпал в них почали відзначати пошкодження (дефекти), які в основному пов'язували з механічним зносом і намагались запобігати раціоналізацією перерізів і армування (Золотарский, Евдокимов, Исаев, Крысанов, Серебренников, & Федулов, 1980), технології виготовлення (Мчедлов-Петросян, (Ред.) 1971). Дефекти були систематизовані, класифіковані (Золотарский, Евдоки-

мов, Исаев, Крысанов, Серебренников, & Федулов, 1980), проте відомостей про те, що до 1990-х рр. вони мали масовий характер, немає.

Зростання пошкоджуваності шпал на залізницях України почало відзначатись з 1990-х рр. одночасно з глибокими перетвореннями системи господарювання, наслідками яких були зміна системи постачання матеріалами заводів-виробників шпал, пошук і впровадження нових конструкцій рейкових скріплень тощо (Плугін, А. М., Плугін, А. А., Тулей, Мірошніченко-Калінін, & Лютий, 2014). В роботі (Плугін, А. Н., Плугін, А. А., Плугін, Ал. А., & Дудин, 2009) відзначено роль електрокорозійних процесів у пошкодженні шпал і запропоновано як захисний захід встановити вимоги до електричного опору шпал і бетону. У роботі (Плугін, А. А., Плугін, А. М., Плугін, Д. А., Борзяк, Скорик, & Конев, 2011) показано, що в залізничних тунелях, особливо електрифікованих, верхня будова колії, у т.ч. залізобетонні шпали, зазнають надто швидкого корозійного зносу.

Авторами робіт (Коваленко, Заяць, Пшінько, 2015; Пшінько, 2012) відмічалось збільшення пошкоджуваності шпал внутрішньою корозією від взаємодії реакційно здатних заповнювачів з вільними лугами цементів, яка призводить до утворення в бетоні сітки тріщин. Аналогічні масові корозійні пошкодження шпал спостерігались і на залізницях Німеччини (Stark, 2008; Stark, & Wicht, 1995), Російській федерації (Петрова, & Сорвачова, 2012). В роботах (Смирнова, 2014; Smirnova, 2017) відзначено більший, ніж вважалось раніше, вплив на пошкоджуваність шпал поперемінного заморожування-танення і запропоновані заходи з підвищення морозостійкості бетону добавками і коригуванням тепловологісної обробки. В роботах (Плугін, Мірошніченко, Калінін, Ляху, & Ганжела, 2020) встановлено вплив типу рейкових скріплень – підкладкових та безпідкладкових, анкерних і клемно-болтових, а також класу бетону на утворення тріщин у шпалах.

Викладене дозволяє констатувати, що однозначної причини пошкодження шпал не існує – дефекти утворюються внаслідок сполучення декількох різних факторів, залежного від конкретних конструктивно-технологічних особливостей, умов виробництва, укладання та експлуатації шпал.

### Мета

Мета дослідження – встановлення причин пошкодження залізобетонних шпал на характерній ділянці залізниці з їх інтенсивним передчасним виходом. Завдання досліджень: 1) вибір та обстеження характерної ділянки залізниці з інтенсивним передчасним виходом шпал; 2) відбір зразків шпал з найбільш характерними пошкодженнями; 3) лабораторні дослідження шпал з фізико-механічними випробуваннями та мікроскопічними дослідженнями бетону.

### Методика

Для досліджень обрано 324-332 км парної колії дільниці Одноробівка – Букіне Південної залізниці, де з 2007 р. спостерігався інтенсивний вихід шпал за дефектністю. Колія безстикова з рейками Р65 на шпалах типу СБЗ під безпідкладковий рейковий скріплення, укладена в 2006 р. Шпали виготовлені Коростенським заводом залізобетонних шпал і Гніванським заводом спецзалізобетону. За станом на кінець 2020 р. напрацювання тоннажу на ділянці склали 236,3 млн. т. Вантажонапруженість у 2020 р. складала 5,5, у 2019 – 9,2, у 2018 – 10,6, у 2017 – 13,3 млн. т на рік.

Незважаючи на помірні величини напрацювання та вантажнапруженості у 2007-2019 рр. на цій ділянці через дефектність було здійснено одиничну заміну близько 2,76 % шпал, у т.ч. у 2010-2012 рр. 1,22 %, у 2016-2019 рр. – 1,08 % (табл. 1). На окремих кілометрах, зокрема, 331, кількість замінених шпал досягала за 2010-2012 рр. 3,19 %, за 2016-2019 рр. – 1,38 %.

Таблиця 1

#### Кількість шпал на 324–332 км парної колії дільниці Одноробівка – Букіне Південної залізниці, замінених через дефектність у 2007-2019 рр.

| Кількість шпал, замінених через дефектність | Один. вимір. | Період, рр. |           |           |
|---|--------------|-------------|-----------|-----------|
|   |              | 2010-2012   | 2016-2019 | 2007-2019 |
| В середньому на 324-332 км                  | %            | 1,22        | 1,08      | 2,76      |
|   | шт/км        | 20          | 17        | 44        |
| Максимальна, на 331 км                      | %            | 3,19        | 1,38      |           |
|   | шт/км        | 51          | 22        |           |

Факторами, характерними для ділянки, які могли сприяти прискореному виникненню і

розвитку пошкоджень, є: 1) невелика епюра шпал 1600 шт/км, що обумовлює підвищені напруження в шпалах і баласті; 2) застосування безпідкладкових анкерних проміжних рейкових скріплень, які спричиняють підвищені напруження в бетоні; 3) електрифікація ділянки постійним струмом 3 кВ, яка спричиняє струми витоку через шпали.

### Результати

В результаті обстеження встановлено, що найбільш розповсюдженими дефектами шпал є: поперечні тріщини посередині шпали (12.1 за класифікацією ЦП-0150 (2006)); сітка тріщин (12.16 за доробленою авторами класифікацією ЦП-0150 (2006)); стирання кінців шпали від отрушення (12.1в); поперечні тріщини та злам шпали біля анкерів (13.1/13.2); подовжні тріщини в середині шпали (21.1а); подовжні тріщини та відколи на кінцях шпал (22.1/22.2). З цих дефектів 12.16 може сприяти утворенню всіх інших дефектів та навіть розвинути у повне руйнування бетону шпали зі втратою нею несучої здатності. Дефекти 13.1 і 22.1 швидко розвиваються у 13.2, 22.2, які є небезпечними, що обумовлюють втрату шпалами несучої здатності та вимагають їх заміни. Дефекти 12.1 і 21.1а також можуть розвинути до небезпечного стану аж до повного руйнування бетону шпали. Дефект 12.1 в свідчить про осідання або несвоєчасне підбивання баласту під підрейковими площадками та сприяє утворенню переважно дефекту 12.1.

Для експериментальних досліджень в лабораторних умовах із шпал, знятих з колії через характерні дефекти, відібрали три шпали, виготовлені Коростенським ЗЗБШ та Гніванським ЗСЗБ. У складі їх експериментальних досліджень передбачили: візуальне вивчення наявних дефектів шпал; визначення міцності бетону неруйнівним методом; відбір із шпал кернів; люмінесцентну дефектоскопію поверхонь кернів з вивченням системи тріщин; виготовлення із кернів зразків-циліндрів; визначення міцності бетону на стиск випробуванням зразків-циліндрів; вивчення поверхонь відколів після руйнування зразків-циліндрів з визначенням характеру руйнування.

Опис та зовнішній вигляд шпал та їх дефектів наведено у табл. 2 і на рис. 1. Міцність бетону на стиск, визначена неруйнівним методом, складала для шпал Коростенського ЗЗБШ 47 і 67

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

МПа, для шпал Гніванського ЗСЗБ – 72 МПа (табл. 2).

Таблиця 2

## Характеристики шпал і зразків із них, відібраних для досліджень

| № шпал | Завод-виробник, рік виготовлення | Пошкодження (дефекти) шпал за доробленою авторами класифікацією ЦП-0150 (2006)  | Міцність бетону на стиск $f$ , МПа, визначена |                                       | Зниження міцності від впливу сітки тріщин $\frac{(f_{\text{нмк}} - f_{\text{взр}}) \times 100}{f_{\text{нмк}}}$ % |
|--------|----------------------------------|---|---|---------------------------------------|---|
|        |                                  |   | неруйнівним методом $f_{\text{нм}}$           | випробуванням зразків $f_{\text{вз}}$ |   |
| 1      | КорЗЗБШ 2006                     | Сітка тріщин на кінцях та посередині шпал (12.1б); подовжня тріщина в середині шпал (21.1а); мікротріщини біля двох анкерів (13.1) – одного зовнішнього, другого внутрішнього з різних кінців шпал      | 67,5  | 36,1                                  | 47  |
| 2      | ГнЗСЗБ 2006                      | Сітка тріщин посередині шпал (12.1б); поперечні тріщини посередині шпал (12.1); мікротріщини біля трьох анкерів (13.1) – двох зовнішніх, одного внутрішнього; стирання кінців шпал від отрушення (12.в) | 71,6  | 19,8                                  | 72  |
| 3      | КорЗЗБШ 2006                     | Сітка тріщин на кінцях та посередині шпал (12.1б); подовжня тріщина посередині шпал (21.1а); тріщина біля зовнішнього анкера (13.1); з іншого боку шпал підрейкова площадка зруйнована (13.2, 22.2)     | 77,1  | 25,2                                  | 67  |

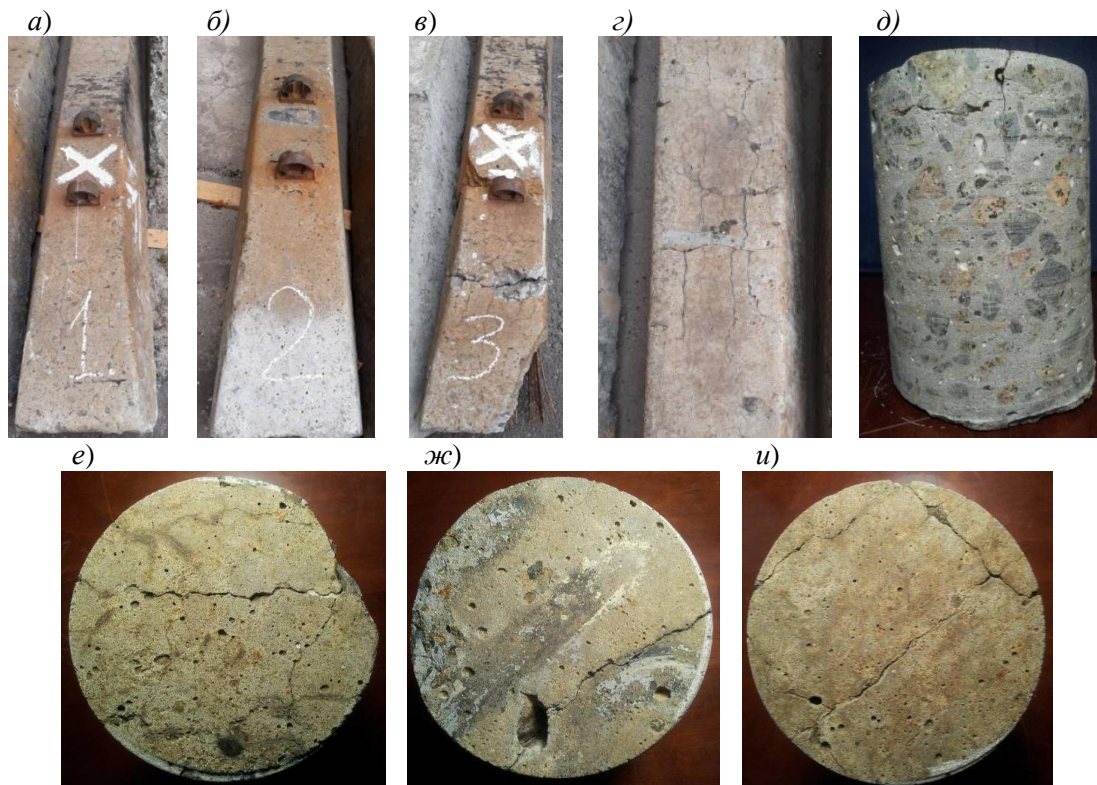


Рис. 1. Шпали № 1 (а), № 2 (б), №3 (в), середня частина шпалі № 1 (е), керна із шпалі № 2 (д), поперечні грані керна із шпалі № 1 (е), № 2 (ж), № 3 (и)

Керни відбирали із середньої частини шпал, на поверхні якої спостерігалась сітка тріщин, кільцевим свердлом  $\varnothing 110$  мм за допомогою свердлильного станка Yato YT-81980. Під час вибурювання керна із шпали № 3 відбувалось виривання із шпали розтискного анкера, який фіксує станок на шпалі, з роздрібненням бетону на глибину 40–50 мм на окремі блоки за сіткою тріщин. Це свідчить про те, що бетон, незважаючи на високу міцність на стиск, визначену неруйнівним методом, має низьку міцність на розтяг.

Поверхні кернів дослідили методом люмінесцентної дефектоскопії. Порядок проведення люмінесцентної дефектоскопії: насичення випробуваного зразка водою протягом однієї години; видалення надлишку води; нанесення тампоном люмінесцентної пасти – розчиненого у вазеліновій олії органічного люмінофору жовто-зеленого світіння і витримка протягом 30...50 с; видалення надлишків пасти шматочком пінопласту під струменем води; видалення надлишку води фільтрувальним папером; вивчення поверхні матеріалу під ультрафіолетовим випромінюванням. Всі пори й тріщини, заповнені люмінесцентною пастою, під ультрафіолетовим випромінюванням світяться на темному фоні яскравим жовто-зеленим світлом (рис. 2). Ділянки структури зі скупченнями дуже дрібних пор світяться тьмяніше.

В результаті люмінесцентної дефектоскопії встановлено, що цементний розчин всіх досліджених зразків характеризується щільною структурою і незначною пористістю, сформованою залученням під час приготування та укладання бетонної суміші повітрям. Усі зразки містять в собі фрагменти арматурного дроту, при цьому відзначено щільний контакт між цементним каменем і дротом.

У зразку 1 виявлено локальні, переважно вертикальні, тріщини в розчинній частині і по контактній зоні із заповнювачем. На верхній грані шпали – сітка тріщин із відколами бетону, на нижній – сітка дрібних тріщин, продукти вилуговування цементного каменю візуально не спостерігаються.

У зразках 2 і 3 виявлено сітку тріщин із розвитком від верхньої грані шпали, розташованих як в поперечному, так і в повздовжньому відносно вісі шпали напрямку, в т.ч. такі, що проходять вдовж між пучками арматурного дроту. На

нижній грані зразка № 2 кількість тріщин незначна, на нижній грані зразка № 3 – сітка дрібних тріщин зі слідами продуктів вилуговування цементного каменю.

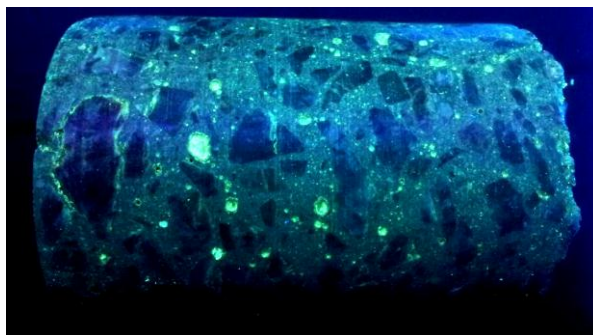


Рис. 2. Керн із шпали № 3 під ультрафіолетовим випромінюванням

Міцність бетону на стиск визначали випробуванням зразків-циліндрів згідно з ДСТУ Б В.2.7-223. Міцність бетону розраховували за формулою:

$$f_{вз} = f_{зр} \times \alpha \times \eta_1,$$

де  $f_{зр}$  – міцність зразка, отримана діленням руйнівної сили на площу поперечного перерізу;  $\alpha$  – масштабний коефіцієнт, для циліндрів діаметром понад 90 мм рівний 1;  $\eta_1$  – коефіцієнт, що враховує співвідношення між висотою зразка і його діаметром  $h/d$ , визначений згідно з ДСТУ Б В.2.7-223, 0,89–0,92.

Зразки циліндри діаметром 103 мм висотою 132...140 мм виготовляли з кернів за допомогою каменерізного верстату. Під час випробування руйнування зразків відбувалось за тріщинами в бетоні. Результати випробувань наведені в табл. 2. Порівняння величин міцності бетону на стиск, отриманих випробуванням зразків  $f_{вз}$ , з величинами міцності на стиск, отриманих неруйнівним методом  $f_{нм}$ , показує, що величини  $f_{вз}$  значно менші, ніж  $f_{нм}$ . Якщо припустити, що  $f_{нм}$  характеризує первинну міцність бетону, а  $f_{вз}$  – міцність, знижену від впливу сітки тріщин, величина цього зниження  $(f_{нм} - f_{вз})/f_{нм}$ , буде характеризувати цей вплив. Як видно із табл. 2, внаслідок утворення сітки тріщин міцність бетону на стиск знижується на 47...72 %.

Випробувані на стиск зразки-циліндри (рис. 4) вивчали за допомогою світлового мікроскопу МБ-2 зі збільшенням від  $\times 12,5$  до  $\times 50$ . Як видно із рис. 3, внаслідок навантаження



## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

стиском зразки зруйнувалися за просторовою сіткою тріщин. Мікроснімки поверхонь відколів бетону, що утворились по сітці тріщин вна-

слідок руйнування зразків, отже з внутрішніх поверхонь тріщин, а також фрагментів арматурного дроту, наведені на рис. 4-5.

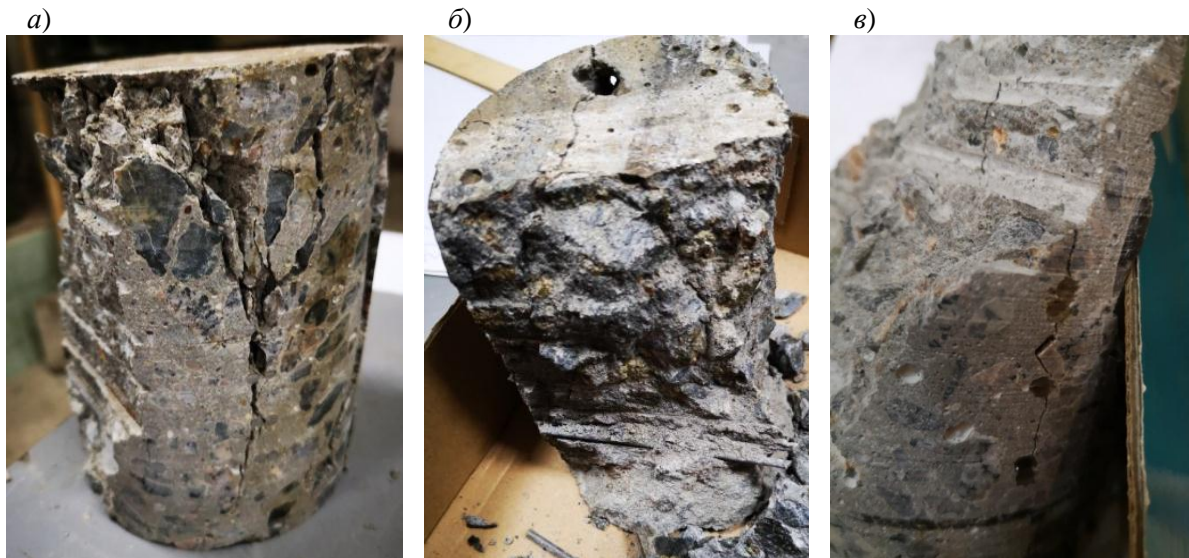


Рис. 3. Зразки-циліндри після руйнування: а – № 1; б – № 2; в – № 3

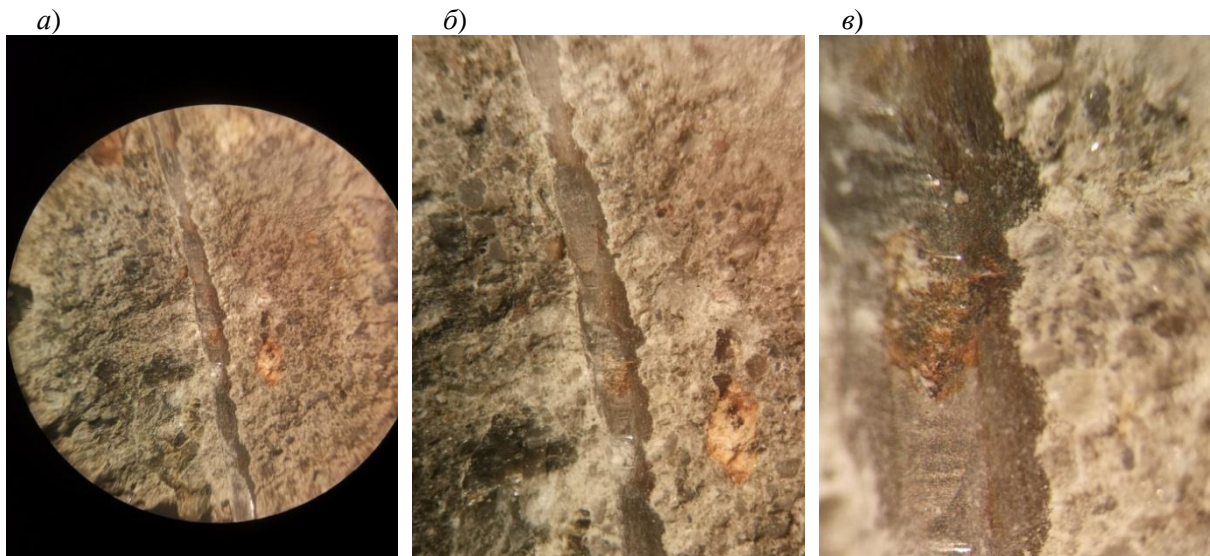


Рис. 4. Мікроснімки характерних ділянок поверхні зразку № 1: збільшення зліва-направо від  $\times 12,5$  до  $\times 50$

Структура поверхні тріщин всіх трьох зразків в основному схожа. У бетоні зразків зустрічаються зерна заповнювача від яскраво-жовтого до коричневого кольору (рис. 4 (б), рис. 5 (б, в)), які можуть містити підвищену кількість аморфного кремнезему. Зразок № 3 містить ділянки поверхні білого кольору, складені, очевидно, гідроксидом кальцію  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Це свідчить про вилугування бетону, можливо, електрокорозійне, крізь сітку корозійних тріщин. Одну з цих ділянок перетинає тріщина,

схожа через незаповненість продуктами реакцій на силову або усадкову. Контакт бетону з арматурним дротом, незважаючи на високу ступінь корозійного ураження бетону зі втратою 47...72 % міцності, зберігся щільним. Циліндричні поверхні бетону у місцях, де дріт був видалений під час руйнування зразка, в основному щільні. Арматурний дріт в основному зберігся у некородованому стані крім окремих випадків виразкової корозії та поверхневої нерівномірної корозії (рис. 4 (в), рис. 5 (в)).

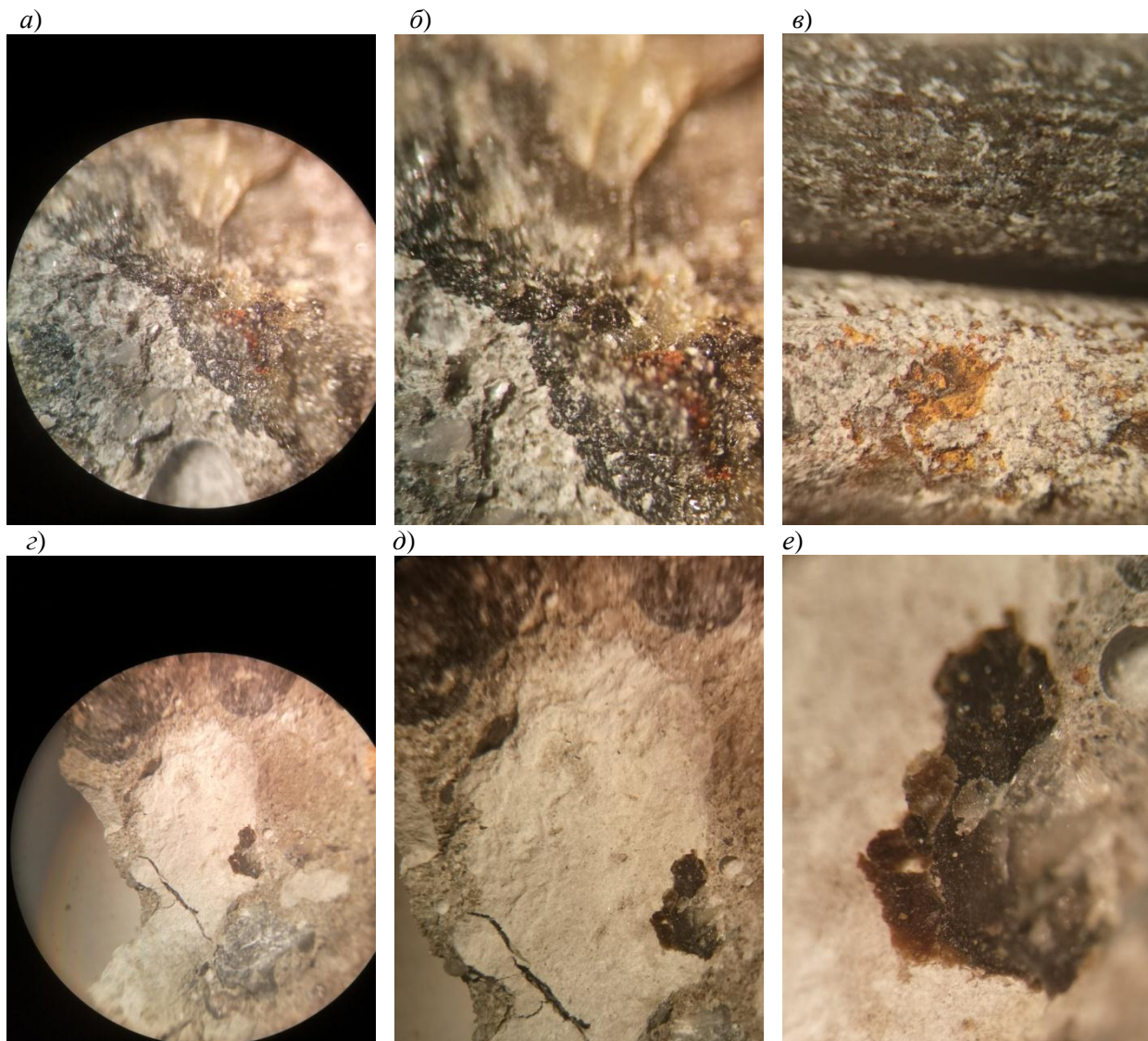


Рис. 5. Мікроснімки характерних ділянок поверхні зразків: № 2 (а–в); № 3 (г–д).  
Збільшення зліва-направо від  $\times 12,5$  до  $\times 50$

### Наукова новизна та практична значимість

Отже, основною причиною дефектів, за якими замінювались шпали, була корозія бетону від взаємодії луг цементу з реакційно здатними заповнювачами, якій сприяли вплив струмів витоку, а також невелика епюра шпал і застосування безпідкладкових анкерних проміжних рейкових скріплень. Результати дослідження дозволяють встановити причини утворення тріщин та інших пошкоджень у залізобетонних шпалах під час експлуатації та, у свою чергу, зменшити втрати підприємств-виробників скріплень та шпал від браку та рек-

ламацій, оптимізувати сукупні витрати на ремонтно-коліїні роботи та подальше утримання колії за рахунок раціонального призначення конструкції колії, зменшення пошкоджуваності та заміни шпал під час експлуатації колії.

### Висновки

Досліджено стан залізобетонних шпал типу СБЗ під безпідкладкові рейкові скріплення на 324-332 км парної колії дільниці Одноробівка – Букіне Південної залізниці, де з 2007 р. спостерігався їх інтенсивний вихід за дефектністю. Встановлено, що за 15 років експлуатації по



## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

мірі попуску 236,3 млн. т. через дефектність замінено близько 2,8 % шпал (44 шт. на 1 км колії). Характерними дефектами (пошкодженнями), через які шпали знімали з колії, були переважно 13.2 і 13.2 за класифікацією ЦП-0150 – тріщини та злам шпал, у т.ч. з роздрібненням бетону. Цим дефектам передувало утворення сітки тонких тріщин на видимих поверхнях шпал.

Детально досліджено 3 шпали, зняті з колії через характерні дефекти. Встановлено, що сітка тріщин у шпалах є просторовою, найбільш розвинутою під верхньою гранню, найменш розвинутою – над нижньою, і спричиняє зниження міцності бетону на стиск на 47...72 %. На внутрішніх поверхнях тріщин відзначені окремі зерна заповнювачів, які мають ознаки вмісту активного кремнезему, що разом з характером тріщин може свідчити, що причиною їх утворення є корозія бетону від взаємодії луг цементу з реакційно здатними заповнювачами.

На поверхнях тріщин в нижній частині шпал виявлено продукти вилуговування, очевидно, електроміграційного, що може свідчити про сприяння корозійним процесам струмів витоку на електрифікованих постійним струмом коліях.

Для встановлення особливостей виявленої корозії рекомендується виконати електронно-мікроскопічні та фізико-хімічні дослідження бетону і продуктів його корозії.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Plugin, A. A., Miroshnichenko S. V., Lobiak, O. V., Kalinin, O. A., & Plugin, D. A. (2020). Crack resistance of reinforced-concrete sleepers with elastic rail fastening systems without base-plate. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1002(1), 012010.
- Smirnova, O. (2017). Obtaining the high-performance concrete for railway sleepers in Russia. *Procedia Engineering*, 172, 1039-1043.
- Stark, J. (2008). *Alkali-Kieselsäure-Reaktion*. Bauhaus Universität Weimar.
- Stark, J., & Wicht, B. (1995). *Dauerhaftigkeit von beton*. Architektur und Bauwesen Weimar Universität.
- Золотарский, А. Ф., Евдокимов, Б. А., Исаев, Н. М., Крысанов, Л. Г., Серебренников, В. В., & Федурлов, В. Ф. (1980). *Железобетонные шпалы для рельсового пути*. Москва: Транспорт.
- Коваленко, В. В., Заяць, Ю. Л., Пшінько, П. О. (2015). Дослідження причин передчасного руйнування залізобетонних шпал на Знам'янській дистанції колії ПЧ-10 Одеської залізниці. *Наука та прогрес транспорту*, 6, 149-163.
- Мчедлов-Петросян, О. П. (Ред.) (1971). Технологическое обеспечение долговечности железобетонных шпал. *Труды ХИИТа*, 122.
- Петрова, Т. М., & Сорвачова, Ю. А. (2012). Внутренняя коррозия бетона как фактор снижения долговечности объектов транспортного строительства. *Наука и транспорт. Транспортное строительство*, 4, 56-60.
- Плугін, А. А., Мірошніченко, С. В., Калінін, О. А., Ляху, Л. В., & Ганжела, С. Ю. (2020). Експериментальні дослідження тріщиностійкості залізобетонних шпал з безпідкладковим пружним рейковим скріпленням. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*, 192, 11-23.
- Плугін, А. А., Плугін, А. М., Плугін, Д. А., Борзяк, О. С., Скорик, О. О., & Конев, О. А. (2011). Аналіз впливу агресивних дій на конструкції та споруди залізниць: Верхня будова колії в залізничних тунелях. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*, 122, 187-201.
- Плугін, А. М., Плугін, А. А., Тулей, Ю. Л., Мірошніченко, С. В., Калінін, О. А., & Лютий, В. А. (2014). Досвід експлуатації залізобетонних шпал з пружними рейковими скріпленнями, розробленими в УкрДАЗТ. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*, 148, 92-103.
- Плугин, А. Н., Плугин, А. А., Плугин, Ал. А., & Дудин, А. А. (2009). Электрическое сопротивление железобетонных шпал с различными типами рельсовых скреплений. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*, 111, 245-261.
- Пшінько, П. О. (2012). Підвищення надійності залізничних залізобетонних шпал (Автореферат кандидатської дисертації), Дніпропетровськ.
- Смирнова, О. М. (2014). Морозостойкость высококачественных бетонов для подрельсовых конструкций. *Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона*, 4, 77-81.
- ЦП-0150 (2006). *Технічні вказівки з використання старопридатних матеріалів верхньої будови колії на залізницях України*. Київ: НКТБ ЦП Укрзалізниці.



A. A. PLUGIN<sup>1\*</sup>, D. A. PLUGIN<sup>2</sup>, S. V. MIROSHNICHENKO<sup>3</sup>,  
O. A. KALININ<sup>4</sup>, O. P. KRYKUN<sup>5</sup>

<sup>1\*</sup> Department «Railway Track and Transport Structures», Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach Square, 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +38 (057) 730 10 58, e-mail plugin\_aa@kart.edu.ua, ORCID 0000-0002-6941-2076

<sup>2</sup> Department «Building materials and structures», Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach Square, 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +38 (057) 771 46 91, e-mail plugin.da@kart.edu.ua, ORCID 0000-0002-4359-4369

<sup>3</sup> Department «Building materials and structures», Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach Square, 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +38 (050) 692 53 89, e-mail Miroshnichenko@kart.edu.ua, ORCID 0000-0002-7328-5209

<sup>4</sup> Department «Building materials and structures», Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach Square, 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +38 (057) 730 10 68, e-mail kalinin@kart.edu.ua, ORCID 0000-0003-3063-5659

<sup>5</sup> Department «Railway Track and Transport Structures», Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach Square, 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +38 (095) 778 17 71, e-mail krikun@kart.edu.ua, ORCID 0000-0003-4731-179X

## RESEARCH OF CONCRETE OF REINFORCED CONCRETE SLEEPERS, WHICH DECIDED DAMAGE DURING OPERATION

**Purpose.** On the railways of Ukraine in some areas there is an intensive premature exit sleepers due to the formation of defects that can affect the safety of trains and cause significant material losses due to a single replacement of a significant number of sleepers. The purpose of the study is to establish the causes of damage reinforced concrete sleepers on a characteristic section of the railway with their intense premature exit. **Methodology.** The condition of reinforced concrete sleepers of SB3 type under unlined substrate fastenings on 324-332 km of the pair track of the Odnorobivka-Bukine section of the Southern Railway was studied, where since 2007 their intensive output was observed due to defects. **Findings.** It is established that for 15 years of operation, as 236.3 million tons were put into operation, about 2.8 % of sleepers were replaced due to defects (44 pieces per 1 km of track). Typical defects (damages), due to which the sleepers were removed from the track, were mainly 13.2 and 13.2 according to the classification of CP-0150 – cracks and fractures of sleepers, including ones with crushing concrete. These defects were preceded by the formation of a network of thin cracks on the visible surfaces of sleepers. 3 sleepers with an initial compressive strength of 68...77 MPa produced by the Korosten Reinforced Concrete Sleeper Plant and the Gnivan Special Reinforced Concrete Plant, removed from the track due to characteristic defects, were selected and investigated. Samples were selected from the sleepers, with the help of which there was determined the final strength of concrete and microscopic examinations, including luminescence flaw detection method, were performed. It was found that the network of cracks in sleepers is spatial, mostly developed mostly beneath their top edge, the least developed above the bottom edge, and causes a decrease in compressive strength of concrete by 47...72 %. It is noted that the destruction of concrete during loading occurred behind these cracks. On the inner surfaces of the cracks there are individual grains of aggregates, which have signs of active silica content, that together with the nature of the cracks may indicate that the cause of their formation is corrosion of concrete from the interaction of cement alkali with reactive aggregates. On the surfaces of the cracks in the lower part of the sleepers leaching products were found, apparently leached by electro migration, which may indicate that corrosion processes were promoted by leakage currents on electrified DC tracks. **Originality** Thus, in the study area, the main cause of defects, which caused the replacement of the sleepers – was the corrosion of concrete due to the interaction of cement alkali with reactive aggregates, promoted by leakage currents, as well as a small diagram of sleepers and the use of unlined anchor intermediate rail fasteners. **Practical value.** The results of the study allow to establish the causes of cracks and other damage in reinforced concrete sleepers during operation and, in turn, reduce the losses of fasteners manufacturers and sleepers from defects and complaints, optimize the total cost of track repairs and subsequent track maintenance due to rational purpose of track construction, reduction of damage and replacement of sleepers during track operation.

*Keywords:* reinforced concrete sleeper; concrete; defect; crack; corrosion; reactive aggregates; leakage current

### REFERENCES

- Plugin, A. A., Miroshnichenko S. V., Lobiak, O. V., Kalinin, O. A., & Plugin, D. A. (2020). Crack resistance of reinforced-concrete sleepers with elastic rail fastening systems without base-plate. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1002(1), 012010. (in English)
- Smirnova, O. (2017). Obtaining the high-performance concrete for railway sleepers in Russia. *Procedia Engineering*, 172, 1039-1043. (in English)

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- Stark, J. (2008). *Alkali-Kieselsäure-Reaktion*. Bauhaus Universität Weimar. (in English)
- Stark, J., & Wicht, B. (1995). *Dauerhaftigkeit von beton*. Architektur und Bauwesen Weimar Universität. (in English)
- Zolotarskiy, A. F., Yevdokimov, B. A., Isaev, N. M., Krysanov, L. G., Serebrenikov, V. V., & Fedulov, V. F. (1980). *Zhelezobetonnye shpaly dlya relsovogo puti*. Moskva: Transport. (in Russian)
- Kovalenko, V. V., Zaiats, Yu. L., Pshinko, P. O. (2015). Doslidzhennia prychyn peredchasnoho ruinuvannia zalizobetonnykh shpal na Znamianskii dystantsii kolii PCh-10 Odeskoi zaliznytsi. *Nauka ta prohres transportu*, 6, 149-163. (in Ukrainian)
- Mchedlov-Petrosyan, O. P. (Red.) (1971). Tekhnologicheskoe obespechenie dolgovechnosti zhelezobetonnykh shpal. *Trudy KhIITA*, 122. (in Russian)
- Petrova, T. M., & Sorvachova, Yu. A. (2012). Vnutrennyaya korroziya betona kak faktor snizheniya dolgovechnosti obektov transportnogo stroitelstva. *Nauka i transport. Transportnoe stroitelstvo*, 4, 56-60. (in Russian)
- Pluhin, A. A., Miroshnichenko, S. V., Kalinin, O. A., Liakhu, L. V., & Hanzhela, S. Yu. (2020). Eksperymentalni doslidzhennia trishchynostiikosti zalizobetonnykh shpal z bezpidkladkovym pruzhnym reikovym skriplenniam. *Zb. nauk. prats UkrDUZT*, 192, 11-23. (in Ukrainian)
- Pluhin, A. A., Pluhin, A. M., Pluhin, D. A., Borziak, O. S., Skoryk, O. O., & Koniev, O. A. (2011). Analiz vplyvu ahresyvnykh dii na konstruktzii ta sporudy zaliznyts: Verkhnia budova kolii v zaliznychnykh tuneliakh. *Zb. nauk. prats UkrDAZT*, 122, 187-201. (in Ukrainian)
- Pluhin, A. M., Pluhin, A. A., Tulei, Yu. L., Miroshnichenko, S. V., Kalinin, O. A., & Liutyi, V. A. (2014). Dosvid ekspluatatsii zalizobetonnykh shpal z pruzhnym reikovym skriplenniamy, rozroblenymy v UkrDAZT. *Zb. nauk. prats UkrDAZT*, 148 92-103. (in Ukrainian)
- Plugin, A. N., Plugin, A. A., Plugin, Al. A., & Dudin, A. A. (2009). Elektricheskoe soprotivlenie zhelezobetonnykh shpal s razlichnymi tipami relsovykh skrepleni. *Zb. nauk. prats UkrDAZT*, 111, 245-261. (in Russian)
- Pshinko, P. O. (2012). Pidvyshchennia nadiinosti zaliznychnykh zalizobetonnykh shpal (Avtoreferat kandydatskoi dysertatsii), Dnipropetrovsk. (in Ukrainian)
- Smirnova, O. M. (2014). Morozostoykost vysokokachestvennykh betonov dlya podrelsovykh konstruktсий. *Resursoenergoeffektivnye tekhnologii v stroitelnom komplekse regiona*, 4, 77-81. (in Russian)
- TsP-0150 (2006). *Tekhnichni vkazivky z vykorystannia staroprydatnykh materialiv verkhnoi budovy kolii na zaliznytsiakh Ukrainy*. Kyiv: NKTB TsP Ukrzaliznytsi. (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 05.10.2021.

Прийнята до друку 08.11.2021.