

УДК 625.141.1:656.212.5

*Д-р техн. наук Л.В. Трикоз
Канд. техн. наук Є.В. Романович
Інженер І.В. Багіяни*

РОЗРОБКА МЕТОДУ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ БАЛАСТНОЇ ПРИЗМИ ШЛЯХОМ ЗБІЛЬШЕННЯ ТЕРМІНУ ЇЇ СЛУЖБИ

Ключові слова: щебеневий баласт, забруднювачі, гідрофобність, питома електропровідність, надійність роботи.

Вступ

Одним із важливих елементів верхньої будови залізничної колії є баласт. Він забезпечує стійкість колії під впливом поїзних навантажень і температур, що змінюються. На мережі Укрзалізниці найбільш поширеним матеріалом для формування баластної призми є щебінь. Товщина щебеневого баластного шару на головних і станційних коліях, стрілочних переводах складає від 250 до 400 мм, а ширина плеча баластної призми від 350 до 450 мм [1]. Показники міцності, стійкості та надійності баласту забезпечуються проведенням періодичних оглядів, діагностуванням окремих ділянок, виконанням робіт з його поточного утримання та ремонту. Поточне утримання баласту полягає в систематичному контролі його стану, встановленні причин появи несправностей та їх ліквідації. Воно ведеться безперервно на всій довжині колії, обсяги та терміни виконання робіт встановлюють з урахуванням сезонності та місцевих умов [2].

Погіршення стану баластного матеріалу пов'язане з його підвищеним забрудненням та зволоженням забруднювачів. Забруднення виникає через стирання гострих кутів щебених гранул (навіть міцних гранітних порід) у процесі періодичної дії рухомого складу поїздів. Крім того, ступінь забруднення залежить від характеру перевезених вантажів, профілю залізничної колії та ряду інших факторів. Для оздоровлення верхньої будови колії ведеться очищення та підрізка баласту, очищення рейок, рейкових скріплень від забруднювачів, при необхідності заміна водовідводів на блок-ділянках, капітальний ремонт колії з

метою заміни верхньої будови з рейками, що пропустили нормативний тонаж. Виконання подібних заходів хоча й підвищує ізоляцію рейкових кіл, але практично не впливає на покращення роботи автоблокування при неминучому зниженні пропускної здатності перегонів та станцій, викликаючи затримки поїздів і збільшуючи простої та зменшуючи оборот вагонів. Роботи з очищення щебеню вручну малопродуктивні та дорого коштують. Крім того, деяка кількість забруднювачів у ньому залишається або в процесі очищення потрапляє знову. Після звичайної промивки ступінь забруднення відпрацьованого баластного матеріалу знижується не менше ніж в 2 рази. Це зможе покращити показники, але враховуючи великі витрати коштів на заміну баласту при необхідності припинити рух на час проведення робіт і обмежити швидкість руху на час стабілізації баластної призми ефект втрачається через повторне забруднення. Цей метод дає поліпшення на деяких ділянках лише на обмежений час. Планова заміна щебеню відбувається кожні 10 років його експлуатації, при цьому замінюється від 50000 до 70000 м³ баластного щебеню при його вартості від 70 до 150 грн за 1 м³. У той же час вартість очищення 1 км становить для ЩОМ-6У 97 тис. грн, а для RM-80 – 110 тис. грн (у цінах станом на 13.10.2016 р.). Отже, зважаючи на велику собівартість робіт із заміни або очищення колійного щебеню, актуальною є розробка методів попередження його забруднення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Залізнична колія виконує функції не тільки силової конструкції, але й функції складного електричного кола, в якому як один з провідів застосовується рейкова колія. Необхідно враховувати, що рейкова лінія використовується також як провідник сигнального струму на ділянках з автоблокуванням. Цей струм також використовується і для контролю суцільності рейок. Відомо [3], що забруднений баласт має зменшений електричний опір, що впливає на роботу рейкових кіл систем сигналізації, централізації та блокування (СЦБ). Цей вплив виражається у формуванні сигналів «помилкової зайнятості» ізольованих ділянок, що спричиняє не тільки збільшення часу ви-

конання технологічних операцій, але може стати причиною виникнення надзвичайних подій під час екстреного гальмування потягів [4]. Для підвищення надійності роботи рейкових кіл та зменшення впливу струмів витоку на подальший розвиток електрокорозії транспортних споруд необхідно підвищувати опір ізоляції, що знаходить своє відображення в існуючих наукових працях, де пропонується кілька шляхів вирішення цієї проблеми. Так, у роботі [5] описується розробка й тестування поліпшеної ізоляції залізничного рейкового скріплення. Для надійного виявлення тріщин у роботі [6] використовується хвилеводна ультразвукова система, що працює за рахунок передачі сигналів між постійно встановленими передавальними та приймальними перетворювачами, розташованими приблизно в 1 км один від одного. Було доведено надійність системи у виявленні рейкових розривів без помилкових спрацьовувань. Додавання імпульсного відбивального режиму роботи в системі може забезпечити її підвищену функціональність для виявлення, локалізації та, можливо, моніторингу тріщин. На роботу рейкового кола може впливати посипання піском для збільшення сухого тертя в контакті «колесо-рейка». Наприклад, в дослідженні [7] швидкість подачі і розмір частинок піску були виявлені як основні параметри, що впливають на електричну ізоляцію під час шліфування. Більш високі швидкості подачі й більш дрібні частинки піску, як було показано, призводять до підвищення електропровідності контакту. Оскільки ця електропровідність кола використовується на практиці для системи виявлення поїзда, особливе значення має приділятися визначенню критичної швидкості подачі піску для обраного розподілу частинок за розмірами, так щоб рух поїздів не порушувався під час підсипання.

У теперішній час як в Україні, так і в країнах колишнього СРСР, для забезпечення безвідмовної роботи рейкових кіл в період різкого зниження питомого опору баласту застосовується метод збільшення напруги джерел живлення. Але надмірне збільшення напруги джерел живлення може призвести до порушення шунтового і контрольного режимів роботи рейкових кіл [8]. Якщо збільшенням напруги живлення відновити нормальну роботу систем СЦБ не вдається, то таку ділянку

вимикають, що накладає негативний відбиток на поїзній та маневровій роботі. На залізницях України електричний опір баласту визначають вимірниками опору баласту, що дозволяє вимірювати питомий опір ізоляції без відключення діючих приладів рейкового кола. За значенням цих вимірів знаходять ділянки рейкового кола зі зниженим опором ізоляції [8].

В Україні ступінь забруднення баласту згідно [1] визначають шляхом ручного просіювання на ситах та визначення кількості забруднювачів у відсотках на двох-трьох кілометрах вибірково, що не може об'єктивно охарактеризувати стан баластної призми. У той же час на залізницях світу все більше розповсюджуються геофізичні методи контролю, які дозволяють отримати дані про забруднення баластної призми безперервно на всій протяжності колії. У Швейцарії для контролю за станом баласту використовують геотехнічні дослідження збору та обробки даних [9]. Дослідження георадаром виявилось вельми корисним доповненням традиційних методів контролю. Перевірка достовірності результатів обстеження численних траншей після інтерпретації радіолокаційних даних, які не були доступні раніше, дозволяє припустити значне скорочення числа траншей, необхідних для огляду баласту. У Китаї запропоновано створення «розумного» баластного залізничного земляного полотна, в якому зв'язок і передача інформації з узбіччя колії виконується локомотивами на станції передачі інформації, а потім у загальний обчислювальний центр [10]. На залізницях Португалії для оцінки рівня засмічення баласту застосовують георадар, але для отримання високої якості обстеження попередньо досліджують діелектричні властивості матеріалу, оскільки вони чутливі до вмісту води, петрографічного типу та забруднення баласту [11].

В дослідженні [12] розглянуто забруднення баласту в Індії та інших країнах. Дослідження показує, що баластні матеріали індійських залізниць є погано сортовані й більш сприятливі для дренажу. Запропоновано в даному дослідженні додаткові нові індекси обростання баласту на основі даних індійської залізниці з урахуванням існуючих масштабів забруднення. Для індійських залізниць є звичайним очищення баласту раз в 10 років, незалежно від кількості та типу обростання. Розширені геофі-

зичні методи, такі як сейсмозв'язка та георадар, можуть бути використані для ідентифікації баластних забруднень. Польові та лабораторні дослідження процесу обростання баласту в межах залізничної колії виконано в [13]. Було відібрано понад 150 проб забрудненого і чистого матеріалу зі складних позицій, таких як безпосередньо під залізничними рейками і скріпленнями. Було сформовано базу даних, в якій детально описано розподіл розмірів зерен баласту, вміст глини або мулу, характеристики стирання і тип порід баласту. Аналіз цього набору даних дозволить оцінити вихідний матеріал і механізм руйнування баласту, а також ступінь і прогресування забруднення баласту.

Для відновлення нормальної роботи систем СЦБ та забезпечення стійкості баластної призми використовують різноманітні методи очищення баластної призми від забруднювачів, найпоширенішим серед яких є очищення та укладання баласту щебенеочисними машинами на рейковому ході [2], або вирізка баласту і навантаження його на рухомий склад для подальшого вивезення [14]. Також, відомий метод повторного використання відпрацьованого баластного щебеню після його очищення водяним паром [15].

Для зменшення можливості руйнування, зсуву і розтріскування баласту при високих навантаженнях в Україні запропоновано способи перетворення баластної призми на монолітну структуру шляхом її поливу полімерними сполуками. Так, відомо поліуретановий баластний шар [16], в якому за рахунок твердіння спієнового поліуретану у проміжках між щебеном зменшується можливість руйнування і виплесків баласту при високих навантаженнях. За даним винаходом поліуретановий баластний шар захищає від факторів оточуючого середовища і попереджає потрапляння дощу, снігу, нечистот в колійний баласт. Також відомо спосіб укріплення баластної призми просоченням рідким поліуретаном [17]. Технічний результат полягає у збільшенні утримуючої здатності верхнього шару щебеню в технологічних укосах для попередження їх осипання та небажаного вибивання зернистого матеріалу щебеню під час руху високошвидкісних потягів, покращенні амортизаційних і експлуатаційних

характеристик баластної призми залізничної колії. Відомо спосіб підсилення залізничної колії [18], при якому поливом вводять у старопридатний щебінь органічне зв'язуюче, наприклад бітумну емульсію або смолу, яке створює монолітний шар зміцненої основи з високим модулем деформації для верхньої будови колії. Технічний результат полягає в підвищенні міцності основи в підбаластній зоні. У жодному винаході з [16-18] не досягається підвищення питомого електричного опору щебеню після такої обробки, що є дуже важливим для забезпечення надійності роботи рейкових кіл. Нажаль, усі перелічені вище методи не впливають на швидкість забруднення баласту і тому є ефективними лише обмежений проміжок часу.

Визначення мети та задачі дослідження

Для вирішення такого наукового завдання, як забезпечення надійної експлуатаційної роботи за рахунок стабільності електричних характеристик верхньої будови колії, постає задача вивчення впливу поверхневої обробки щебеню на величину електричної провідності баластового шару для зниження впливу опору ізоляції на режими функціонування рейкових кіл. Однією з поставлених задач є розробка методу збільшення електроопору баластної призми для безвідмовної роботи рейкових кіл та зменшення налипання забруднювачів на поверхні.

Матеріали та методи досліджень

Електроізоляційні властивості щебеню характеризуються питомою електричною провідністю насиченого розчину, що утворився від розчинення щебеню у дистильованій воді. За ДСТУ [19] її значення повинне бути не більше 0,06 См/м. У даній роботі електричну провідність обробленого щебеню визначали за такою методикою. Зразки щебеню заливали дистильованою водою у пропорціях, регламентованих [19], і ретельно перемішували до одержання насиченого розчину. Насиченість розчину визначали шляхом періодичного вимірювання його електричної провідності у вимірювальному кубі доти, поки електрична провідність розчину не стабілізується. Постійна електрична провідність розчину свідчить про те, що розчин став насиченим.

Після цього вимірювальні електроди зачищали до блиску і встановлювали їх на двох

$$\epsilon = \frac{56,25}{R},$$

протилежних бічних стінках вимірювального кубу. Куб промивали дистильованою водою і наливали у нього отриманий насичений розчин, електричну провідність якого необхідно визначити. Рівень налитого розчину збігався з верхніми краями електродів. Виводи електродів підключали до вимірювального пристрою (рис. 1). Вимірювальний пристрій дає можливість отримувати значення електричного опору R , Ом, насиченого розчину. Електричну провідність ϵ визначали за формулою де R – електричний опір насиченого розчину, Ом;

56,25 – коефіцієнт, постійний для вимірювального куба.

Основна частина дослідження

Практично постійна наявність тонких мономолекулярних плівок води на поверхні частинок щебеню сприяє налипанню забруднювачів. Тому для зменшення швидкості забруднення щебеневого баласту нами запропоновано метод обробки частинок щебеню гідрофобними речовинами з наступним відсіпанням у баластну призму [20, 21]. Таке покриття підвищує електричний опір баластної призми та гідрофобність поверхонь частинок щебеню, що призводить до зменшення адгезії забруднювачів до нього. Для обробки частинок щебеню нами були використані бітум, силікон та спиртовий розчин каніфолі.

Покриття наносили на поверхню часток щебеню розпиленням або їх зануренням у рідину. Після висушування визначалися електроізоляційні властивості обробленого щебеню та порівнювалися з властивостями необробленого щебеню за методикою, наведеною у [19]. Електрична провідність частинок щебеню розраховувалась з їх електричного опору згідно [19], який визначався за допомогою мікроомметра (рис. 1). Відомо [22], що адгезія забруднювачів до часток ще-

беню пов'язана з гідрофобністю їх поверхонь. Гідрофобність поверхонь часток щебеню характеризується крайовим кутом змочування, який визначався за допомогою оптичного мікроскопа з кутомірною голівкою (рис. 2, 3). Результати досліджень наведено у таблиці 1.

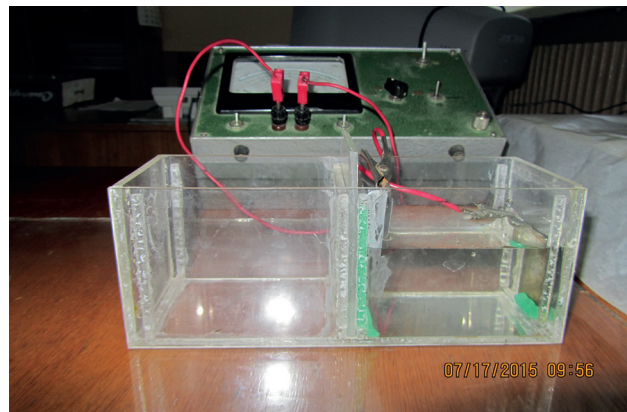


Рис.1 – Пристрій для визначення електропровідності щебеню

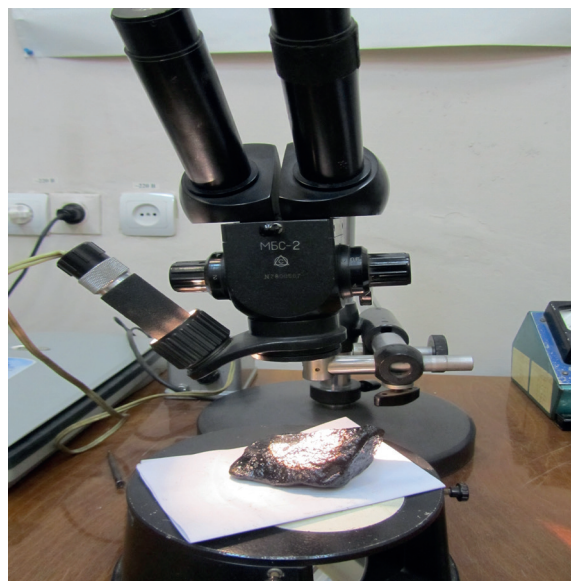
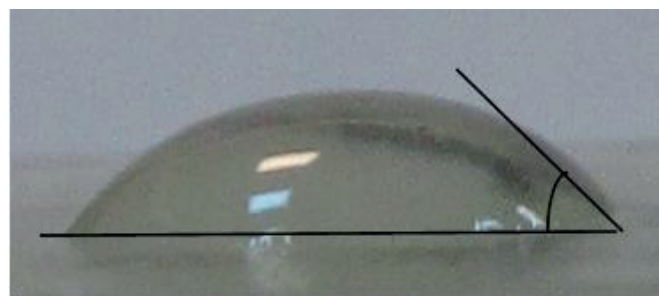


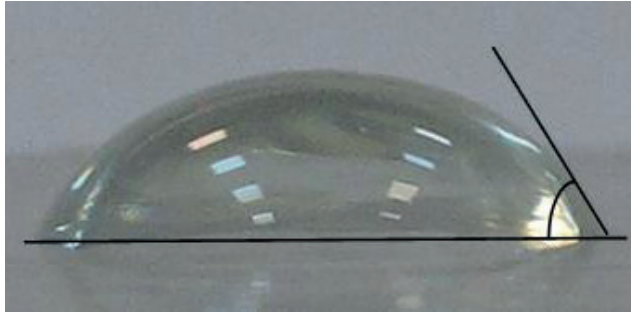
Рис.2 – Пристрій для визначення ϵ крайового кута змочування



a)



б)



г)

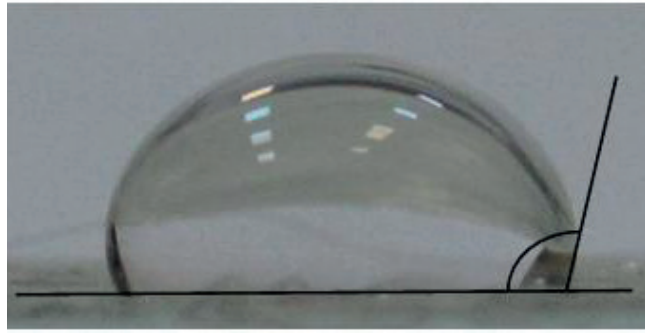
Рис. 3 – Схема визначення крайового кута змочування на поверхні чистого щебеню (а) та бітумного (б), силіконового (в) і каніфольного (г) покриттів

Таблиця 1

Порівняльна характеристика обробленого та необробленого щебеню

Композиція	Питома електрична провідність, См/м	Крайовий кут змочування, град
Щебінь необроблений	0,023	23
Щебінь з бітумним покриттям	0,009	94
Щебінь з силіконовим покриттям	0,006	112
Щебінь з каніфольним покриттям	0,003	55

Результати дослідів показали, що найнижчу електричну провідність має щебінь, оброблений каніфольним покриттям. У порівнянні з необробленим щебенем електрична провідність зменшилась у 7,7 рази. Найкращу гідрофобізуючу дію має покриття на основі силікону, про що свідчить значення крайового кута змочування.



в)

Виходячи з вище наведених лабораторних дослідів можна зробити висновок, про те, що обробка частинок щебеню вказаними покриттями сприяє зниженню як питомої електричної провідності так і адгезії забруднювачів до щебеню. Тобто, розроблений метод може бути використано для підвищення надійності роботи систем СЦБ, а також термінів служби баластної призми.

Для перевірки даної гіпотези нами розпочато експериментальні дослідження на натурній залізничній колії (рис. 4). Частинки щебеню занурювались у спиртовий розчин каніфолі, висушувались та висипались у шпальний ящик залізничної колії. Через певний проміжок часу планується виконати вимірювання електричної провідності баласту та ступеню його забрудненості. Ці вимірювання будуть порівнюватись з відповідними значеннями показників необробленого щебеню.

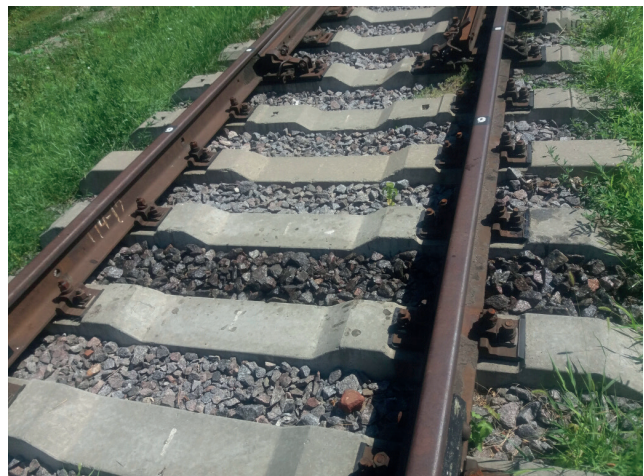


Рис. 4 – Натурна залізнична колія з обробленим шпальним ящиком

Висновки

На основі проведених лабораторних досліджень запропоновано метод обробки частинок баластної призми, який у подальшому може бути використано для підвищення надійності систем СЦБ та забезпечення стійкості баластної призми на підприємствах залізничного транспорту. Експериментально доведено, що покриття баластного щебеню органічними речовинами впливає на величину його електричної провідності. Найбільший ефект зниження питомої електричної провідності спостерігався для покриття на основі каніфольної суміші та силікону. Найкращу водовідштовхуючу здатність продемонструвало силіконове покриття, яке запобігає адсорбції води на поверхні, а отже і налипанню забруднювачів. Розглянуті покриття можуть бути запропоновані для обробки чистого щебеню перед його укладанням у колію під час ремонтів для продовження термінів експлуатації баластного шару, попередження адгезійного забруднення та ліквідації випадків помилкової вільності рейкових кіл.

Література

1. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України: ЦП-0269 [Текст]. – Затв. наказом Укрзалізниці від 01.03.2012 р. №072-Ц. – К.: Київ, 2012. – 457 с.
2. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізниця України: ЦП-0113 [Текст]. – Затв. наказом Укрзалізниці від 10.08.2004 № 630-ЦЗ. – К.: Київ, 2004. – 92 с.
3. Бушуев В.И. Исследование, разработка и оценка эффективности методов повышения устойчивости работы рельсовых цепей систем автоматического регулирования движения поездов на грузонапряженных участках: Автореферат к.т.н. – 05.13.07. – Ленинград: 1983.
4. Інструкція з руху поїздів та маневрової роботи: ЦД-0058 [Текст]. – затв. наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 31.08.2005 №507– К.: Київ, 2005. – 462 с.
5. Galler, D., Todd, P. Improved Rail-Fastener Insulation for Stray-Current

- Control // Corrosion Forms and Control for Infrastructure, 2015, pp. 170–170–13.
6. Philip W. Loveday, Craig S. Long. Long range guided wave defect monitoring in rail track // AIP Conf. Proc. 1581, (2014), pp. 179-185 .
 7. O. Arias-Cuevas, Z. Li, R. Lewis. Investigating the Lubricity and Electrical Insulation Caused by Sanding in Dry Wheel–Rail Contacts // Tribology Letters March 2010, Volume 37, Issue 3, pp. 623-635.
 8. Пристрої сигналізації, централізації та блокування. Технологія обслуговування: ЦШ-0042 [Текст]. – затв. наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України від 26.04.2006 р. № 347-ЦЗ. – К.: Київ, 2006. – 520 с.
 9. Hugenschmidt J. Railway track inspection using GPR /Journal of Applied Geophysics / №43, 2000, pp. 147–155. www.elsevier.nl/locate/jappgeo
 10. Корисна модель МПК G06Q10/06, G06Q10/00, CN204719798U від 23.06.2015 Інтелектуальна система управління інформацією баласта Заявник Наньтун Квідонга, провінція Цзянсу Наньтун Китай.
 11. Francesca De Chiara, Simona Fontul, Eduardo Fortunato. GPR Laboratory Tests For Railways Materials Dielectric / Remote Sens. 2014, 6, 9712-9728; doi:10.3390/rs6109712.
 12. P. Anbazhagan, T.P. Bharatha, G. Amarajeevi. Study of Ballast Fouling in Railway Track Formations // Indian Geotechnical Journal (April–June 2012) 42(2) pp.87–99.
 13. Brennan Bailey, D. Jean Hutchinson, Duncan Gordon, Greg Siemens, Mario Ruel. Field and laboratory procedures for investigating the fouling process within railway track ballast / Pan-Am CGS Geotechnical Conference. www.geoserver.ing.puc.cl/info/conferencea/PanAm2011/panam2011/pdfs/GEO11Paper718.pdf
 14. Путьевые машины: Учебник для вузов ж.-д. транс. / С.А. Соломонов, М.В. Попович, В.М. Бугаенко и др. Под ред. С.А. Соломонова. – М.: Желдориздат, 2000. – 756 с.
 15. Технологія ефективного очищення та шляхи утилізації відпрацьованого баластного щебеню у транспортному будівництві / О. М. Пшінько, А. В. Краснюк,

Ю. Л. Заяць, О. В. Громова // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – Д.: Вид-во ДНУЗТ ім., 2013. – № 4. – С. 75-81.

16. Патент № 107590 МПК E01B 1/00, E01B 27/02 Поліуретановий баластний шар, спосіб його одержання і його застосування / Жао Хуй, Сун Ганг, Шен Ї, Жанг Ченксі Власник(и): БАЄР МАТЕРІАЛСАЄНС – Заявка: а 2012 13253, опубл. 18.04.2011. Бюл. № 2.

17. Патент № 2469145 МПК E01B 1/00, E01B 27/02 Спосіб укрєплення баластної призми залізничного пути / Мичурин О.А., Фєдоров А.В., Хрулев А.В., Шаула Я.И. Власник(и): Общество с ограниченной ответственностью “ЭЛАСТОИМПЭКС” – Заявка: 2011117757/11, опубл. 10.12.2012. Бюл. № 34.

18. Патент № 2448212 МПК E01B 27/12. Спосіб усилення залізничного пути / Грицьк В. И., Окост М.В. Патентообладатель(и): Грицьк В. И. (RU), Окост М. В. (RU) – Заявка: 2010108585/11, 09.03.2010 – Опубл. 20.04.2012.

19. Щебїнь із природного каменю для баластного шару залізничної колїї. Технїчні умови [Текст]: ДСТУ Б В.2.7-204:2009. – Введ. 12.12.2009. Мїнрєгїонбуд України, 2010. – 13 с.

20. Trykoz, L. Impact of the type of a contaminant on electric resistance of treated track ballast / Liudmyla Trykoz, Irina Bagiyanс // Technika Transportu Szynowego 6/2016, p.38-40.

21. Дослїдження питомої електричної провїдностї баластного щебеню [Текст] / Л.В. Трикоз, І.В. Багїянц // Зб. наук. праць. Харкїв: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 155. – С. 179-184.

22. Основы теории твердения, прочности,

разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: Монография в 3-х тт. Т.1. Коллоидная химия и физико-химическая механика цементных бетонов / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Л.В. Трикоз, О.С. Кагановский, О.А.Плугин. – К.: Наук. думка, 2011. – 336 с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Трикоз Людмила Вікторівна,

доктор технічних наук, доцент кафедри «Будівельних матеріалів, конструкцій та споруд» Українського державного університету залізничного транспорту.

Пл. Фейєрбаха, 7, м. Харкїв, Україна, 61050.

Тел. (057)730-10-68.

E-mail: lvtrikoz@ukr.net ORCID 0000-0002-8531-7546

Романович Євгеній Валентинович,

кандидат технічних наук, доцент кафедри «Будівельні, колїйні та вантажно-розвантажувальні машини» Українського державного університету залізничного транспорту.

Пл. Фейєрбаха, 7, м. Харкїв, Україна, 61050.

Тел. +38(057)730-10-72.

E-mail: 0674274770@ukr.0000-0003-2555-5849

Багїянц Ірина Вікторівна,

їнженер Українського державного університету залізничного транспорту.

Пл. Фейєрбаха, 7, м. Харкїв, Україна, 61050.

Тел. (057)730-19-49.

E-mail: bagira54017@mail.ru ORCID 0000-0003-0067-4382

РЕКЛАМА В ЖУРНАЛІ «ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ УКРАЇНИ»

З питань розміщення реклами в науково-практичному журналі «Залізничний транспорт України», який видається філією «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» ПАТ «Укрзалізниця» звертайтеся на ім'я начальника філії за адресою:

03038, м. Київ, вул. І. Федорова, 39 або в редакцію журналу за телефоном **+38 (044) 309-68-93** чи на електронну пошту журналу: **ztu1520mm@gmail.com**.