

УДК 625.141.1

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПИТОМОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОВІДНОСТІ БАЛАСТНОГО
ЩЕБЕНЮ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ ЗАЛІЗНИЧНИМ
ТРАНСПОРТОМ****Л. В. ТРИКОЗ¹, І. В. БАГІЯНЦ²**¹Будівельні матеріали, конструкції та споруди, Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, УКРАЇНА²Залізничні станції та вузли, Харків, УКРАЇНА

АНОТАЦІЯ У статті розглянуто вплив ступеня забрудненості баластного щебеню мінеральними добривами на величину його питомої електричної провідності. Встановлено, що ця величина може змінюватися в залежності від виду покриття на зернинах щебеню та від виду мінеральних добрив, що перевозяться залізницею. Таке покриття може бути запропоновано 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 зайнятості рейкових кіл.

Ключові слова: щебінь, мінеральні добрива, питома електрична провідність, рейкове коло, затримки поїздів.

**THE RESEARCH OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF BALLAST BREAKSTONE
DURING TRANSPORTATION MINERAL FERTILIZERS RAILWAY TRANSPORT****L. V. TRYKOZ¹, I. V. BAGIYANC²**¹Doct. of techn. sciences Ukrainian State University of Railway Transport., Kharkiv, UKRAINE²Engineer Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The article deals with influence of contamination of the ballast bed from mineral fertilizers on its specific electric conductivity. Electric conductivity has been determined for both clean and contaminated ballast. The electric conductivity of treated broken stone has been defined by the following method: the samples have been saturated with distilled water in prescribed proportion and mixed thoroughly until saturated solution has been obtained. The saturation has been defined by constant measurements of its electric conductivity in a measuring tank until the electric conductivity of the solution stabilizes. The constant electric conductivity of the solution testifies that the solution is saturated. The measuring tank makes it possible to obtain the value of electrical resistance of the saturated solution. It has been proven experimentally that coating the ballast with organic materials influences its electric conductivity. The lowest specific electric conductivity was observed for rosin glycerin and silicon coatings. The lowest sticking is typical for potassium chloride and ammonium nitrate, the data on low electric conductivity of their samples testifying it. Protective coating reduces electric conductivity of a ballast layer and enhances the efficiency of rail circuits even when mineral fertilizers transported may spill on the track. Such coatings can be proposed for treatment of clean broken stones before their placing on the track during repair works for longer working operation life of the ballast layer, prevention of adhesive contamination and elimination of accidental erroneous occupation of rail circuits.

Keywords: breakstone, mineral fertilizers, specific electric conductivity, track circuit, delays trains.

Вступ

В умовах збільшення інтенсивності та швидкості руху поїздів підвищуються вимоги до надійного забезпечення роботи всіх елементів верхньої будови колії залізниць. Там, де перевозяться та перевантажуються мінеральні добрива колія в незадовільному стані й неминуче виникають відмови рейкових кіл. 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 кріплень від забруднювачів; при необхідності заміна водовідводів на блок-ділянках; капітальний ремонт колії з метою заміни верхньої будови з рейками, що пропустили нормативний тонуаж [1]. Виконання подібних заходів хоча і підвищує ізоляцію рейкових кіл, але практично не впливає на покращення роботи автоблокування при неминучому зниженні пропускної здатності перегонів та станції, викликаючи затримки поїздів і збільшуючи простої та оборот вагонів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вивченням процесів та закономірностей зміни ізоляції рейкових кіл у часі, розробкою методів оцінки електроізоляційних властивостей баластних матеріалів та дослідження ефективності різних способів відновлення ізоляції була присвячена робота [2], в

якій автор розглядав дерев'яні шпали на піщаному й азбестовому баластах. Але з часом ці види баласту замінив щебеневий баласт та залізобетонні шпали при незмінних відмовах рейкових кіл та інтенсивності забруднення баласту. До складу забруднень входять залишки перевезених вантажів, мінеральні та органічні домішки, розчинені солі, добрива, витоки з цистерн під час заправки, перевезень і відстою через несправність котлів і зливних приладів цистерн та ін.

Замкнуте електричне коло від забруднення при перевезенні вантажів залізницею, верхньої будови колії та при незабезпеченні надійної роботи рейкових кіл призводить до затримок вантажів від вантажовідправників до вантажоодержувачів. Кращім рішенням для уникнення засоленості колії є виключення втрат вантажу при перевезенні та перевантаженні [3], що є ідеальними умовами перевезення для залізничної галузі та клієнтів залізниці. Або знаходження новітнього методу з мінімальними матеріальними вкладеннями й отриманням найбільш високих показників опору при попаданні забруднювачів на колії.

Відомо, що рейкова лінія є основним елементом рейкового кола і визначає її режими роботи і характерні властивості, що залежать від первинних параметрів - електричного опору ізоляції і електричного опору рейок [4].

Електричний опір рейок Z , тобто опір рейкової петлі, утвореною обома рейковими нитками, визначається за формулою

$$Z_{p.n} = Z_p + (Z_z + Z_n) \quad (1)$$

де Z_p - опір рейок;

Z_z - опір з'єднувача залежить від типу з'єднувачів, що застосовуються й складаються з опору самого з'єднувача і перехідного опору між з'єднувачем і рейкою;

Z_n - перехідний опір між накладками і рейками, який залежить від ступеня забруднення і наявності іржі на дотичних поверхнях накладок і кінців рейок, затягування болтів і метеорологічних умов. Ця величина може змінюватися в широких межах - від десяткових часток до сотень омів. Тому стан з'єднувачів, накладок і ступінь затягування болтів значною мірою визначають опір рейок при постійному сигнальному струмі, а отже, стійкість та надійність роботи рейкових кіл.

Електричний опір ізоляції рейкової лінії чиниться току витоку від однієї рейкової нитки до іншої через шпали $I_{в.ш.}$ й баласт $I_{в.б.}$. Опір визначається конструкцією і станом верхньої будови колії. Рейкові нитки - рейки, розташовуються на шпалах у безпосередній близькості від землі і мають з ними добрий контакт через металеві деталі верхніх кріплень (підкладки, костилі, шурупи, протиуголи), а самі шпали розміщуються в баластному шарі, укладеному на земляному полотні. Через таку конструкцію рейкова лінія є електрохімічною

системою з елементами електронної та іонної провідності зі складними металевими електродами. Електронну провідність мають рейки та всі металеві деталі верхніх кріплень, а іонну - баласт, шпали, земляне полотно та ґрунт. У зв'язку з цим загальний опір ізоляції рейкової лінії визначатиметься опорами, що характеризують витік струму через шпали та баласт, а також опором перехідних шарів, що утворюються на кордоні між елементами електронної та іонної провідності.

Опір баласту залежить більшою мірою від вологості, з підвищенням температури прискорюються електродні процеси і зменшується опір електроліту, внаслідок чого опір баласту падає. Тому найбільший опір баласту спостерігається взимку, коли діють одночасно два фактори: низька температура і мала вологість. Найменший опір зазвичай буває влітку в спекотну погоду через 8-10 хв після проливного дощу, при високій температурі й критичній вологості.

Попадання в електроліт солей, що містять активні іони (мінеральні добрива), різко знижує опір баласту і, як наслідок, зменшується надійність роботи рейкового кола [5]. Опису механізму впливу іонів на електропровідність присвячена робота [6].

Розглядається вплив зміни опору баласта на загальний опір ізоляції у сухому та вологому стані при експлуатації дерев'яних шпал [7]. Зробивши акцент на ділянки, по яким перевозяться солі, мінеральні добрива, металовмісні речовини, а також у районах загальною тривалістю зволоження більш 3000 год/рік.

Для сипких матеріалів, на відміну від суцільних, значення електричного опору сильно залежить від пористості, як це було встановлено в [8]. В [9, 10] показано, що електрична провідність композитів залежить від концентрації наповнювача в матеріалі.

Раніше автори [11] встановили, що в залежності від виду покриття на зернинах щебеню величина питомої електричної провідності може змінюватись у рази та запропонували обробку чистого щебеню перед його укладанням у колію, не враховуючи самі забруднювачі. Подібний метод було описано й у [12], де для збільшення електричного опору всієї композиції вуглецеві волокна оброблялися епоксидною смолою. Різницю між забрудненим і чистим матеріалом визначали в [13] за величиною електричного заряду, що свідчить про можливість цим методом досліджувати електричні властивості чистого та забрудненого щебеню.

Мета досліджень

Вивчення впливу поверхневої обробки щебеню на питому електричну провідність баластового шару для запобігання виникнення помилкової зайнятості колії в умовах масового перевезення мінеральних добрив.

Викладення основного матеріалу

У даній роботі електричну провідність обробленого щебеню визначали за такою методикою. Зразки щебеню заливали дистильованою водою у пропорціях, регламентованих [14], 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.

Вимірювальний пристрій дає можливість отримувати значення електричного опору R , Ом, насиченого розчину. Електричну провідність α визначали за формулою

$$\alpha = 56,25 / R, \quad (2)$$

де R – електричний опір насиченого розчину, Ом;

56,25 – коефіцієнт, постійний для вимірювального куба.

Електричну провідність визначали як для чистого баластного щебеню, так і для забрудненого. Для вивчення впливу покриття на електричну провідність на поверхню щебеню наносили такі речовини: бітум, каніфольну та каніфольно-гліцеринову суміш, лакове покриття, бітумну покривельну мастику, акрилову ґрунтівку, силікон. Для моделювання фактичних умов роботи баластного щебеню на залізничній колії було проведено дослідження мінеральних добрив, таких як хлорид калію (білий), хлорид калію (сірий), нітроаммофоска ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{KCl}$) та аміачна селітра (NH_4NO_3). Значення вимірюваної питомої електропровідності зразків щебеню з різним покриттям наведено в таблиці 1, а в таблиці 2 – значення питомої електро-

провідності тих самих зразків після витримування протягом 3 діб у відповідному добриві. Визначення питомої електричної провідності для брудного щебеню на багатьох зразках не проводилось у зв'язку з відліпанням застосовуваного матеріалу з брудом від щебнини.

Обговорення результатів.

Як свідчать дані вимірювань електрична провідність збільшується при наявності мінеральних добрив. Це пояснюється налипанням гранул добрив на поверхню зернин, що збільшує провідність системи в цілому за рахунок розчинення добрив у воді. Це можна попередити підібравши покриття, на яке адгезій не налипання добрив буде найменшим. Судячи з даних таблиці 2 таким покриттям є акрилова ґрунтівка – значення питомої електричної провідності майже не змінилося порівняно зі зразком без контакту з добривом.

Висновки з даних досліджень

Експериментально доведено, що покриття баластного щебеню органічними речовинами впливає на величину його електричної провідності. Найбільший ефект зниження питомої електричної провідності спостерігався для каніфольно-гліцеринового та силіконового покриття. Найменше налипання притаманне хлориду калію (сірому) та аміачній селітрі, про що свідчать дані низької електропровідності цих зразків. Нанесення захисних покриттів зменшує електропровідність баластного щебеню навіть в умовах просипу на колію перевезених мінеральних добрив, що підвищує надійність роботи рейкового кола.

Таблиця 1- Значення питомої електричної провідності досліджуваних зразків

№ зразка	Опис зразка	Питома електрична провідність, См/м
1	Щебінь чистий	0,023
2	Щебінь забруднений	0,011
3	Щебінь чистий з бітумним покриттям	0,009
4	Щебінь забруднений з бітумним покриттям	0,010
5	Щебінь чистий з каніфольно-гліцериновим покриттям	0,003
6	Щебінь забруднений з каніфольно-гліцериновим покриттям	0,008
7	Щебінь чистий з каніфольним покриттям	0,004
8	Щебінь чистий з лаковим покриттям	0,056
9	Щебінь забруднений з лаковим покриттям	0,010
10	Щебінь чистий з покриттям бітумною мастикою	0,023
11	Щебінь забруднений з покриттям бітумною мастикою	0,024
12	Щебінь чистий з покриттям акриловою ґрунтівкою	0,012
13	Щебінь чистий з силіконовим покриттям	0,006
14	Щебінь забруднений з силіконовим покриттям	0,004

Таблиця 2 - Значення питомої електричної провідності досліджуваних зразків

№	Зразки	Хлорид калію (білий)	Нітро-амофоска	Хлорид калію (сірий)	Аміачна селітра
		æ, См/м	æ, См/м	æ, См/м	æ, См/м
1.	Чистий щебінь, каніфоль без гліцерина	0,201	0,04	0,06	0,51
2.	Чистий щебінь, лак «цапон»	0,225	0,012	0,038	-
3.	Чистий щебінь,	0,152	-	-	0,33
4.	Чистий щебінь,бітум	0,234	-	0,04	0,33
5.	Чистий щебінь, акрилова ґрунтівка	0,093	-	-	-
6.	Чистий щебінь, бітумна мастика	0,216	0,0091	0,051	0,4
7.	Чистий щебінь, каніфоль з гліцеином	-	0,051	-	-
8.	Чистий щебінь, сілікон	0,182	0,08	0,051	0,15
9.	Брудний щебінь	0,216	-	-	-
10.	Брудний щебінь, акрилова ґрунтівка	0,016	-	-	-
11.	Брудний щебінь, каніфоль з гліцеином	0,122	-	-	-
12.	Брудний щебінь,бітумна мастика	0,234	0,07	-	0,6
13.	Брудний щебінь, сілікон	0,166	0,11	-	-
14.	Брудний щебінь, лак «цапон»	0,063	0,06	-	-
15.	Брудний щебінь, бітум	0,22	0,12	0,04	-

Список літератури

- Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України: ЦП-0269: затв. Укрзалізницею 01.03.2012. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс». – 2012. – 456 с.
- Бушувєв, В. І.** 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.
- Патент № 77979** МПК В65G 63/00, В65G 67/00 Спосіб портової перевалки навалочних вантажів із залізничного потяга на судно / **Шиласв П. С., Ломотько Д. В., Данийко М. І., Шевченко В. І., Дунаєвський Л. М., Котенко А. М.**; Власник (и) Українська академія залізничного транспорту – Заявка: u2012 07110, 12.06.2012, публ. 11.03.2013 Бюл №5.
- Котляренко, Н. Ф.** Электрические рельсовые цепи: уч.пос. / **Н. Ф. Котляренко.** – М.: Трансжелдориздат. – 1961. – 328 с.
- Электрохимические процессы в рельсовых цепях и вопросы повышения устойчивости работы импульсных рельсовых цепей постоянного тока / **Булкин Н. А.** // Автоматика, телемеханика и связь. – 1959. – № 9. – С. 11-16.
- Ján Ondruška** Polarization and depolarization currents in kaolin / **Igor Štubňa, Viera Trnovcová, Igor Medved', Tiit Kaljuvee** / *Applied Clay Science.* – 2015. – V. 114. – P. 157-160.
- Старосельский, А. А.** Электрические характеристики пути / **А. А. Старосельский** // *Путь и путевое хозяйство.* – 1990. – №5. – С. 34-35.
- Tumidajski, P. J.** On the relationship between porosity and electrical resistivity in cementitious systems / **P. J. Tumidajski, A. S. Schumacher, S. Perron, P. Gu, J. J. Beaudoin** / *Cement and Concrete Research.* – 1996. – V. 26(4). – 1996. – P. 539-544.
- Florin Danès** Non-uniformity of the filler concentration and of the transverse thermal and electrical conductivities of filled polymer plates / **Florin Danès, Bertrand Garnier, Thierry Dupuis, Philippe Lerendu, Thien-Phap Nguyen** // *Composites Science and Technology.* – 2005. – V. 65(6). – P. 945 - 951.
- Álvaro García** Electrical conductivity of asphalt mortar containing conductive fibers and fillers / **Álvaro García, Erik Schlangen, Martin van de Ven, Quantao Liu** / *Construction and Building Materials.* – 2009. – V. 23(10). – P. 3175 - 3181.
- Трикоз, Л. В.** Дослідження питомої електричної провідності баластного щебеню / **Л. В. Трикоз, І. В. Багіяню** // *Зб. наук. праць. Харків: УкрДУЗТ.* – 2015. – № 155. – С. 179 - 184.
- Toshio Ogasawara** Sensitive strain monitoring of SiC fiber/epoxy composite using electrical resistance change / **Toshio Ogasawara, Shifumi Aizawa, Takeshi Ogawa, Takashi Ishikawa** / *Composites Science and Technology.* – 2007. – V. 67(6). – P. 955 - 962.
- Can hydrocarbon contamination influence clay soil grain size composition? / **Jerzy Trzciniński, David J. Williams, Marek S. Żbik** / *Applied Clay Science.* – 2015. – V. 109 - 110. – P. 49 - 54.
- Щебінь із природного каменю для баластного шару залізничної колії. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-204:2009. – Введ. 12.12.2009. – К.: Мінеріонбуд України. – 2010. – 13 с.

Bibliography (transliterated)

- Instructions for arrangement of and keeping track of railways of Ukraine: CB-0269: approved. UZ 01.03.2012, Kyiv: LLC "NVP Polihrafservis», 2012, 456 p.
- Bushuyev, V. I.** Research, development and evaluation of methods for increasing the stability of the track circuits of

- automatic regulation of train traffic on congested sections: Abstract of Ph.D. - 05.13.07, *Leningrad*, 1983.
- 3 **Patent number 77979** МПК В65G 63/00, В65G 67/00 The method of port freight of transshipment Rail train on a ship / **P. S. Shilacy, D. V. Lomotko, M. I. Danko, V. I. Shevchenko, L. M. Dunaevsky, A. M. Kotenko**; Vlasnik (s) Ukraïnska akademiya Zaliznicново transport - Application: u2012 07110, 12.06.2012, publ. 03.11.2013 Bulletin №5.
 - 4 **Kotlyarenko, N. F.** The electrical rail chains [Text]: uch.pos., Moskov: Transzheldorizdat, 1961, 328 p.
 - 5 **Bulkin, N. A.** Electrochemical processes in rail circuits and to improve the stability of pulsed DC power track circuits. *Automation, Remote Control and Communication*, 1959, **9**, 11 - 16.
 - 6 **Ján Ondruška, Igor Štubňa, Viera Trnovcová, Igor Medved', Tiit Kaljuvee** Polarization and depolarization currents in kaolin *Applied Clay Science*, 2015, **114**, 157 - 160.
 - 7 **Staroselsky, A. A.** The electrical characteristics of the track. *Path and track facilities*, 1990, **5**, 34 - 35.
 - 8 **Tumidajski, P. J., Schumacher, A. S., Perron, S., Gu, P., Beaudoin, J. J.** On the relationship between porosity and electrical resistivity in cementitious systems. *Cement and Concrete Research*, 1996, **26** (4), 539 - 544.
 - 9 **Florin Danès, Bertrand Garnier, Thierry Dupuis, Philippe Lerendu, Thien-Phap Nguyen** Non-uniformity of the filler concentration and of the transverse thermal and electrical conductivities of filled polymer plates / // *Composites Science and Technology*, 2005, **65**(6), 945 - 951.
 - 10 **Álvaro García, Erik Schlangen, Martin van de Ven, Quantao Liu** Electrical conductivity of asphalt mortar containing conductive fibers and fillers. *Construction and Building Materials*, 2009, **23** (10), 3175 - 3181.
 - 11 **Trikoz, L. V., Bagiyanc, I. V.** The research of electrical conductivity of ballast breakstone *Coll. Science. works. Kharkov: UkrDUZT*, 2015, **155**, 179 - 184.
 - 12 **Toshio Ogasawara, Shifumi Aizawa, Takeshi Ogawa, Takashi Ishikawa** Sensitive strain monitoring of SiC fiber/epoxy composite using electrical resistance change. *Composites Science and Technology*, 2007, **67**(6), 955 - 962.
 - 13 **Jerzy Trzciński, David J. Williams, Marek S. Żbik** Can hydrocarbon contamination influence clay soil grain size composition? *Applied Clay Science*, 2015, **109** - **110**, 49 - 54.

Відомості про авторів (About authors)

Трикоз Людмила Вікторівна – доктор технічних наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-68. E-mail: lvtrikoz@ukr.net

Трикоз Людмила – doct. of techn. sciences, associate professor Department Building Materials, Constructions and Structures Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057)730-10-68. E-mail: lvtrikoz@ukr.net

Багіянц Ірина Вікторівна – здобувач кафедри залізничні станції та вузли Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057)730-19-49. E-mail: bagira54017@mail.ru

Bagiyanc Irina – applicant of Department Railway stations and nodes Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057)730-19-49. E-mail: bagira54017@mail.ru

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Трикоз, Л. В. Дослідження баластного щебеню при перевезенні мінеральних добрив залізничним транспортом / **Л. В. Трикоз, І. В. Багіянц** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 35 - 39. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Trikoz, L., Bagiyanc, I. The research of electrical conductivity of ballast breakstone during transportation mineral fertilizers railway transport. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 35 - 39, ISSN 2079-5459.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Трикоз, Л. В. Исследование балластного щебня при перевозке минеральных удобрений железнодорожным транспортом / **Л. В. Трикоз, И. В. Багианц** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 35 - 39. – ISSN 2079-5459.

АННОТАЦИЯ В статье рассмотрено влияние степени загрязненности балластного щебня минеральными удобрениями на величину его удельной электрической проводимости. Установлено, что эта величина может изменяться в зависимости от вида покрытия на зернах щебня и от вида минеральных удобрений, перевозимых железнодорожным транспортом. Такое покрытие может быть предложено для обработки чистого щебня перед его укладкой в путь во время ремонтов для продления сроков эксплуатации балластного слоя, предупреждения адгезионного загрязнения и ликвидации случаев ложной занятости рельсовых цепей.

Ключевые слова: щебень, минеральные удобрения, удельная электрическая проводимость, рельсовая цепь, задержки поездов.

Надійшла (received) 14.12.2015