

ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОРАДІОЛОКАЦІЙНОГО МЕТОДУ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

Лучко Й.Й., д.т.н., професор,
Кравець І. Б., аспірант,

*Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
ім. академіка В. А. Лазаряна
kravetsivan2017@gmail.com*

Анотація. У статті проаналізовано стан земляного полотна на залізницях України, вимоги до нього та методи моніторингу. Акцентується увага на важливості моніторингу стану об'єктів залізничної інфраструктури в умовах впровадження швидкісного руху на залізницях України. Запропоновано, як один із перспективних методів моніторингу земляного полотна – метод георадіолокації. Також приведений світовий та вітчизняний досвід застосування георадіолокації для неруйнівного контролю за станом земляного полотна, баластного шару та штучних споруд.

Приведені дані світового та вітчизняного досвіду показують, що георадари можуть бути ефективно використані для загального обстеження протяжних ділянок і їх перевагами є оперативність проведення робіт і низька трудоемкість.

Ключові слова: земляне полотно, залізнична колія, баласт, моніторинг, георадар, метод георадіолокації.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОГО МЕТОДА НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ УКРАИНЫ

Лучко И.И., д.т.н., профессор,
Кравец И. Б., аспирант,

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
им. академика В. А. Лазаряна
kravetsivan2017@gmail.com*

Аннотация. В статье проанализировано состояние земляного полотна на железных дорогах Украины, требования к нему и методы мониторинга. Акцентируется внимание на важности мониторинга состояния объектов железнодорожной инфраструктуры в условиях внедрения скоростного движения на железных дорогах Украины. Предложено, как один из перспективных методов мониторинга земляного полотна – метод георадиолокации. Также приведен мировой и отечественный опыт применения георадиолокации для неразрушающего контроля за состоянием земляного полотна, балластного слоя и искусственных сооружений.

Приведенные данные мирового и отечественного опыта показывают, что георадари могут быть эффективно использованы для общего обследования протяженных участков и их преимуществами являются оперативность проведения работ и низкая трудоемкость.

Ключевые слова: земляное полотно, железная дорога, балласт, мониторинг, георадар, метод георадиолокации.

APPLICATION OF THE GROUND PENETRATING RADAR METHOD FOR THE UKRAINIAN RAILWAYS

Luchko J.J., Doctor of Science, Professor,

Abstract. The article analyzes the condition of the earth roadbed on the railways of Ukraine, the requirements for it and the methods of monitoring. The attention is paid to the importance of monitoring the state of railway infrastructure objects in conditions of introduction of high-speed traffic on Ukrainian railways. The method of georadiolocation is proposed as one of the promising methods of earth roadbed monitoring.

Georadar is used by many railway companies in Europe to study the geotechnical state of the railway lines. The purpose of such research means continuous, rapid and non-destructive examination of the geotechnical state of the track. Based on these data, a detailed review is carried out and a decision is taken on the elimination of defects in the specified areas. In a number of developed countries (Canada, USA, Germany, Japan) a georadar is used for non-destructive control of the condition of the earth roadbed, ballast layer and artificial structures.

The given data of world and domestic experience show that georadars can be effectively used for the general survey of extended sections, and their advantages are efficiency of work and low labor intensity.

Keywords: earth roadbed, railway track, ballast, monitoring, georadar.

Вступ (постановка проблеми). В умовах підвищення швидкостей руху поїздів особлива увага приділяється забезпеченню надійності залізничної колії, стабільності всіх її елементів, що є головною умовою забезпечення безпеки руху поїздів. Земляне полотно залізниць являє собою складний комплекс ґрунтових об'єктів, що функціонують в умовах природно-кліматичного середовища та динамічних поїзних навантажень, які, змінюючи стан ґрунтового середовища, впливають на рівень надійності та довговічності земляного полотна.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Слід зазначити, що великий внесок у дослідженнях земляного полотна внесли вітчизняні та закордонні вчені: Шахунянець Г. М., Ашпіз Е. С., Блажко Л.С., Гольдштейн М. Н., Фрішман М. А., Рибкін В. В., Даніленко Е. І., Петренко В. Д, Курган М. Б., Виноградов В. В., Грицик В. І., Яковлев В. Ф., Яковлева Т.Г., Бондаренко І. О. та ін.

Головним завданням утримання земляного полотна є забезпечення справного стану всіх його елементів, попередження несправностей, своєчасне їх усунення, а також ліквідація причин, що викликають несправності. Все це регламентується Інструкцією по утриманню земляного полотна залізниць України [1]. Загальна протяжність земляного полотна на залізницях України становить 21872,2 км, у т. ч. протяжність земляного полотна, схильного до деформацій складає 870,8км (4%). Розподіл по залізницях наведений на рис. 1

Згідно з нормативним документом [2], усі елементи залізничної колії за міцністю, стійкістю і станом мають забезпечувати безпечний і плавний рух поїздів із встановленими швидкостями. Тому всі дефекти та пошкодження земляного полотна та його споруд мають бути вчасно виявлені шляхом діагностики і усунені в процесі поточного утримання колії, при планово-запобіжних ремонтах верхньої будови колії, а також при ремонтах і підсиленні земляного полотна.

Для оцінки положення колії, стану рейок та стрілочних переводів застосовуються дефектоскопні та колієвимірювальні вагони. Для баластного шару та земляного полотна також необхідні ефективні засоби достовірної оцінки їх фактичного стану. У зв'язку з цим в теперішній час актуальною науково-технічною задачею є розробка методів моніторингу залізничних колій та обробки результатів виконаних раніше спостережень в цьому напрямку.

Авторами запропоновано застосовувати георадіолокаційний метод, як один із прогресивних методів моніторингу. Оскільки дослідження по застосуванню даного методу, на вітчизняних залізницях, практично не виконувались їх потрібно проводити і розробляти

рекомендації по застосуванню цього методу в умовах українських залізниць.

Метою роботи є проведення аналізу можливості застосування георадіолокаційного методу діагностики на залізницях України.

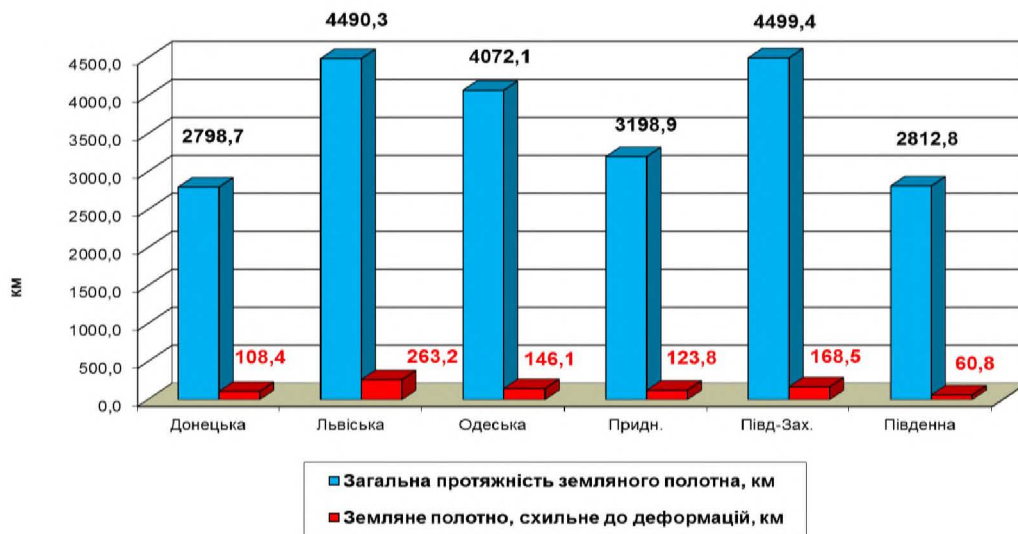


Рис. 1. Діаграма розподілу загальної протяжності земляного полотна по залізницях України і схильного до деформацій земляного полотна

Виклад основного матеріалу. Діагностика земляного полотна – це комплексна система оцінки, що складається з сукупності взаємопов'язаних елементів, таких як визначення фактичного стану земляного полотна, якісна і кількісна оцінка змін, що відбуваються в ньому під впливом динамічних поїзних навантажень, і вплив природно-кліматичних чинників, а також періодичний контроль земляного полотна в процесі експлуатації залізничної колії. Основними завданнями моніторингу земляного полотна є своєчасне виявлення деформацій, що зароджуються, і контроль вже існуючих для підвищення рівня безпеки руху поїздів, зниження експлуатаційних витрат і обґрунтованого вкладення коштів на реконструкцію, ремонт і підсилення земляного полотна, прогнозування стану земляного полотна і його захисних споруд для попередження раптових деформацій або зниження негативних економічних і соціальних наслідків від їх виникнення [3].

До системи діагностики земляного полотна входять об'єкти дослідження, методи і технічні засоби діагностування, класифікація діагностичних ознак (критеріїв розпізнавання деформацій), спеціально підготовлений персонал, що взаємодіє з об'єктом діагностування за правилами, встановленими відповідною нормативно-методичною документацією, висновок про технічний стан об'єкта з обґрунтуванням можливості подальшої його експлуатації або пропозиції щодо вжиття термінових заходів з його посилення. З позиції діагностики земляне полотно, що експлуатується, поділяється на такі категорії: I категорія – аварійне земляне полотно, тобто є ділянки, де сталися значні деформації і зупинений рух поїздів, наприклад, сповзання укосів, руйнування насипів, карстові провали. В такому разі потрібне негайне відновлення земляного полотна і одночасне оперативне обстеження не лише зруйнованої ділянки, але і суміжних з ним ділянок земляного полотна; II категорія – ділянки з виявленими деформаціями земляного полотна, на яких діють попередження про обмеження швидкостей руху поїздів; III категорія – ділянки земляного полотна, розміщені в складних інженерно-геологічних умовах, які вимагають підвищеної уваги через можливість появи на них деформацій (райони карсту, боліт, зсувів, вічної мерзлоти); IV категорія – високі насипи з глинистих ґрунтів, які, як правило, потенційно ненадійні; V категорія – стабільне земляне полотно, але його стан необхідно оцінювати при призначенні термінів ремонту колії. Детальна діагностика проводиться на об'єктах земляного полотна із вже виявленими або з явними ознаками деформацій і має на меті отримання початкових даних для розробки заходів щодо

посилення земляного полотна. Режимна діагностика об'єкта (моніторинг його технічного стану) проводиться періодично в процесі експлуатації колії для виявлення аномальних і сумнівних за станом ділянок та визначення термінів і черговості виконання ремонтних робіт. Вони застосовуються для усіх категорій земляного полотна, але передусім для IV і V категорій [3].

Спеціальні обстеження і спостереження за земляним полотном та його спорудами здійснюються інженерно-геологічними базами та колієобстежувальними станціями по земляному полотну. В разі необхідності для проведення спеціальних спостережень можуть залучатися науково-дослідні, проектні та інші організації, оснащені необхідними технічними засобами діагностики [1].

В даний час крім візуального існує велика кількість методів діагностики земляного полотна. Вони передбачають застосування різноманітних засобів. Геофізичні методи складають основу сучасної системи діагностики земляного полотна, базуються на вивченні закономірностей зміни різних фізичних полів в ґрунтах земляного полотна залежно від їх складу, властивостей і стану. До них належать: інженерно-геологічне буріння, динамічне зондування, нівелювання, лабораторне фізичне моделювання, лабораторні і польові випробування ґрунтів, оцінка деформативності підрейкової основи по пружних осадках колії під навантажувальним поїздом, спеціальна обробка стрічок вагонів колієвимірників, сейсмічний, вібросейсмічний, електромагнітний і радіолокаційний методи, космічна зйомка.

Метод електрометрії дозволяє виявляти деформації основної площадки у вигляді баластних заглиблень і зволжених зон ґрунту, визначати карстові порожнини, оцінювати величину просадки насипу на болотах, визначати межі мерзлих ґрунтів в тілі і основі насипів, а також вирішувати низку інших завдань. Розроблена також модифікація методу електрометрії – електродинамічне зондування (ЕДЗ). Суть ЕДЗ полягає в тому, що в масив ґрунту на глибину, яка досліджується, ударами еталонного вантажу забивається металевий зонд, що складається з декількох сполучених між собою труб. По мірі занурення зонду в земляне полотно через певні інтервали по глибині вимірюється пропущена сила струму через електроди, що знаходяться на кінці зонду. Метод ЕДЗ дозволяє отримувати не лише літологічний розріз земляного полотна, але і дані міцнісних характеристик піщано-глинистих ґрунтів до глибини близько 5-7 м.

Сейсмічний метод дозволяє зондувати земляне полотно вздовж колії і на укосах насипу та вирішувати переважну більшість завдань, які зустрічаються при усіх видах діагностичних досліджень земляного полотна. Серед них детальні дослідження внутрішньої будови земляного полотна, визначення водонасичених зон в насипах і рівня ґрунтових вод в їх основі, оцінка показників властивостей ґрунту і визначення ослаблених по міцності зон в насипах та їх основі, обстеження земляного полотна, що експлуатується, в складних інженерно-геологічних умовах.

Вібраційний метод розроблений для перетворення вхідної динамічної дії, що змінюється в часі, і відгуку системи на цю дію. Істотною перевагою такого методу є можливість оцінювати динамічний стан насипу під час її функціонування, тобто в процесі дії рухомого складу. Вібраційний метод застосовується при попередній діагностиці насипів з виділенням аномальних об'єктів, при моніторингу стану насипів в процесі експлуатації залізниці протягом року з метою прогнозування їх стану, в тому числі при організації швидкісного руху пасажирських поїздів, для виявлення насипів, на яких можливі аварійні деформації від дії рухомого складу.

Перспективним для діагностики земляного полотна та баластного шару є застосування георадіолокаційного методу [4-7], що базується на визначенні геологічних характеристик земляного полотна та основи за параметрами коротких високочастотних електромагнітних імпульсів, що передаються і приймаються через антени (рис. 2). В якості параметрів імпульсів, що визначають геологічні шари, їх форму та глибину розташування границь між ними, є швидкість поширення хвиль і коефіцієнт поглинання. Глибина дослідження ґрунтів георадіолокаційним методом залежить від роздільної здатності георадара та складу ґрунту. Для глин, що є сильно поглинаючими ґрунтами, товщина шару, в якій відбувається поглинання сигналу, становить 3-5 м, для піщаних ґрунтів досліджувана товщина збільшується до 25-30 м [4].

Використання георадіолокаційного методу може бути ефективним для суцільної

діагностики земляного полотна. Георадаром можливе проведення діагностики основної площадки земляного полотна (наявність баластних заглиблень), дослідження структури укосів насипу (визначення розмірів та розташування баластних шлейфів), визначення рівня ґрунтових вод, поділ порід різних за літологічним складом, порожнечі між породою і матеріалом штучної споруди, межі промерзання і відтаювання ґрунту.

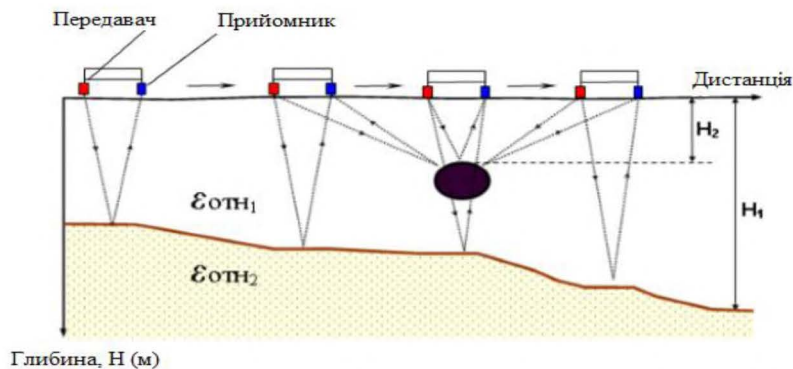


Рис. 2. Схематичне відображення методу радіолокації

Георадар використовується багатьма залізничними компаніями у Європі для вивчення геотехнічного стану залізничних ліній [8]. Ціль таких досліджень полягає в постійному, швидкому та неруйнівному обстеженні геотехнічного стану колії. Опираючись на ці дані в конкретно зазначених місцях проводиться детальний огляд та приймається рішення по усуненню дефектів. У ряді розвинених країн (Канада, США, Німеччина, Японія) для діагностики ґрунтових споруд, у тому числі земляного полотна залізничних доріг, отримало застосування георадарів. Так, на півночі Канади георадар успішно застосовано для загального огляду ділянки лінії Hudson Bay Railway протяжністю 77 км з метою визначення наявності та глибини залягання в основі мерзлоти [9]. Георадар з антенами (частота імпульсу 120 МГц) був встановлений на візок, який переміщався по рейках зі швидкістю 5-7 км/год. Глибина дослідження ґрунтів складала приблизно 10 м. На поздовжньому профілі вздовж колії за результатами радіолокації був складений літологічний розріз з виділенням підшви насипних і границі мерзлих ґрунтів, на підставі якого було прийнято рішення про встановлення на ділянці охолоджувальних пристроїв.

В Німеччині георадар успішно використовувався для визначення виду основної площадки земляного полотна на лінії Leipzig–Hof [10]. Враховуючи, що основна задача заключалась в обстеженні верхніх шарів масиву завтовшки до 1 м і вимагалась точність визначення границі між баластом і ґрунтом в кілька см, антени були застосовані з більш високою частотою – 500 МГц. Для зондування земляного полотна на велику глибину використовувалися антени із частотою 80 МГц. При цьому георадар був змонтований на колійній дрезині і рухався зі швидкістю 10 км/год. Обстеження проводилося на колії з залізобетонними шпалами, які не створювали перешкод. На 3 км ділянці для контролю та інтерпретації результатів георадіолокації було пробурено 8 свердловин. На поздовжньому перерізі за результатами обстеження було нанесено границю баласту і ґрунту земляного полотна. Також георадари можна застосовувати для контролю ущільненості ґрунту під час будівництва водопропускних труб або малих мостів, для пошуку дефектів у будівельних конструкціях, для визначення товщини шарів дорожнього покриття, порожнеч в ґрунті за стінами тунелів, і тощо [11-13].

На українських залізницях метод георадіолокації впровадився нещодавно та потребує наукових досліджень і відпрацювання технології його використання. Так на Львівській залізниці для дослідження земляного полотна працівники інженерно-геологічної бази використовують георадар «ЛОЗА-В». Для правильної інтерпретації отриманих даних паралельно з геофізичним обстеженням виконується інженерно-геологічне дослідження ґрунтів (буріння свердловин) [14].

Дослідженням ефективності методу георадіолокації для оцінки дефектності земляного полотна на українських залізницях проводились професором Петренком В. Д. та інженером Ковалевичем В. В. [15-16].

Для проведення георадарного обстеження було прийнято рішення виконати поздовжні електромагнітні профілі на різних ділянках земляного полотна Львівської залізниці. Так земполотно на ділянці перегону Надвірна-Делятин представлено насипом висотою до 15 м. Дана ділянка земполотна відноситься до нестійких по причинах осідання внаслідок зростання баластних заглиблень. Раніше на цій ділянці були виконані роботи по бортовий вирізці і облаштування однополичного контрбанкету. Як виявилось при зондуванні ділянки земполотна на перегоні Надвірна-Делятин на глибині 4,5-6,7 м розташовані розушільнені перезволожені ґрунти, що обумовлено наявністю старих прорізів. Це призводить до перезволоження ґрунту, що ймовірно і є однією з причин осідання основної площадки земляного полотна. Такий висновок підтверджується аналізом поздовжніх електромагнітних профілів, які вказують на те, що під зонами розушільнення ґрунту знаходяться лінійно протяжні об'єкти – старі прорізи. В процесі огляду місця георадарного обстеження було виявлено також зволоження щебеню в підшві баластної призми і наявність випирання на лівому укосі земполотна. Отже, зволоження щебеню свідчить про наявність води в тілі земполотна і, як наслідок, зростання баластних заглиблень. Роботи по інженерно-геофізичному обстеженню виконані також на ділянці з хворими місцями перегону Хриплин-Делятин довжиною 200 м. Земполотно на цій ділянці представлено насипом висотою 18-20 м, облаштованим під одну колію на ланковій конструкції на дерев'яних шпалах з щебеним баластом. Деформації проявилися у вигляді нерівномірних осідань. Першочергові протидеформаційні заходи, що включають бортову вирізку і відсіпання контрбанкетів з лівого боку, лише на короткий час призупинили розвиток деформаційних процесів. Однак після інтенсивних зливових дощів стався зсув полки контрбанкетів на довжині земполотна 30 м. При георадарному зондуванні виявлені на глибинах 5-6,7 м лінійно протяжні об'єкти, які є старими дренажними прорізами. Над ними, як з'ясовано при аналізі годографів, знаходяться зони або розушільнених, або перезволожених ґрунтів. Земполотно на ділянці перегону Підволочиськ-Тернопіль завдовжки 246 м представлено двоколіїним насипом висотою 12, 5 м. Ця ділянка земполотна знаходиться на обліку як нестійке місце. У період тривалих опадів на ділянці стався зсув правого укоса земполотна. В якості протизсувних заходів був зведений однополичний контрбанкет. Однак відбулася просадка колії на 40 мм після зливових дощів [16].

Після проведення георадарного обстеження ділянки земляного полотна на перегоні Підволочиськ-Тернопіль встановлено, що основними причинами деформацій земполотна і контрбанкетів є: 1) відсіпання верхньої частини насипу неоднорідними ґрунтами з включенням лінз вапняку, що сприяло створенню баластних заглиблень; 2) наявність баластних заглиблень і, як наслідок, води в тілі насипу і на основній площадці земляного полотна; 3) перезволоження і зменшення міцності ґрунтів, що залягають в основі відсіпаного контрбанкету.

На основі георадарних досліджень були надані рекомендації по ліквідації деформацій земполотна на розглянутих ділянках [16].

Висновки та перспективи подальших досліджень. На даний момент на українських залізницях діагностиці земляного полотна приділяється недостатня увага. Методами, які найбільш використовуються, являються огляди, що не завжди ефективно та надійно, тим більше в умовах збільшення швидкості руху. Тому для створення ефективної системи контролю деформацій земляного полотна, що дозволяє фіксувати їх появу на ранній стадії і забезпечувати своєчасне виконання робіт із стабілізації та підсилення найбільш небезпечних об'єктів, необхідно проводити повторювані в часі спостереження за цими об'єктами з періодом, що гарантує не втрату контролю за деформаціями земляного полотна.

Приведені дані світового та вітчизняного досвіду показують, що георадари можуть бути ефективно використані для загального обстеження протяжних ділянок і їх перевагами є оперативність проведення робіт і низька трудоемкість. Також як показав аналіз результатів, отриманих в роботах [15, 16] по застосуванню георадару в умовах українських залізниць, цей пристрій є хорошим інструментом для швидкого виявлення в земляному полотні дефектів різного рівня і своєчасного лікування хворих місць, що у свою чергу призводить до підвищення безпеки руху поїздів. У зв'язку з цим актуальною науково-технічною задачею в подальшому є проведення досліджень та розробка рекомендацій по георадіолокаційному моніторингу інфраструктури залізничного транспорту України.

Література

1. Інструкція з утримання земляного полотна залізниць України / Л.І. Дяченко, Г.П. Кислий, В.О. Курач. – Д.: Вид-во АТЗТ ВКФ «Арт-Прес», 2001. – 104 с.
2. Правила технічної експлуатації залізниць України. – К.: «Видавничий дім «Сам», 2003. – 133 с.
3. Сорока О. Аналіз методів діагностики земляного полотна. Їх переваги та недоліки / О. Сорока // Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія “Транспортні системи і технології”, 2011. – Вип. 19. – С. 75-80.
4. Ашпиз Е. С. Мониторинг земляного полотна при експлуатації железных дорог / Е. С. Ашпиз. – М.: Путь-пресс, 2002. – 112 с.
5. Miroshnik M. Implementation of cryptographic algorithms on FPGA-based digital distributed systems / M. Miroshnik // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, 2015. – №3. – С. 3-9.
6. Непомнящих Е. В. Диагностика состояния железнодорожного пути: учебное пособие по выполнению лабораторных работ для студентов 2 и 4 курса специальности 271501 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей» / Е. В. Непомнящих. – Чита: ЗаБИЖТ, 2012. – 109 с.
7. Воробье В. Б. Оценка засоренности баласта железнодорожного пути методом георадиолокации / В. Б. Воробьев, В. И. Колесников, В. А. Явна // Инженерная и рудная геофизика 2008: сб. тр. междунар. науч.-практ. конф. – Геленджик: EAGE, 2008. – С. 2.
8. Asger E. GPR for High-Speed Rail Trackbed Investigations / E. Asger // 11th International conference on Ground Radar. – Columbus, 19-20 June, 2006.
9. Hayley D.W. Maintenance of railway grade over permafrost in Canada / D. W. Hayley // V International Conference on Permafrost in Trondheim, Norway, August. – 1988. – Vol. 3. – P. 43-48.
10. Gabel C., Hellmann R. and Petzold H. Georadar – model and insitu investigations for inspection of railway tracks / C. Gabel, R. Hellmann, H. Petzold // The Fifth International Conference GRP 94, Canada. – 1994. – Vol 3. – P. 1121-1135.
11. Изюмов С. В. Использование георадаров серии «ТР-ГЕО» в инженерной геофизике и строительстве / С. В. Изюмов, С. В. Дручинин // Подземное пространство мира, 2005. – Вип. №6. – С. 14-21.
12. Изюмов С. В. Применение георадаров серии «ТР-ГЕО» при производстве работ закрытым способом / С. В. Изюмов, Н. А. Круглов, А. В. Чернышев // Метро и тоннели, 2011. – Вип. №1. – С. 17-19.
13. GEORADARY. PL Wyspecjalizowane georadary do badań dróg, nasypów kolejowych i tuneli. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://georadary.pl/uploads/dokumenty/transport_pl.pdf.
14. Міжнародний техніко-економічний журнал «Українська залізниця». Діагностика колій Львівської залізниці. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ukrailways.com/statti/1942-diaagnostika-kolij-lvivskoji-zaliznitsi.html>.
15. Петренко В. Д. Застосування георадару для визначення пошкоджень високого насипу земляного полотна / В. Д. Петренко, В. В. Ковалевич // Проблемы и перспективы развития ж.-д. трансп.: тез. 71 междунар. науч.-практ. конф. М-во инфраструктуры Украины, Днепропетр. национ. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – С. 238-239.
16. Применение георадиолокационного метода при исследовании дефектов высоких насыпей железнодорожного земляного полотна / В. Д. Петренко, В. И. Харлан, В. Н. Косяк, В. В. Ковалевич // Стр-во, материаловедение, машиностроение: сб. науч. тр. ПГАСА. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 61. – С. 312-316.

Стаття надійшла 12.04.2018