

УДК 625.172:625.12(083.75)

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОТЕКСТИЛЮ В КОНСТРУКЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

Кандидати техн. наук О.М. Баль, В.В. Ковальчук,
інж. Б.В. Костик

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОТЕКСТИЛЯ В КОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Кандидаты техн. наук Е.М. Баль, В.В. Ковальчук,
инж. Б.В. Костык

INVESTIGATION OF EFFECTIVE USE OF GEOTEXTILES IN THE RAILWAY TRACK

Associate Professor Olena Bal, Ph.D. Vitaliy Kovalchuk, Bohdan Kostyk

Розроблено методуку і побудовано алгоритм дослідження ефективності капітальних вкладень на підсилення конструкції колії за допомогою вкладання під баластний шар геотекстильних матеріалів. Проведено збір і опрацювання статистичного матеріалу для виконання експерименту. В результаті порівняння отриманих даних зроблено висновки, щодо доцільності використання геотекстильних матеріалів на ділянках в залежності від експлуатаційних та природніх умов.

Ключові слова: геотекстиль, залізнична колія, земляне полотно.

Разработана методика и построен алгоритм исследования эффективности капитальных вложений на усиление конструкции пути с помощью вложения под балластный слой геотекстильных материалов. Проведен сбор и обработка статистического материала для выполнения эксперимента. В результате сравнения полученных данных сделаны выводы о целесообразности использования геотекстильных материалов на участках в зависимости от эксплуатационных и природных условий.

Ключевые слова: геотекстиль, железнодорожный путь, земляное полотно.

The method is developed and the algorithm of efficiency research of investments to strengthen railway track structures by means of laying in the ballast layer of geotextile materials is formed. Information gathering is conducted and processing of statistical data for the experiment. As a result of comparison of obtained data on the feasibility of using geotextile materials in areas depending on the operating and environmental conditions is made a conclusion.

Key words: geotextile, railway track, road bed.

Вступ. Застосування геотекстильних матеріалів в будівництві стрімко зростає. Вони використовуються у будівництві доріг, тунелів, залізниць, шляхопроводів для транспортування газів та рідин, для армування насипів, у гідротехнічному будівництві, будівництві дренажів і спортивних майданчиків.

Геотекстильними матеріалами називаються матеріали, у яких як мінімум одна зі складових частин виготовлена із синтетичних, або натуральних полімерів у вигляді плоских форм, стрічкових, або тривимірних структур, які використовуються в геотехніці, або застосовуються в інших

областях будівництва в контакт з ґрунтом та іншими будівельними матеріалами для підвищення технічних характеристик ґрунтів, або елементів будівельних конструкцій [1].

Найбільш характерними дефектами основної площадки є баластні заглиблення, які пов'язані з недостатньою міцністю ґрунтів земляного полотна. Що пояснюється збільшенням навантаження на земляне полотно та давністю побудованого земляного полотна. Для підвищення несучої здатності земляного полотна і попередження виникнення деформацій передбачаються заходи по глибокому очищенню щебеневого баласту,

плануванню основної площадки, а також влаштуванню захисних підбаластних шарів з геотекстилю.

Актуальність дослідження обґрунтовується необхідністю встановлення доцільності додаткових капітальних вкладень в підсилення конструкції залізничної колії геотекстильними матеріалами.

Постановка проблеми. Стабільність залізничної колії значною мірою залежить від стану земляного полотна. Одним із його важливих елементів є основна площадка, що визначає стабільність геометрії рейкової колії. Разом із тим, складні умови роботи ґрунтів основної площадки привели до широкого розповсюдження дефектів і деформацій цього елемента, що потребує збільшених витрат на поточне утримання колії. Одним із основних напрямків ресурсозбереження в колійному господарстві являється зменшення витрат на поточне утримання колії, яке можна досягти за рахунок використання нових ефективних матеріалів в конструкції залізничної колії.

В даній статті досліджується ефективність застосування геотекстильних матеріалів в конструкції залізничної колії в залежності від умов експлуатації. Оскільки на даний час практично не вивчено взаємозв'язок деформацій геометрії рейкової колії з наявністю і станом геотекстилю в її конструкції, а також відсутня кількісна оцінка ефективності використання геотекстилю на українських залізницях, не розроблені методи вибору матеріалу в залежності від експлуатаційних умов.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Основою дослідження ефективності застосування геотекстильних матеріалів у конструкції залізничної колії є вивчення і аналіз попередніх праць стосовно властивостей, функцій, сфер застосування геотекстильних матеріалів, які висвітлені у роботах [1-6].

До геотекстильних матеріалів відносяться: геотекстилі, геосітки, георешітки, геомати, геомембрани, геотекстильні глиномати, геокомпозити [1].

Серед яких основними в застосуванні є геотекстилі. Це тонкі водопроникні еластичні полотна, отримані шляхом об'єднання ниток, або волокон із синтетичної сировини, величина вічок таких полотен менш 10 мм [3].

До основних функцій, які виконують геотекстильні матеріали можна віднести наступні:

1. *Поділ* – запобігання перемішуванню різних ґрунтів між собою на їх контакт при пошаровому укладанню.

При будівництві доріг зазвичай використовують щебінь. Але з часом на дорозі зі слабкою основою (глина, торф, або перезволожені ґрунти) утворюються колії або щебінь взагалі «тоне». Геотекстиль допомагає у вирішенні цих проблем, перешкоджаючи перемішуванню щебеневої засипки з основою, зберігаючи первинну товщину засипки, що в поєднанні зі значним модулем пружності самого геотекстилю дозволяє: значно збільшити несучу здатність такої конструкції; забезпечити підвищену ступінь ущільнення на етапі будівництва, запобігаючи втискуванню щебеню в м'яку основу; знизити руйнування доріг, що викликається дією морозу.

В результаті застосування геотекстилю, як розділового шару спостерігається зниження: витрат на укладання (зменшення використання щебеню для досягнення такої ж несучої здатності); часу будівництва за рахунок більш швидкого і якісного ущільнення; вартості технічного обслуговування і підвищення терміну працездатності конструкції.

Геотекстиль запобігає вимиванню піску, перемішування його з щебенем, або ґрунтовою основою, збільшує жорсткість конструкції і значно знижує ймовірність просадок, що полегшує ремонт і перепланування при значно менших матеріальних, трудових і часових затратах [4].

2. *Армування* – підвищення несучої здатності ґрунтів або ґрунтових конструкцій внаслідок перерозподілу в них розтягуючих напружень на геотекстиль або геотекстильподібні матеріали.

Поєднання високого початкового модуля пружності й видовження дає можливість матеріалу поглинати великі енергії. Це забезпечує йому підвищену міцність до руйнування під час укладання і виконує армуючу функцію при роботі. Крім того, геотекстильні матеріали не схильні до гниття, дії грибків і плісняви, проростання коренів [1].

Чистий баластний шар правильно передає навантаження з рейкової колії до основної площадки, рівномірно розподіляючи його по всій площині. При забрудненні, кут

внутрішнього тертя баласту зменшується і навантаження передається не на всю площину основної площадки, деформуючи баласт та земляне полотно.

Геотекстиль розділяє щебінь та ґрунт, перешкоджає проникненню забруднювачів із земляного полотна в баласт, а також протидіє проникненню фракцій баласту у земляне полотно. Геотекстиль також перерозподіляє напруження по всій площині основної площадки при забрудненому баласті, підвищує

несучу здатність колії, виконуючи армуючу функцію (рис. 1).

За результатами експериментальних досліджень моделей земляного полотна з різними варіантами армування основної площадки за допомогою геотекстилю В.Д. Петренка, В.Т. Гузченка, А.Л. Тюлькіна, А.М. Алхдура [6] доведено, що армування геотекстилем основної площадки земляного полотна дозволяє значно підвищити її міцність (до 1,5...1,6 разів).

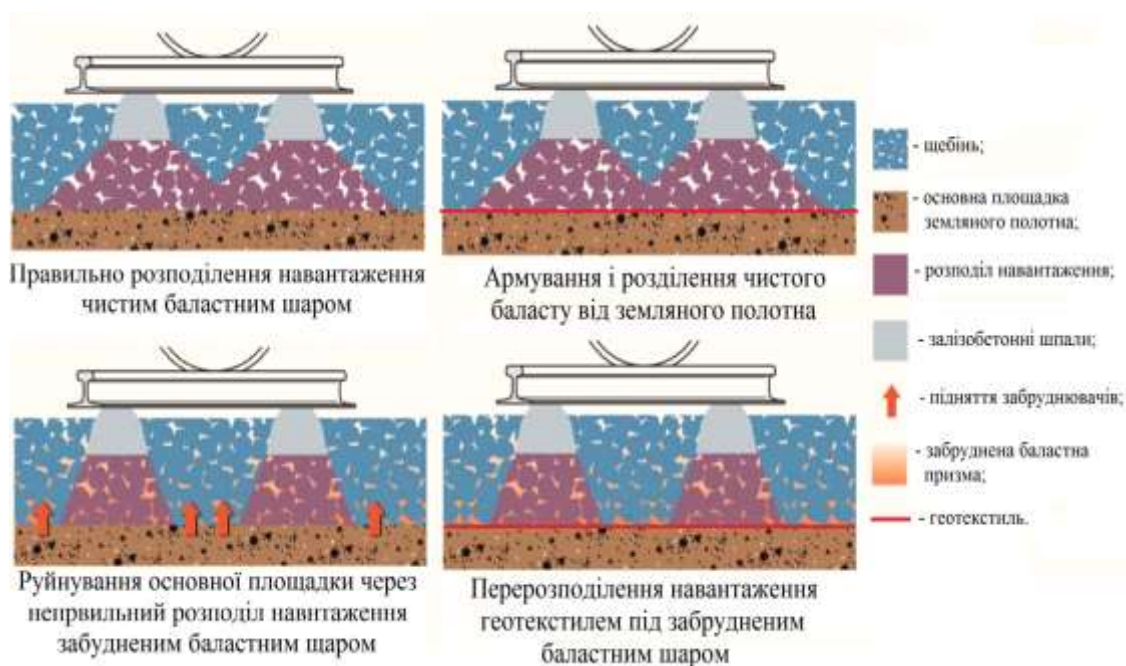


Рис. 1. Розподілення навантаження баластом від шпал до основної площадки земляного полотна і забруднення баласту часточками ґрунту

3. *Фільтрування* – затримування ґрунту або інших частинок, які під дією гідродинамічних сил потоку рідини можуть проникати чи проходити через геотекстиль або геотекстильоподібні матеріали. *Дренування* – збір і транспортування поверхневого стоку, ґрунтових вод чи інших рідин.

Фільтрація полягає в пропуску через геотекстиль ґрунтових вод із земляного полотна у верх до колійної структури без пропуску частинок ґрунту земляного полотна. Поперечний дренаж полягає у відведенні дощової води, яка проникає через баласт, а також води, яка піднімається перезволоженим ґрунтом основи у дренаючі кювети (рис. 2).

Найбільш ефективним технічним рішенням по попередженню забруднення баласту глинистими частинами та підсилення основної площадки, являється укладка підбаластного захисного шару із сортувального м'якого піску, поверх якого укладається геотекстиль. М'який пісок відфільтровує глинистий ґрунт, а геотекстиль – пісок. Потрібна для ефективного фільтрування товщина захисного шару – 0,2-0,4 м [3]. Таке рішення найдоцільніше при вологих ґрунтах та високому рівні ґрунтових вод і навіть в умовах артезіанських ґрунтових вод, які можуть знаходитися у виїмках.

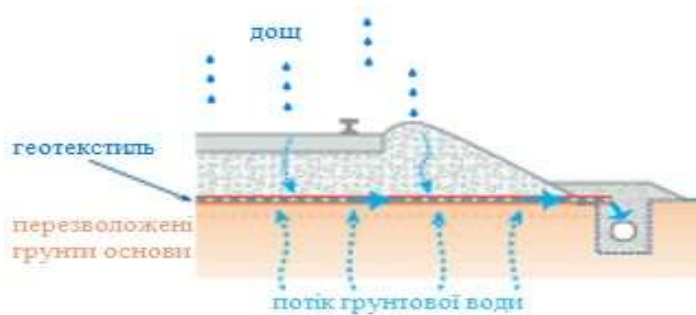


Рис. 2. Поперечний дренаж

4. *Захист* – запобігання або зниження можливості локального пошкодження певного елемента або матеріалу конструкції.

5. *Ізоляція* – запобігання міграції газу або рідини.

6. *Захист від ерозії* – стабілізація нестійких частин ґрунтів на похилих поверхнях [2].

Підсумовуючи попередні дослідження можна стверджувати наступне.

Проблеми накопичення пилу з ґрунтової основи, а також втрата несучої здатності основної площадки земляного полотна можуть бути вирішені застосуванням геотекстилю, в якості розділювача між ґрунтом основи та баластним шаром. При цьому геотекстиль виконує функції розполілу між ґрунтом основної площадки та баластним шаром, армування з ціллю утримання баластного шару, фільтрація ґрунтових вод, поперечного дренажу води, яка поступає зверху і знизу матеріалу всередині його площини, виводячи воду в дренажні канали [5].

У праці Бушуєва М. В. [7] проведено дослідження впливу геотекстилю на накопичення деформацій рейкових ниток за допомогою порівняння несправностей, зафіксованих на ділянках Октябрської залізниці протягом трьох років експлуатації [7]. Результати дослідження показали, що накопичення відступів у колії з геотекстилем протягом всього напрацювання тоннажу відбувається більш стабільно. При цьому кількість відступів залишається помітно меншою. Колія з геотекстилем не потребує ремонтів, які були виконані для колії без геотекстилю.

У даний час широко поширена думка, що застосування геотекстилю в конструкції баластної призми призводить до зниження кількості відступів другого і третього ступеня і зменшення витрат на поточне утримання колії.

Однак, як показує практика експлуатації, на ділянках з геотекстилем спостерігаються відступи другого і третього ступеня, причому навіть при невеликих напрацюваннях тоннажу. Практично не вивчено взаємозв'язок цих відступів з наявністю і станом геотекстилю. А також відсутня кількісна оцінка ефективності використання геотекстилю на українських залізницях, не розроблені методи вибору матеріалу і технології.

Враховуючи, що укладання геотекстилю пов'язане з додатковими капітальними вкладеннями, необхідно провести оцінку ефективності цих вкладень. Кількісну оцінку можна провести за результатами показань колієвимірювальних вагонів, порівнянням кількості несправностей геометрії рейкової колії на ділянках, де вже вкладений геотекстиль, і на ділянках, де він відсутній за однакових напрацювань тоннажу.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є оцінка ефективності застосування геотекстилю в конструкції верхньої будови колії.

Завданням дослідження є розробити методичку і програму дослідження ефективності геотекстилю в конструкції залізничної колії; зібрати і опрацювати статистичну інформацію стосовно роботи залізничної колії із геотекстильними матеріалами, проаналізувати отриману інформацію і сформулювати висновки.

Основна частина дослідження. Методика дослідження ефективності геотекстилю в конструкції залізничної колії розроблена на основі [8] і висвітлена в роботі [9].

Дослідження ефективності застосування геотекстилю в конструкції залізничної колії виконується згідно розробленого алгоритму досліджень зображеного на рис. 3.



Рис. 3. Алгоритм проведення дослідження

Аналіз даних при цьому буде проводитись по сумі відступів за рівнем (перекуси і плавні відхилення) та осіданням. Для досягнення якнайбільшої однорідності зовнішніх умов експерименту ділянки залізниці, які порівнюються, необхідно групувати за умовами експлуатації, та природними умовами (рис. 4).

Економічний ефект від застосування геотекстилю в конструкції колії визначатиметься як різниця сум затрат на поточне утримання і ремонт колії у міжремонтному циклі при використанні геотекстилю та без нього.

Приклад практичних рішень. Для проведення дослідження проведено збір ділянок, на яких виконувався ремонт колії з вкладанням на основну площадку земляного полотна геотекстилю. Ділянки відібрані шляхом аналізу проектів виконання робіт з капітального ремонту чи модернізації колії. А саме у 2012 році при виконанні модернізації ділянок колії на наступних ділянках під очищений баласт вкрито геотекстиль: парна колія від 1644 км ПК3 + 49,8 м до ПК4 + 52 м та від 1646 км ПК8 + 61 м до 1647 км ПК0 + 09 м перегону Скотарське-Воловець; непарна колія від 84 км ПК9 + 14,7 м до ПК9 + 44,7 м та від 92 км ПК 5 + 48,7 м до ПК5 + 93,7 м перегону

Верба-Кам'яниця; непарна колія від 1449 км ПКЗ + 09 м до ПК4 + 29 м перегону Задвір'я-Борщовичі. Досліджувані ділянки знаходяться

в межах приблизно однакових природних умов. У табл. 1 приведено характеристики дослідних ділянок.

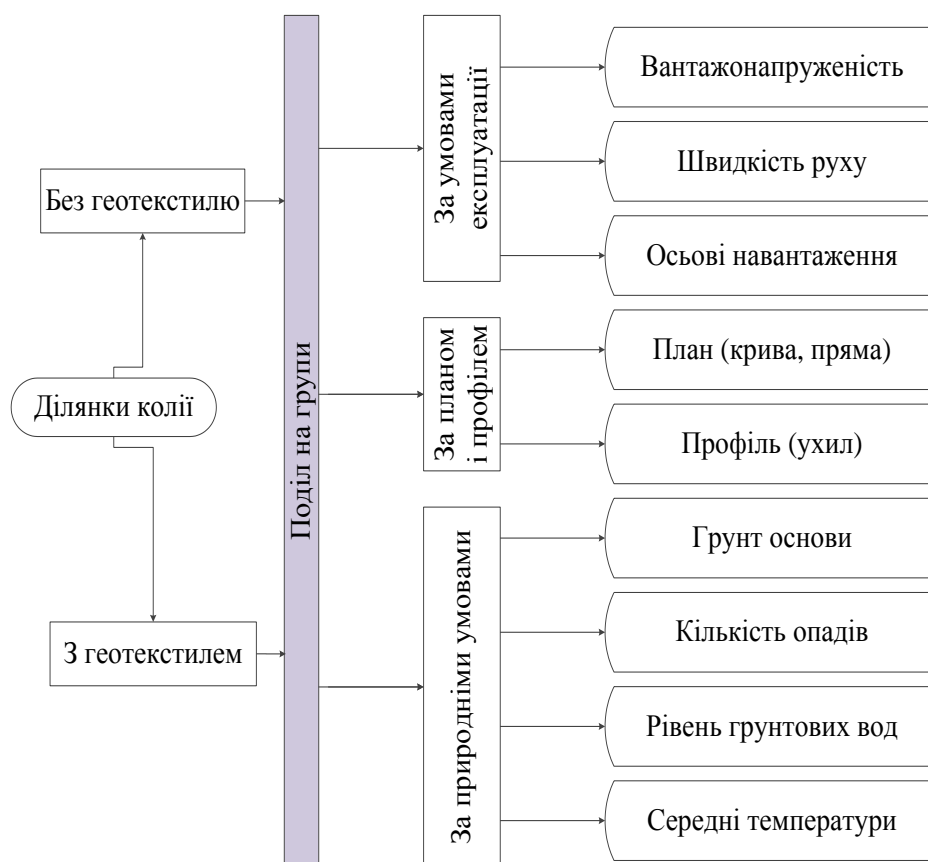


Рис. 4. Поділ досліджуваних ділянок колії на групи за характеристиками

Таблиця 1

Експлуатаційні умови досліджуваних ділянок

Перегін	Рік укладання геотекстилю	Вантажна напруженість, млн т км брутто/рік	Швидкості руху пас./вант., км/год	Локомотиви, що обертаються
Верба-Кам'яниця	2012	36	120/90	ВЛ80, ВЛ60, ЧС8, ЧС4
Задвір'я-Борщовичі	2012	45	120/90	ВЛ80, ВЛ60, ЧС8, ЧС4
Скотарське-Воловець	2012	32	80/60	ВЛ11

Для приведених вище ділянок зібрані стрічки колієвимірювального вагона після виконання модернізації колії з вкладанням геотекстилю на кожен рік експлуатації. В якості ділянок без геотекстилю з аналогічними

експлуатаційними та природними умовами взято інші ділянки тих же напрямків, на яких виконувалась модернізація колії одночасно з досліджуваними ділянками. Для них теж зібрані стрічки колієвимірювального вагона.

Зібрані стрічки є результатами вимірювань одного і того ж вагона колієвимірювача за один прохід на ділянках з геотекстилем та без нього. Зібрані стрічки колієвимірювального вагона проаналізовані за [10].

На дослідних ділянках вкладено геотекстиль невеликої довжини (30-120 м), тому показник, яким оцінюється кількість відступів другого і третього ступенів на кілометр колії замінено на показник, який оцінює кількість відступів на одну ланку залізничної колії, тобто на 25 м, тому формула для даного дослідження буде мати вигляд

$$B_{np} = \frac{\sum B_i}{n}, \quad (1)$$

де $\sum B_i$ – сума відступів другого і третього ступеня на всіх ланках; n – кількість ланок колії.

Дисперсія обчислюватиметься відповідно за формулою

$$D = \frac{\sum (B_i - B_{np})^2}{n - 1}. \quad (2)$$

Кількість відступів на ділянках при певному напрацюванні приведена в табл. 2.

Таблиця 2

Кількість відступів в залежності від напрацювання

Напрямок	Напрацювання t_i , млн т км брутто	Кількість відступів B_i	
		з геотекстилем	без геотекстилю
Скотарське-Воловець	10,67	1	7
	42,67	3	13
	74,67	0	9
Верба-Кам'яниця	12	1	14
	48	0	17
	84	1	15
Задвір'я-Борщовичі	15	0	40
	60	0	78

Під час проведення експерименту під спостереженням знаходиться група ланок колії, які працюють в однакових умовах. Період нагляду (напрацювання) з $t_1 = 10,76$ млн.т до $t_2 = 86$ млн.т, тобто $t = 73,24$ млн.т. За цей час зафіксовано відступів: на ланках з геотекстилем $\sum B_i = 6$ відступів, на ланках без геотекстилю $\sum B_i = 193$ відступів.

Таким чином, середнє напрацювання на відмову та довірчі кордони для ділянок з геотекстилем склали:

$$38,15 \leq 44,45 \leq 50,75 \text{ млн.т.}$$

Статистична похибка при цьому складає 14,17 %.

Середнє напрацювання на відмову та довірчі кордони для ділянок без геотекстилю склали:

$$43,62 \leq 43,67 \leq 43,72 \text{ млн.т}$$

Статистична похибка при цьому складає 0,11 %.

Як видно з проведеного розрахунку середні напрацювання на відмову на дослідних ділянках практично однакові. Проте на сьогодні ще не достатньо статистичної інформації для формування висновків.

З даного дослідження не можна зробити глобальних висновків про ефективність застосування геотекстилю для підсилення основної площадки земляного полотна через обмежену кількість статистичної інформації,

але продовження збору даних про поведінку колії на ділянках з геотекстилем, пошук нових ділянок та проведеннь інших досліджень можуть дати ґрунтовні результати і створити можливість суттєво зменшити експлуатаційні витрати, збільшити надійність колії шляхом застосування геотекстилю. Подальше проведення експериментів та аналіз досвіду використання геотекстилю на залізницях інших країн світу дозволить систематизувати поширені матеріали, які придатні для підсилення земляного полотна і дають найбільший економічний ефект, а також перевірити конкретні конструкції з використання в якості армування геотекстилю в різні умовах роботи.

Висновки з дослідження, перспективи, подальший розвиток. Розроблено методику і побудовано алгоритм дослідження ефективності капітальних вкладень на підсилення конструкції колії за допомогою вкладання під баластний шар геотекстилю. Дана методика передбачає аналіз накопичення відступів за рівнем, зафіксованих колієвимірвальним вагоном на ділянках, де вкладений геотекстиль, та на ділянках, де він відсутній, які діляться на групи з однаковими експлуатаційними і кліматичними умовами.

Проведено збір і опрацювання статистичного матеріалу для виконання

експерименту. В результаті проведення розрахунків виявилось, що застосування геотекстилю для підсилення основної площадки земляного полотна за три роки експлуатації конструкції призвело до утворення меншої кількості деформацій колії за рівнем, ніж у ідентичних ділянках без застосування геотекстилю на 7,4%. Це говорить про наявність позитивного ефекту у використанні геотекстилю для підсилення основної площадки земляного полотна.

Також визначено, що використання геотекстилю в конструкції колії за обмежений період дослідження дає приблизно однакове напрацювання.

Попередні результати свідчать про можливість збільшення надійності конструкції колії за допомогою геотекстилю, створення можливості суттєвого зменшення витрат на утримання колії. Продовження проведення експериментів з використанням геотекстилю для підсилення конструкції колії, аналіз досвіду інших країн світу дозволять отримати ґрунтовні результати щодо економічної ефективності застосування геотекстилю та систематизувати конструкції колії з геотекстилем і поширені гетекстильні матеріали в залежності від умов роботи колії.

Список використаних джерел

1. Торик, Д.Р. Применение геосинтетических материалов для борьбы с растительностью [Текст] / Д.Р. Трорик, В.С. Желновач, В.А. Шахматов // Наук.-техн. зб. ХНАГХ – Харьков: ОАО «Укргідропроєкт», 2010. – № 97. – С. 106-112.
2. Мануйленко, В.Г. Геосинтетические материалы: классификация, свойства, область применения [Текст] / В.Г. Мануйленко, Е.Ф. Орел, О.В. Кабернюк, О.В. Слотюк // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 126. – С. 234-238.
3. Рекомендації щодо застосування геотекстильних матеріалів для капітального ремонту земляного полотна [Текст]: Затв. 14.04.2003 р., ЦП-3/14 / В.Д. Петренко, В.Т. Гузченко, О.Л. Тютькін, В.П. Купрій. – К., 2007. – 33 с.
4. Перков, Ю.Р. Повышение надежности дорожных конструкций путем армирования земляного полотна синтетическими материалами [Текст] / Ю.Р. Перков, А.П. Фомин // Труды ГипродорНИИ. – М., 1980. – №30 – С. 9-18.
5. Применение тканого геотекстиля «Геоспан» при строительстве железных дорог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.domcomfort.ru/index.php?id=106>.
6. Результаты анализа параметров экспериментальных исследований армирования геотекстилем земляного полотна [Текст] / В.Д. Петренко, В.Т. Гузченко, А.Л. Тюлькин, А.М. Алхдур // Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту заліз. трансп. ім. академіка В. Лазаряна: зб. наук. праць. – Дніпропетровськ, 2010. – С. 131-135.
7. Бушуев, М.В. Эффективность применения геотекстиля в конструкции железнодорожного пути [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: специальность ВАК РФ 05.22.06 «Железнодорожный путь, изыскание» / М. В. Бушуев. – СПб., 2008.

8. Планирование эксперимента и анализ данных [Текст]: пер. с англ. / научн. ред. С.Б. Барон. – Л.: Судностроение, 1980. – 384 с.

9. Баль, О.М. Ефективність застосування геотекстилю в конструкції залізничної колії [Текст] / О.М. Баль, Б.В. Костик // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій. – Львів: Каменяр, 2014. – Вип. 10. – С. 221-228.

10. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії [Текст]: ЦП-0020. Затв. 01.05.2012. – К., 2012. – 168 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор Й.Й. Лучко

Баль Олена Миронівна, канд. техн. наук, доцент кафедри рухомого складу і колії Львівської філії Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Тел. 093-751-50-22. E-mail: olenabal@mail.ru.

Ковальчук Віталій Володимирович, канд. техн. наук, асистент кафедри рухомого складу і колії Львівської філії Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Тел. 097-223-72-43. E-mail: kovalchuk.diit@mail.ru.

Костик Богдан Васильович, майстер монтажних та будівельних робіт відокремленого підрозділу «Мостобудівельний поїзд № 63» Державного територіально-галузевого об'єднання «Львівська залізниця» Державної адміністрації залізничного транспорту України. Тел. 0938682262. E-mail: bodiakost@rambler.ru.

Bal Olena, PhD, Associate Professor, Associate Professor of rolling stock and railway truck department of Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lasarian.

Vitaliy Kovalchuk, Ph.D., assistant of rolling stock and railway truck department of Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lasarian.

Bohdan Kostyk, master installation works and construction works. The State Administration of Railway Transport of Ukraine "Ukrzaliznytsia", State Territorial Branch Association "Lviv Railway" (Derzhavne terytorialno-galuzeve obiednannya "Lvivska zaliznytsia"), Separated Subdivision "Bridge Building Train № 63" (Vidokremlenyi pidrozdil "Mostobudivelnii poizd № 63").