

ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ДЛЯ ШВИДКІСНОГО РУХУ ПОТЯГІВ

При використанні геосинтетичних матеріалів в нашій країні було запропоновано багато варіантів підсилення земляного полотна. В роботі представлений аналіз результатів дослідження напружено-деформованого стану та деформацій конструкції залізничного насипу. Дослідження і результати аналізу свідчать про те, що напружений стан земляного полотна в значній мірі залежить від місця розташування, виду, форми та деформативних характеристик геосинтетичних матеріалів.

Ключові слова: геосинтетичний матеріал, підсилення земляного полотна, деформативні характеристики, напружено-деформований стан

Вступ

Конструкції земляного полотна повинні забезпечувати тривалу експлуатацію колії з мінімальними відмовами при пропусканні сучасних і перспективних типів рухомого складу, при максимальних швидкостях руху поїздів і розрахунковій вантажонапруженості залізниці.

Збільшення маси поїздів та їх швидкості потребують нових вимог до земляного полотна. З врахуванням динамічних характеристик земляного полотна пропонується його модернізація з застосуванням нових конструктивних матеріалів, які покращують його несучу здатність. Для ремонту і модернізації земляного полотна використовують геотекстильні матеріали [1, 2], і так звані захисні ґрунтові шари з різних матеріалів: суміші піску зі щебенем, мінеральні суміші, щебенево-піщані суміші, скріплені асфальтом, цементом та іншими в'язкими матеріалами, більш міцні ґрунти [3, 4].

Геотекстильні матеріали здатні виконувати одну або декілька функцій: підсилення земляного полотна, підвищення стійкості укосів та ін.

Дослідження напружено-деформованого стану земляного полотна, підсиленого геотекстильними матеріалами, підтверджують ефективність їх використання. При цьому передача зусиль на армуючі елементи досягається через дотичні напруження в геотекстилі, що виникають на його контакт з ґрунтом. Чим вище значення напружень, які виникають у геосинтетичному матеріалі, тим більш ефективно проявляється ефект армування. Якщо величина напружень незначна, то ефект армування мінімальний при використанні геосинтетичного матеріалу. Це визначає місцезонавання зон

розтягнення у земляному полотні, як важливий і необхідний розрахунковий параметр при виборі способу його підсилення.

З метою визначення зон в яких виникають розтягуючі напруження і впливу параметрів навантаження на зміну величини і місця цих зон, було проведено математичне моделювання роботи основної площадки земляного полотна сумісно з геосинтетичними матеріалами.

Для моделювання був використаний програмний комплекс ЛІРА 9.4., який дозволяє визначати напружений стан та деформації у лобній точці земляного полотна від діючого навантаження. Теоретичною основою ПК ЛІРА є метод скінчених елементів (МСЕ), реалізований у формі переміщень. Вибір саме цього комплексу пояснюється необхідністю моделювання спільної роботи ґрунту і геосинтетичних матеріалів.

У роботі приведені результати розрахунку напруженого стану та деформацій типової конструкції насипу висотою 6 метрів одноколійної залізниці для двох варіантів ґрунту земляного полотна і двох варіантів підсилення основної площадки:

- 1 – геотекстиль – під баластом;
- 2 – захисний шар з щебеню під баластом і георешіткою в захисному шарі.

Основна частина

В роботі представлені результати моделювання напруженого стану та деформацій типової конструкції насипу висотою 6 метрів одноколійної залізниці.

1. Першим кроком є розбивка поперечного розтину земляного полотна на скінчені елементи (рис. 1). Геометричні розміри насипу взяті з

нормативного документа [4] для насипів висотою до 6 метрів.

Для дослідження напружено-деформованого стану земляного полотна розроблено плоску скінчено-елементну модель на основі плоских елементів, як найбільш відповідних ситуації моделювання.

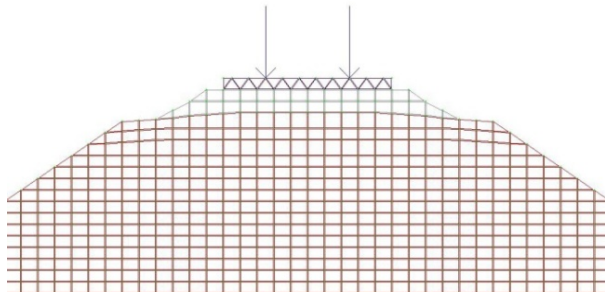


Рис. 1. Вид скінчених елементів верхньої будови земляного полотна

Всі скінчені елементи (СЕ) узгоджені, тобто не мають нестикованих вузлів, що надає найбільш сприятливих умов при роботі з матрицею жорсткості та в подальшому надає найбільш точні та адекватні результати.

Кількість СЕ – 170 664 штук, кількість вузлів – 190 800 штук (модель великого розміру). Розмір СЕ знаходиться у межах 0,2...0,3 м, що свідчить про те, що розмір елементів відповідає характерним розмірам моделі.

Моделювання фізичної нелінійності ґрунтів насипу виконується за допомогою скінчених елементів, що застосовують інформацію з розвитої бібліотеки законів деформування матеріалів. Дана бібліотека дозволяє враховувати практично будь-які фізично-нелінійні властивості матеріалу, а кроковий процесор – одержати напружено-деформований стан з урахуванням нелінійних ефектів як для ґрунтів, так і для геосинтетичних матеріалів.

Бібліотека фізично нелінійних скінчених елементів містить такі, що дозволяють моделювати однобічну роботу твердого тіла й сипучого середовища – ґрунту на стиск із урахуванням зрушення за схемою плоскої деформації відповідно до закону Кулона.

Для ґрунтів насипу прийнято скінчені елементи плоскої деформації ґрунтів (СЕ 281, 282, 284) які використовуються для вирішення даної конкретної задачі. Облік специфіки ґрунтів проводиться на основі залежності Мора-Кулона

для максимального дотичного напруження:

$$\sigma_1 - \sigma_2 \leq -\sin(\varphi)(\sigma_1 + \sigma_2) + 2 \cdot C \cdot \cos(\varphi) \quad (1)$$

де: σ_1, σ_2 – головні напруження; C – зсувне зчеплення; φ – кут внутрішнього тертя.

Розрахунок проводиться шагово-ітераційним методом. Для урахування роботи геотекстилю прийнятий універсальний стрижневий елемент (СЕ-310). Скінчений елемент орієнтований на забезпечення розрахунку всіх видів стрижневих систем з урахуванням геометричної нелінійності.

Для обліку геометричної нелінійності стрижня вважається, що не виконується закон Гука $\sigma_x = E \cdot \varepsilon_x$, а на кожному кроці відбувається урахування нормальних напружень при побудові матриці жорсткості. При цьому скінчений елемент має місцеву систему координат.

У моделі повністю відтворено геометричні параметри земляного полотна із розташуванням осей колій та деформаційні і міцнісні характеристики ґрунтів. Після побудови моделі їй надавалися деформаційні характеристики, які характерні для слабкого земляного полотна, яке потребує посилення.

В моделі прийняті наступні деформаційні характеристики:

Модель 1 – модуль пружності земляного полотна $E = 30$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,3$, питома вага $\gamma = 16,5$ кН/м³, модуль пружності баласту $E = 100$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,3$, питома вага $\gamma = 20$ кН/м³.

Модель 2 – модуль пружності $E = 10$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,3$, питома вага $\gamma = 16,0$ кН/м³, модуль пружності баласту $E = 100$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,3$, питома вага $\gamma = 20$ кН/м³.

Модель 3 – модуль пружності земляного полотна $E = 30$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,3$, питома вага $\gamma = 16,5$ кН/м³, модуль пружності баласту $E = 100$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,3$, питома вага $\gamma = 20$ кН/м³, модуль пружності захисного шару товщиною 40 см $E = 100$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,3$, питома вага $\gamma = 21$ кН/м³.

Модель 4 – модуль пружності земляного полотна $E = 10$ МПа, коефіцієнт Пуассона

$\mu = 0,3$, питома вага $\gamma = 16,0 \text{ кН/м}^3$, модуль пружності баласту $E = 100 \text{ МПа}$, коефіцієнт Пуасона $\mu = 0,3$, питома вага $\gamma = 20 \text{ кН/м}^3$, модуль пружності захисного шару товщиною 40 см $E = 100 \text{ МПа}$, коефіцієнт Пуасона $\mu = 0,3$, питома вага $\gamma = 21 \text{ кН/м}^3$.

Для проведення точного розрахунку розроблена система граничних умов, яка найбільш відповідає поведінці земляного полотна (див. рис. 1): поперек земляного полотна – заборона переміщення по осі Y (умова плоскої деформації), по лівій грані – надана заборона по осі X (умова симетрії моделі), по правій грані – заборона по осі X , по нижній грані – заборона по осі X , Y та Z (умова статичної роботи моделі).

Після повного створення моделі (відтворення геометрії, надання деформаційних характеристик та граничних умов) до неї прикладалися навантаження. При цьому прийнята найбільш несприятлива ситуація, коли на колії тимчасово знаходиться поїзд. У вигляді навантаження застосовувався тепловоз ТЕМ2М, загальною вагою 120 т , із навантаженням на вісь – 20 т . Навантаження прикладалися до моделі у вигляді зосереджених сил.

Результати розрахунку деформацій та напружень для моделі верхньої будови земляного полотна наведені на рис. 2 і 3.

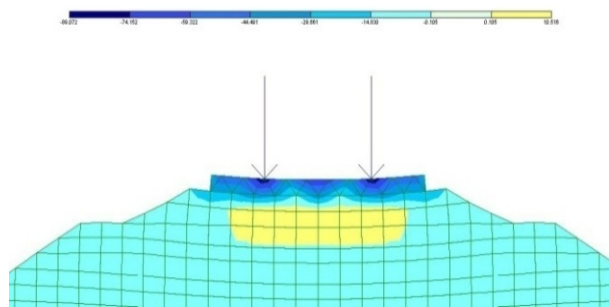


Рис. 2. Ізополя напружень по осі X (т/м^2)

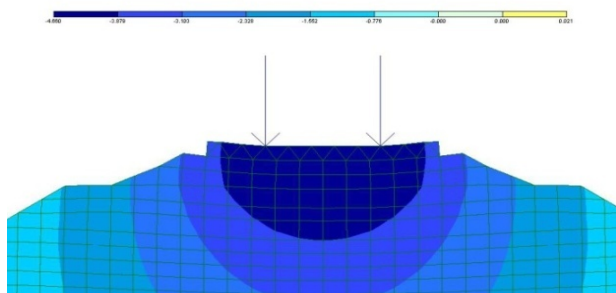


Рис. 3. Ізополя переміщень по Z , (мм)

Розрахунок напружень та деформацій моделей

Після розробки моделі проводився її розрахунок. Нижче наводяться фрагменти моделі земляного полотна (рис. 4) та основні результати розрахунку, подані у вигляді ізополів напружень та деформацій в моделі № 1 на рис. 5 і 6, а в моделі № 2 на рис. 7 і 8. Для подальшого аналізу об'єм наведених результатів дещо зменшено, так як він значний.

Моделювання пружного стану та деформацій насипу одноколіїної залізниці висотою 6 м при поміщенні геотекстильних матеріалів під баластною призмою проведено на моделі № 1.

Моделювання пружного стану та деформацій насипу одноколіїної залізниці висотою 6 м при поміщенні геотекстильних матеріалів під баластною призмою проведено на моделі № 2, результати надані на рис. 6.

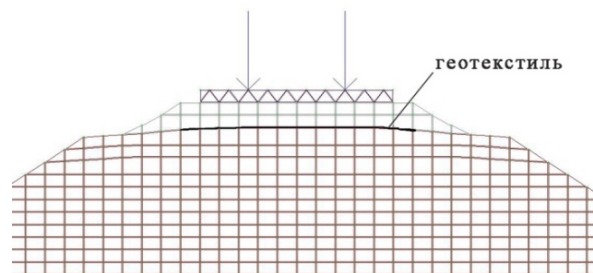


Рис. 4. Вид скінчених елементів верхньої будови земляного полотна

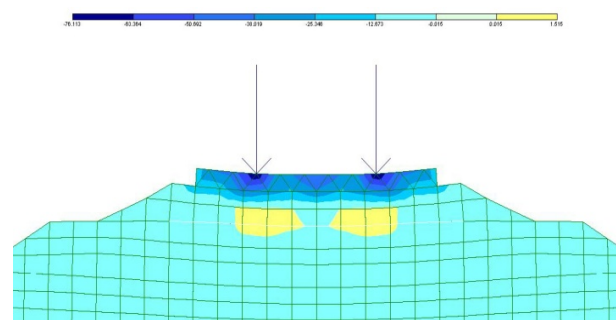


Рис. 5. Ізополя напружень по осі X (т/м^2)

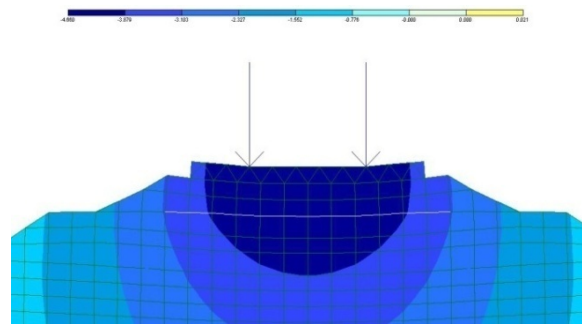


Рис. 6. Ізополя переміщень по Z , (мм)

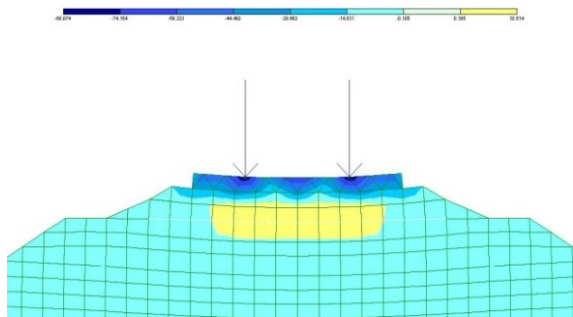


Рис. 7. Ізополя напружень по осі X (т/м^2)

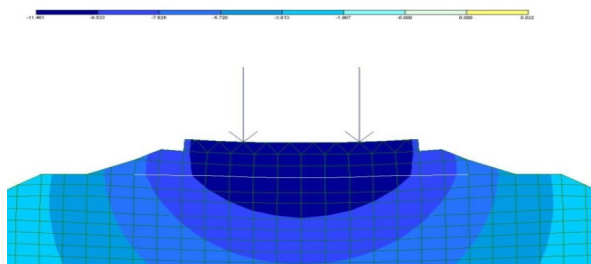


Рис. 8. Ізополя переміщень по Z , (мм)

Аналіз результатів моделювання свідчить про дуже малі напруження у геотекстилю, який розміщений під баластним шаром, таким чином він може виконувати тільки функції фільтрації та розділення при такій формі і таких характеристиках земляного полотна, як у Моделі № 1 та Моделі № 2. Переміщення підосви шпали типового земляного полотна моделі № 2, посиленого геотекстилем, не змінилось.

Моделювання пружного стану та деформацій насипу одноколіїної залізниці висотою 6 метрів з захисним шаром під баластною призмою і георешіткою у захисному шарі, показано на схемі (рис. 9), виконувалось по моделям № 3 і № 4.

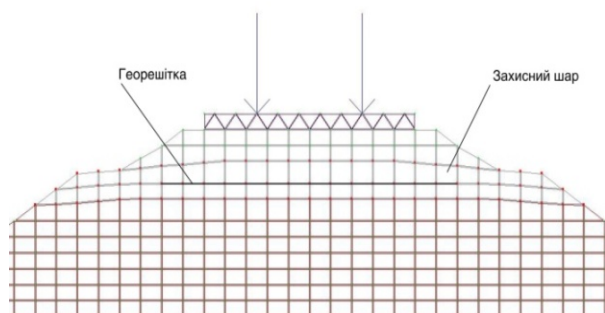


Рис. 9. Вид скінчених елементів верхньої будови земляного полотна

У варіанті підсилення 2 – захисний шар з георешіткою під баластом був виконаний роз-

рахунок напружень та деформацій моделі № 3 (рис. 10 і 11).

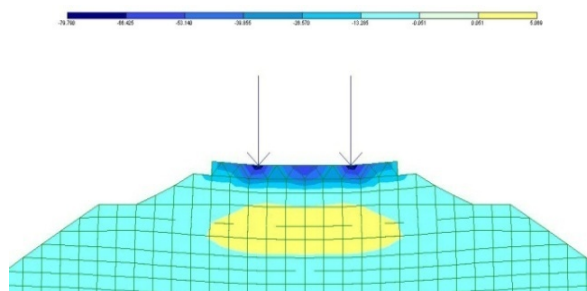


Рис. 10. Ізополя напружень по осі X (т/м^2)

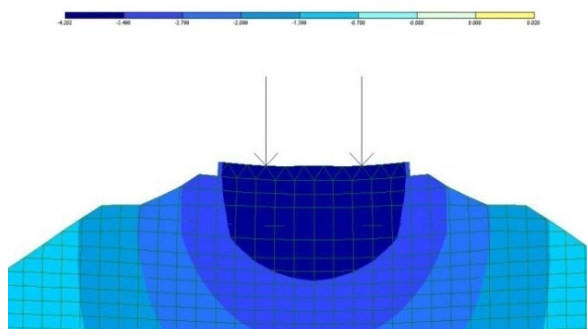


Рис. 11. Ізополя переміщень по Z , (мм)

У варіанті підсилення 2 – захисний шар з георешіткою під баластом був також виконаний розрахунок напружень та деформацій на моделі № 4 (рис. 12 і 13).

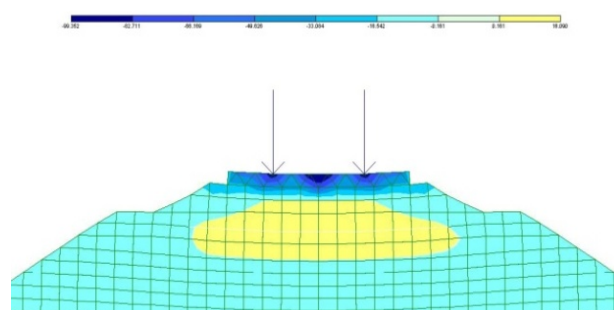


Рис. 12. Ізополя напружень по осі X (т/м^2)

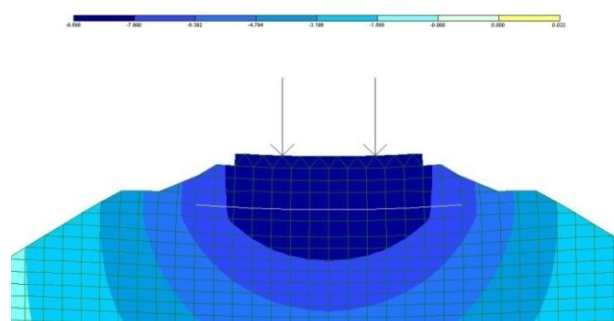


Рис. 13. Ізополя переміщень по Z , (мм)

Аналіз результатів дає змогу зробити висновок, що георешітка в захисному шарі у зоні ма-

ксамальних горизонтальних напружень приймає на себе горизонтальні напруження і зменшує вертикальні деформації земляного полотна. У георешітці в захисному шарі напруження в порівнянні з геотекстилем в захисному шарі у двічі більші – модель № 3 і в 2,5 рази модель № 4.

В представленій роботі також приведений найбільш оптимальний варіант підсилення, який може бути використаний як в конструкціях одношляхових так і двохшляхових залізничних спорудах без зміни типових поперечних профілів земляного полотна, яка показана на рис. 14.

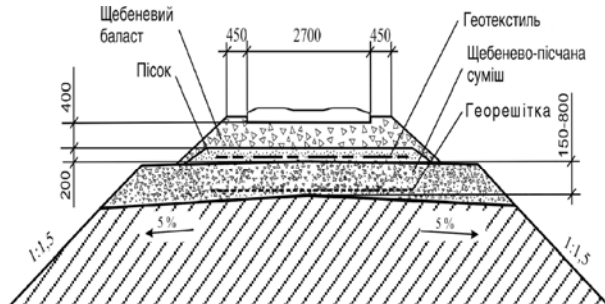


Рис. 14. Конструкція земляного полотна з захисним шаром із щебеню під баластом з георешіткою

Конструкція рекомендована для впровадження при будівництві нових ділянок залізниць з земляним полотном, представленим супісками з модулем деформації $E_d = 25$ МПа та при відповідному техніко-економічному обґрунтуванні може використовуватись при капітальному ремонті та модернізації колії.

Підсилення основної площадки забезпечують шляхом заміни ґрунту з недостатньою несучою здатністю шаром щебеню або щебеневі суміші у верхній частині земляного полотна. Для покращення технічних характеристик, підвищення несучої здатності нижньої будови колії, зниження бокових деформацій у конструкції насипу використовують геосинтетичні матеріали (геотекстиль, геосітка, георешітки).

Для забезпечення гідроізоляції земляного полотна рекомендується застосовувати геомембрану (див. рис. 14).

Несуча здатність основи захисного шару визначається проектом. Модуль деформації приймається не менше 25 МПа. Укладання геотекстильних матеріалів та захисного шару на

основу дозволяється після перевірки її технічних характеристик на відповідність проекту.

Захисний шар влаштовують із щебеню або піщано-щебеневі суміші чи старопридатного щебеню фракцією до 25...60 мм. Товщина шару визначається проектом в залежності від інженерно-геологічних умов в межах від 0,15 до 0,8 м. При товщині шару більше 0,3 м ущільнення виконують окремими шарами товщиною 0,2...0,3 м. Захисний шар ущільнюють до проектних значень модуля деформації але не менше 80 МПа. На поверхні захисного шару влаштовують поперечний ухил в 5 %.

Геокompозитний шар, що влаштовують поверх захисного шару, може складатись з геотекстилю, георешітки, геомембрани, інших геосинтетичних матеріалів або їх комбінацій.

Поверх геокompозитного шару рекомендується влаштування піщаної подушки товщиною 0,2 м, з ущільненням її до значення модуля деформації визначеного проектом, але не менше 40 МПа.

Висновки

Аналіз результатів напружено-деформованого стану земляного полотна різних конструкцій надає змогу зробити наступні висновки:

Напружений стан земляного полотна в значній мірі залежить від місця розташування, виду, форми та деформативних характеристик геосинтетичних матеріалів, які використовуються для підвищення несучої здатності земляного полотна.

Шар з геотекстиля при підсиленні основної площадки земляного полотна, розміщений під баластом, в основному виконує функції розділення баласту від земляного полотна та фільтрації.

Ефективність впливу геосинтетичних матеріалів значно більше проявляється у слабкому земляному полотні.

Найбільший ефект зниження деформацій земляного полотна до 50 % проявляється при використанні захисного шару під баластною призмою з щебеню зміцненого георешіткою.

Розроблена оптимальна конструкція земляного полотна із застосуванням геотекстильних

матеріалів і захисних ґрунтових шарів (див. рис. 14).

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДБН В.2.3-19-2008. Залізниця колії 1520 мм. [Текст] / К.: Мінрегіон України, 2008. – 123 с.
2. Федорашко, И. Я. Геосинтетические материалы в дорожном и гидротехническом строительстве [Текст] / И. Я. Федорашко. – К.: Евроизол, 2002. – 6 с.
3. Рекомендації по застосуванню геосинтетичних матеріалів при будівництві та ремонті автомобі-

льних доріг. [Текст]: РВ. 3.2 – 218 – 02070915 – 496; 2005, Київ, 2005.

4. Інструкція з утримання земляного полотна залізниць України [Текст]: затв. Укрзалізницею 08.05.2001 р. / Л. І. Дяченко, П. П. Кислий, В. О. Кулач; Державна адміністрація залізничного транспорту України, Головне управління колійного господарства. – Д.: Видавництво АТЗТ ВКФ «Арт-Прес», 2001. – 104 с.

Надійшла до редколегії 06.02.2012.

Прийнята до друку 20.02.2012.

В. Д. ПЕТРЕНКО, В. П. КУПРИЙ, М. А. ЛИСНЕВСКИЙ, А. А. М. АЛХДУР (ДИИТ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ДЛЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

При применении геосинтетических материалов в нашей стране было предложено много вариантов усиления земляного полотна. В работе представлен анализ результатов исследования напряженно-деформированного состояния и деформаций конструкции железнодорожной насыпи. Исследование и результаты анализа свидетельствуют о том, что напряженное состояние земляного полотна существенно зависит от места нахождения, вида, формы и деформационных характеристик геосинтетических материалов.

Ключевые слова: геосинтетический материал, усиление земляного полотна, деформационные характеристики, напряженно-деформированное состояние

V. D. PETRENKO, V. P. KUPRIY, M. A. LYSNEVSKYY, A. M. ALHDUR (Dnipropetrovsk National University of Railway Transport)

INVESTIGATION OF CARRYING CAPACITY INCREASE ROADBED FOR FAST TRAIN

For the period the use of geosynthetic materials in our country were offered many variations amplification subgrade. In the paper presented analysis of the stress-strain state and strain construction railway embankment. Results of the analysis indicate that the stress state subgrade is largely dependent on location, type, shape and deformation characteristics of geosynthetic materials.

Keywords: geosynthetic materials, amplification of subgrade, deformation characteristics, stress-strain state