

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 625.122:624.154.5

В. Д. ПЕТРЕНКО¹, О. Л. ТЮТЬКІН², І. О. СВЯТКО^{3*}, Д. О. ЯМПОЛЬСЬКИЙ⁴

¹ Кафедра «Мости та тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (050) 708 50 69, ел. пошта retrenko1937@mail.ru, ORCID 0000-0003-2201-3593

² Кафедра «Мости та тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, ел. пошта tutkin@mail.ru, ORCID 0000-0003-4921-4758

^{3*} Кафедра «Мости та тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (097) 623 00 70, ел. пошта i-svjatko@uandex.ua, ORCID 0000-0002-7099-2637

⁴ Приватне ВКП «Технотранспроєкт», вул. Криворізька, 72, Дніпропетровськ, Україна, 49035, тел. +38 (067) 779 90 20, ел. пошта yamp@inbox.ru, ORCID 0000-0003-7039-3633

АНАЛІЗ УКРІПЛЕННЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОНА ЗАЛІЗОБЕТОННИМИ ПАЛЯМИ

Мета. Однією із важливих проблем в області будівництва і експлуатації залізничної колії є розробка варіантів укріплення земляного полотна з метою підвищення довговічності та зменшення собівартості ремонтних робіт. Метою даної роботи є проведення аналізу варіантів укріплення земляного полотна за допомогою залізобетонних паль, а також дослідження впливу залізобетонних паль на напружено-деформований стан і деформації системи земляне полотно - палі укріплення. **Методика.** В даному дослідженні було розглянуто дві моделі земляного полотна: 1) вузького насипу під одноколіїну ділянку руху; 2) широкого насипу під одноколіїну ділянку руху з перспективою розширення. Чисельні експерименти були виконані за допомогою сучасного програмного забезпечення. Для дослідження деформованого стану земляного полотна створено просторову модель із кінцевих елементів у програмному комплексі SCAD. Дослідженням передбачено проаналізувати укріплення земляного полотна за декількома варіантами, в тому числі при укріпленні під підшовою баласту та у відкосах насипу. Деформаційні характеристики, які прийняті у моделі, відповідають значенням, отриманим під час дослідження ґрунтів земляного полотна. **Результати.** Виконані дослідження укріплення земляного полотна залізобетонними палями. Для цього проведено серію розрахунків згідно з запропонованими варіантами укріплення, а також контрольні розрахунки неукріпленого масиву. Було виконано велику кількість розрахунків в зоні розташування залізобетонних паль укріплення, і проведено детальний аналіз напружено-деформованого стану системи. Результати розрахунків переміщень у системі «верхня будова колії-залізобетонні палі» подані у вигляді ізополів розподілу переміщень у ґрунтовому масиві. **Наукова новизна.** На підставі теоретичних досліджень і виконаних розрахунків за допомогою методу скінчених елементів, в роботі виявлена основна закономірність перерозподілення напружень і деформацій після укріплення земляного полотна залізобетонними палями, що є науковою новизною проведених досліджень. **Практична значимість.** Запропоновані варіанти укріплення для зменшення вертикальних і горизонтальних переміщень в тілі насипу земляного полотна на глибину до 6 м.

Ключові слова: земляне полотно; укріплення; метод скінчених елементів; деформований стан; аналіз деформацій

Вступ

Викривлення перерізу земляного полотна змушує зменшувати швидкісний режим руху і призводить до підвищення витрат на перевезення вантажів і пасажирів, а також на утримання верхньої будови колії, дорожнього одягу, земляного полотна.

Однією із важливих проблем в області будівництва і експлуатації залізничної колії є розробка варіантів укріплення земляного полотна з метою підвищення довговічності та зменшення собівартості ремонтних робіт. [1, 2, 13].

Використання залізобетонних паль в якості матеріалу укріплення стало можливим завдяки

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

технологіям, які кожного року стають дедалі більш сучасними і новітніми. [5, 7].

Мета

Метою даної роботи є дослідження особливостей використання залізобетонних паль для укріплення земляного полотна, а також виконання порівняльного аналізу варіантів укріплення земляного полотна.

Методика

Розрахункові схеми ґрунтового масиву не завжди в повній мірі відповідають дійсності. Це викликано такими факторами, як неоднорідність ґрунтів, пружність, анізотропія та довільність геометричної форми насипу. Внаслідок цього, напружено-деформований стан земляно-

го полотна не завжди можливо визначити за допомогою класичних аналітичних методів.

Метод скінченних елементів, який став найбільш поширеним в останні роки, є більш ефективним. Даний метод структурного аналізу дозволяє розраховувати напруження і переміщення у дво- і тривимірних структурах. [3, 6, 11].

В даному дослідженні було розглянуто дві моделі земляного полотна:

- вузького насипу під одноколіїну ділянку руху;
- широкого насипу під одноколіїну ділянку руху з перспективою розширення.

Чисельні експерименти були виконані за допомогою сучасного програмного забезпечення. Розрахункові параметри, застосовані під час моделювання наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Розрахункові параметри застосовані під час чисельних експериментів

№ з/п	Тип елемента	Матеріал	Модуль пружності, кН/м ²	Щільність, кН/м ³	Коефіцієнт Пуассона
1	Рейка	Метал	$2,06 \times 10^8$	77,085	0,3
2	Шпала	Залізобетон	$3,247 \times 10^7$	24,525	0,2
3	Баласт	Щебінь	10000	22	0,2
4	Тіло насипу	Суглинок	25000	19	0,3
5	Пала діаметром 150 мм	Залізобетон	$3,247 \times 10^7$	24,525	0,2

В основу методики розрахунку покладено метод скінчених елементів на основі розрахункового комплексу Structure CAD (SCAD) [10]. Тип скінченого елемента, який застосовано у розрахунку, визначається його формою, функціями, які визначають залежність між переміщеннями в вузлах скінченого елемента і вузлів системи, фізичним законом, який визначає залежність між внутрішніми зусиллями і внутрішніми переміщеннями, і набором параметрів (жорсткостей), які входять в опис цього закону та інше [4, 8, 12].

Для дослідження деформованого стану земляного полотна створено просторову модель із об'ємних елементів (рис. 1 і 2). Висота насипу становить 6 м.

Просторова модель на основі об'ємних кінцевих елементів, для кращого врахування реальних характеристик ґрунтового масиву, відпо-

відає всім геометричним характеристикам і натурним розмірам земляного полотна та верхньої будови колії, яка прийнята на території України.



Рис. 1. Схема розрахункової моделі широкого насипу земляного полотна висотою 6 м для подальшого укріплення

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

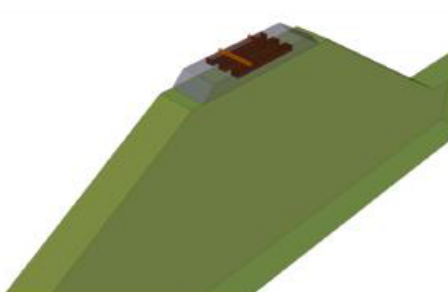


Рис. 2. Схема розрахункової моделі вузького насипу земляного полотна висотою 6 м для подальшого укріплення

Деформаційні характеристики, які прийняті у моделі, відповідають значенням, отриманим під час дослідження ґрунтів земляного полотна.

Під час моделювання застосовані такі обмеження (граничні умови):

- на низ моделі накладено заборону переміщень у напрямку трьох осей – X, Y, Z;
- бокові грані основи мають заборону переміщень по осям X та Y;
- поперечні сторони моделі – заборона переміщень по осі Y (умова плоскої деформації).

Схема розташування створів чисельного аналізу розрахунків варіантів підсилення в моделях широкого та вузького насипах висотою 6 м наведено на рис. 3 та 4.

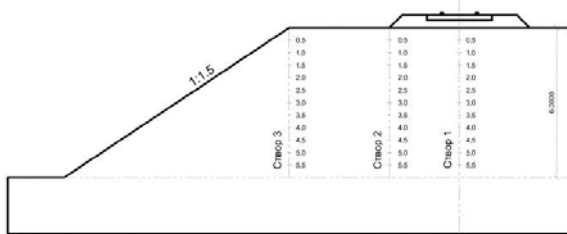


Рис. 3. Схема розташування створів в моделі широкого насипу висотою 6 м

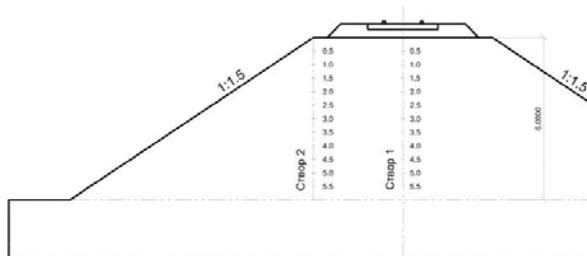


Рис. 4. Схема розташування створів в моделі широкого насипу висотою 6 м

В даному дослідженні запропоновано розглянути види укріплення земляного полотна, представлені на рис. 5, 6, 7 і 8.

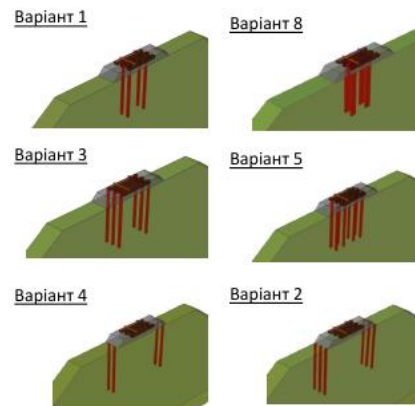


Рис. 5. Схема розташування залізобетонних паль укріплення в баласті в моделі широкого насипу висотою 6 м

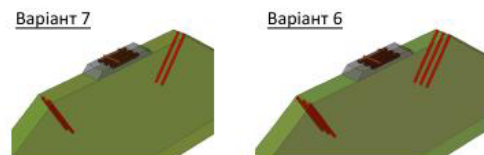


Рис. 6. Схема розташування залізобетонних паль укріплення на відкосах земляного полотна в моделі широкого насипу висотою 6 м



Рис. 7. Схема розташування залізобетонних паль укріплення в баласті в моделі вузького насипу висотою 6 м



МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Рис. 8. Схема розташування залізобетонних паль укріплення на відкосах земляного полотна в моделі вузького насипу висотою 6 м

Дослідження передбачає розгляд варіантів укріплення земляного полотна з розташуванням залізобетонних паль відповідно під подошвою баласту, а також у відкосах насипу.

Результати

Виконані дослідження укріплення земляного полотна залізобетонними палями.

Для цього проведено серію розрахунків згідно з запропонованими варіантами укріплення,

а також контрольні розрахунки неукріпленого масиву.

Було виконано велику кількість розрахунків в зоні розташування залізобетонних паль укріплення, і проведено детальний аналіз напружено-деформованого стану системи.

Результати розрахунків переміщень у системі «верхня будова колії-залізобетонні палі» подані у вигляді ізополів розподілу переміщень у ґрунтовому масиві.

Результати розрахунку приведені на рис. 10, 9, 10, 11 і 12.

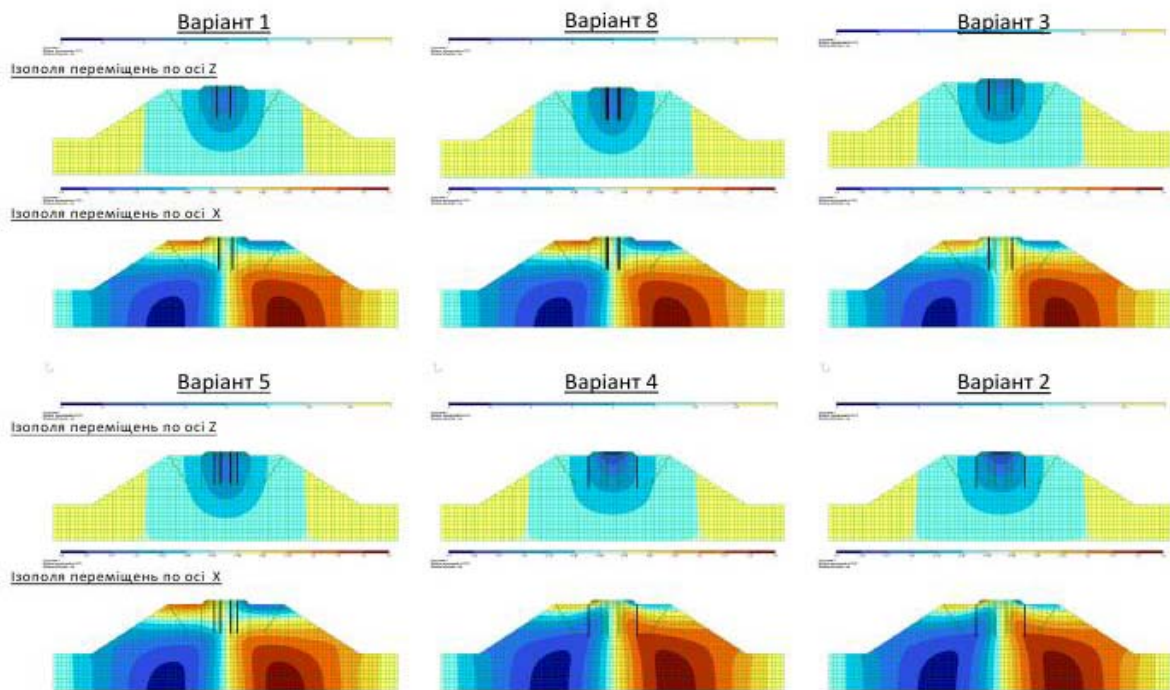
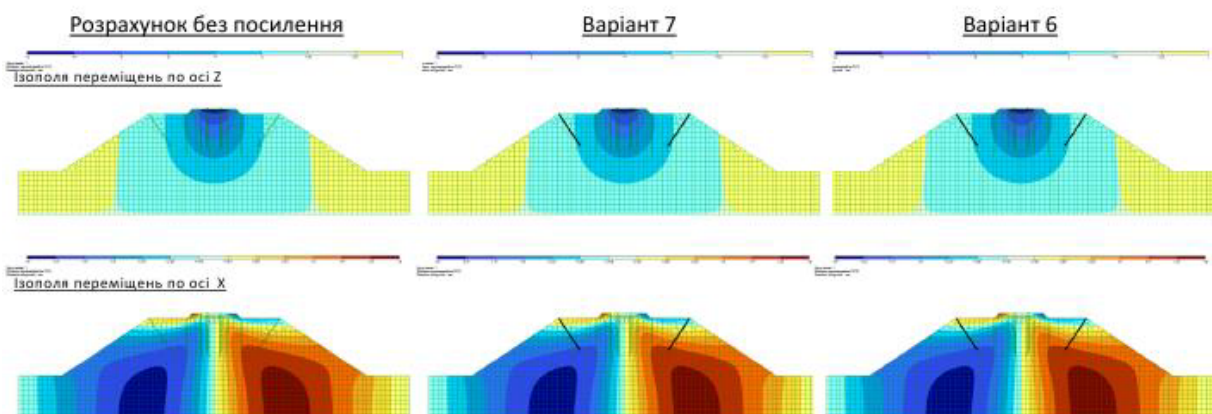


Рис. 9. Результати розрахунку моделі широкого насипу висотою 6 м. Ізополя переміщень



МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Рис. 10. Результати розрахунку моделі широкого насипу висотою 6 м за варіантами посилення відкосу насипу. Ізополя переміщень

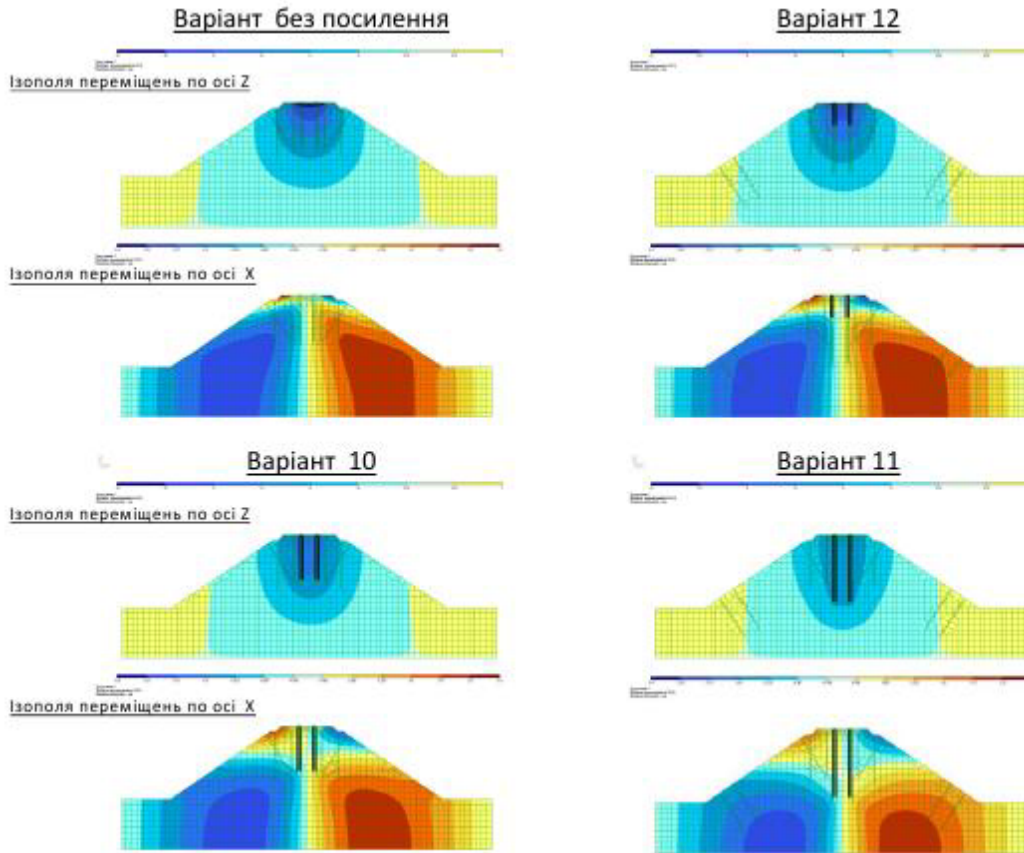
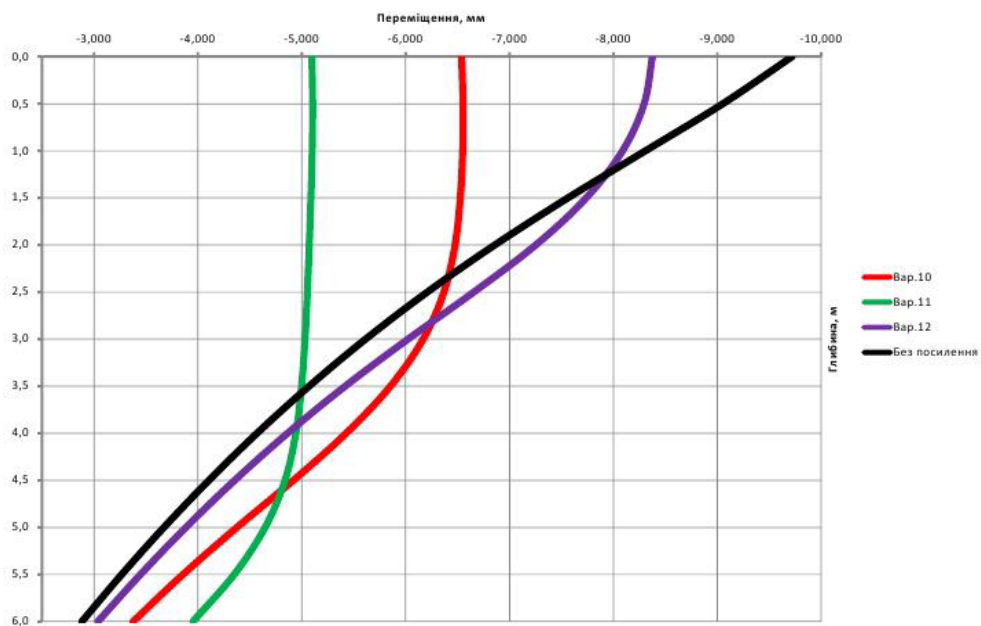


Рис. 11. Результати розрахунку моделі вузького насипу висотою 6 м за варіантами посилення верхньої будови колії. Ізополя переміщень



МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Рис. 12. Підсилення підшви баласту верхньої будови колії. Переміщення по створу 1

Приймаючи до уваги результати розрахунків і отримані значення переміщень по осям Z та X можна зробити висновки, що всі запропоновані варіанти укріплення не суттєво впливають на стан земляного-полотна.

Вертикальні переміщення по створу 1 – центру насипу земляного полотна свідчать про зменшення деформацій на рівні підшви баласту і становлять 6...7 мм замість 10 мм без укріплення.

Найменш ефективними варіантами укріплення виявились варіанти номер два і чотири – в цих випадках деформації зменшились менше ніж на 1 мм.

Найбільш ефективними можна назвати перший, п'ятий та восьмий варіанти - деформації за такими розташуваннями паль укріплення майже однакові, і менші ніж в неукріпленому масиві майже на 3 мм.

Вертикальні переміщення по створу два - посилення підшви баласту верхньої будови колії, показують, що укріплення залізобетонними палями впливає на деформації земляного полотна на рівні 1...3 мм. На глибині п'яти метрів деформації залишаються такими ж, як і в неукріпленому масиві.

Горизонтальні переміщення підшви баласту верхньої будови колії по створу два – підшва баласту земляного полотна свідчать про наявність деформацій на рівні 0,75 мм без укріплення і на рівні 0,25 мм при укріпленні за варіантом номер два, який виявився найбільш ефективним.

При укріпленні відкосів насипу земляного полотна спостерігається мінімальний вплив на напружено-деформований стан і переміщення, як по створу один – по центру насипу земляного полотна, так і по створам два - підшві баласту, і три – брівці насипу земляного полотна.

Найбільш помітними є зменшення переміщень при укріпленні відкосів за варіантами шість і сім у створі три.

Вертикальні переміщення (рис.12) при посиленні підшви баласту по створу один свідчать про те, що найбільш ефективним є укріплення за варіантом номер 11 – деформації зменшились на 5 мм, з 10 до 5 мм.

Слід зазначити, що посилення відкосів за всіма варіантами не призвело до очікуваного

ефекту. Зменшення як вертикальних, так і горизонтальних переміщень складає близько 0,5 мм.

При укріпленні за варіантами номер 10, 11 та 12 по створу два спостерігається зменшення горизонтальних переміщень на рівні від 0,5...1 м до 4,0 м, при цьому деформації під підшвою баласту залишаються майже без змін, а в деяких випадках навіть збільшуються на 0,5 мм.

Вертикальні переміщення по створу два за цими ж варіантами зменшуються на майже 1,5 мм.

Наукова новизна і практична значимість

На підставі теоретичних досліджень і виконаних розрахунків за допомогою методу скінчених елементів, в роботі виявлена основна закономірність перерозподіл напружень і деформацій після укріплення земляного полотна залізобетонними палями, що є науковою новизною проведених досліджень.

Запропоновані варіанти укріплення для зменшення вертикальних і горизонтальних переміщень в тілі насипу земляного полотна на глибину до 6 м.

Висновки

Технічний стан земляного полотна відіграє головну роль при експлуатації ділянки колії. Детальний аналіз, виконаний на основі проведених розрахунків вказує на необхідність проведення заходів щодо укріплення земляного полотна.

Діючі нормативні документи обмежуються загальними рекомендаціями щодо проектування і обслуговування об'єктів залізничної колії, у зв'язку з чим виникає необхідність дослідження індивідуальних методів підсилення для аналогічних об'єктів.

Не змінюючи геометричних параметрів земляного полотна можливо покращити напружено-деформований стан і зменшити деформації за рахунок укріплення залізобетонними палями. Використання залізобетонних паль дозволить зменшити області розуцільнення ґрунту, що поліпшить напружено-деформований стан системи в цілому.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Для цього необхідно більш детально розібрати процеси впливу і взаємодії між палями і тілом насипу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- ДБН В.2.1-10:2009. Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення. Основи та фундаменти будинків і споруд. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування [Текст]. – Надано чинності 2009-01-07. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 107 с.
- Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки : [законопроект України від 16 грудня 2009 р. № 1390 [Електрон.ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1390>
- Литовченко, П. А. Численное моделирование взаимодействия буронагнеточной сваи с локальным закреплением в грунте и окружающего ее грунтового массива [Текст] / П. А. Литовченко // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. научн. трудов. – Дн-вск, ГВУЗ ПГАСА, 2013. – Вып. 69. – С. 322-327.
- Петренко, В. Д. Порівняльний аналіз методів укріплення земляного полотна [Текст] / В. Д. Петренко, І. О. Святко, Д. О. Ямпольський // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов. – Дн-вск, ГВУЗ ПГАСА, 2013. – Вып. 69. – С. 369-373
- ЦП-0117. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість [Текст]. – Затв. наказом Укрзалізниці від 13.12.2004 р. № 960-ЦЗ. – Київ : ЦП УЗ, 2004. – 69 с.
- Строкова, Л. А. Применение метода конечных элементов в механике грунтов [Текст] : учебное пособие / Л. А. Строкова. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 143 с.
- Тимофеева, Л. М. Сучасні методи посилення слабких основ автомобільних доріг [Текст] / Л. М. Тимофеева, Е. С. Краснов // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2012. – Вип. 3. – С 217-220.
- Тюткин, А. Л. Сравнительный анализ конечно-элементных моделей свайного фундамента при взаимодействии с основанием [Текст] / А. Л. Тюткин, А. В. Гулак // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 32. – С. 122–126
- ЦП-0138. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України [Текст] / Е. І. Даніленко, В. О. Яковлев, А. М. Орловський та ін. – Київ : НКТБ колійного господарства Укрзалізниці, 2006. – 56 с.
- Карпиловский, В. С. SCAD для пользователя [Текст] / В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. В. Перельмутер и др. – Киев : ВВП «Компас», 2000. – 332 с.
- Moayed R. Z. Janbaz. M. Effective parameters on modulus of subgrade reaction in clayey soils. J. Applied Sci., 9: 2009, pp. 4006-4012.
- Simi H. Building Simulation Tools for Retrofitting Residential Structures. Energy Engineering, Volume 109, Issue 3, 2012, pp. 53-74.
- Szabó L., Somogyi M., Horváth G. The Initiation of Safety-Enhancing Actions in Railway Crossings Using Modelling Procedures. Acta Technica Jaurinensis, 2015, no2, pp. 96–112, doi: 10.14513/actatechjaur.v8.n2.328.

В. Д. ПЕТРЕНКО¹, А. Л. ТЮТЬКИН², И. А. СВЯТКО^{3*}, Д. А. ЯМПОЛЬСКИЙ⁴

^{1*} Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (050) 708 50 69, эл. почта petrenko1937@mail.ru, ORCID 0000-0003-2201-3593

^{2*} Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, эл. почта tutkin@mail.ru, ORCID 0000-0003-4921-4758

^{3*} Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (097) 623 00 70, эл. почта i-svjatko@yandex.ua, ORCID 0000-0002-7099-2637

^{4*} Частное ВКП «Технотранспроект», ул. Криворожская, 72, Днепропетровск, Украина, 49035, тел. +38 (067) 779 90 20, эл. почта yamp@inbox.ru, ORCID 0000-0003-7039-3633

АНАЛИЗ УКРЕПЛЕНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОСА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМИ СВАЯМИ

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Цель. Одной из важных проблем в области строительства и эксплуатации железнодорожного пути является разработка варианта укрепления земляного полотна с целью повышения долговечности и уменьшения себестоимости ремонтных работ. Целью данной работы является проведение анализа вариантов укрепления земляного полотна с помощью железобетонных свай, а также исследование влияния железобетонных свай на напряженно-деформированное состояние и деформации системы земляное полотно – сваи укрепления. **Методика.** В данном исследовании были рассмотрены две модели земляного полотна: 1) узкого насыпи под однопутного участка движения; 2) широкого насыпи под однопутного участка движения с перспективой расширения. Численные эксперименты были выполнены с помощью современного программного обеспечения. Для исследования деформированного состояния земляного полотна создан пространственную модель с конечных элементов в программном комплексе SCAD. Исследованием предусмотрено проанализировать укрепления земляного полотна по нескольким вариантам, в том числе при укреплении под подошвой балласта и в откосах насыпи. Деформационные характеристики, принятых в модели, соответствующие значениям, полученным в ходе исследования почв земляного полотна. **Результаты.** Выполненные исследования укрепления земляного полотна железобетонными сваями. Для этого проведена серия расчетов согласно предложенным вариантам укрепления, а также контрольные расчеты неукрепленного массива. Было выполнено большое количество расчетов в зоне расположения железобетонных свай укрепления, и проведен детальный анализ напряженно-деформированного состояния системы. Результаты расчетов перемещений в системе «верхнего строения пути – железобетонные сваи» представлены в виде изополей распределения перемещений в грунтовом массиве. **Научная новизна.** На основании теоретических исследований и выполненных расчетов с помощью метода конечных элементов, в работе обнаружена основная закономерность перераспределения напряжений и деформаций после укрепления земляного полотна железобетонными сваями, что является научной новизной проведенных исследований. **Практическая значимость.** Предложенные варианты укрепления для уменьшения вертикальных и горизонтальных перемещений в теле насыпи земляного полотна на глубину до 6 м

Ключевые слова: земляное полотно; усиление; метод конечных элементов; деформированное состояние; анализ деформаций

V. D. PETRENKO¹, O. L. TYUTKIN², I. O. SVIATKO^{3*}, D. O. YAMPOLSKIY⁴

¹ Department «Bridge and Tunnels», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 708 50 69, e-mail petrenko1937@mail.ru, ORCID 0000-0003-2201-3593

² Department «Bridge and Tunnels», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 290 45 18, e-mail tutkin@mail.ru, ORCID 0000-0003-4921-4758

^{3*} Department «Bridge and Tunnels», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (098) 768 49 21, e-mail i-svjatko@yandex.ua, ORCID 0000-0002-7099-2637

⁴ Private PVKP "Tehnoprojekt", Krivorozhskaya Str, 72, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49035, tel. +38 (067) 779 90 20, e-mail yamp@inbox.ru, ORCID 0000-0003-7039-3633

ANALYSIS SUBGRADE STRENGTHENING USING REINFORCED CONCRETE PILES

Purpose. One of the important problems in the field of construction and operation of the railway line is to develop options to strengthen the roadbed in order to improve durability and reduce repair costs. The purpose of this paper is to analyze the options for strengthening-of subgrade using concrete piles, as well as the study of the effect of reinforced concrete piles on the stress-strain state and strain the system roadbed - pile strengthening.

Methodology. In this study, two models of subgrade were considered: 1) a narrow embankment under the single-track section of the movement; 2) a wide mound under the single-track site traffic with the prospect of enlargement. Numerical experiments were carried out with the help of modern software. To investigate the strained state of the roadbed built spatial model with finite element software complex SCAD. The study provides analysis of subgrade strengthening on several options, including the strengthening of the ballast under the sole and the slopes of the mound. Deformation characteristics, taken in the model, the corresponding values obtained in the study of soil subgrade. **Findings.** The studies strengthen roadbed reinforced concrete piles. To this end, a series of calculations in accordance with the proposed options to strengthen and control calculations unfortified array. It holds a large number of calculations in the concrete piles to strengthen location area, and a detailed analysis of the stress-strain state of

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

the system. The results of calculations of displacements in the system "track structure, reinforced concrete piles" are presented as contour plots displacement distribution in the ground array. **Originality.** On the basis of theoretical research and the calculations using the finite element method, the detected primary voltage redistribution pattern and strain after strengthening roadbed reinforced concrete piles, which is a scientific novelty of the research. **Practical value.** he proposed options to strengthen in order to reduce vertical and horizontal movements of the body embankment subgrade to a depth of 6 m.

Keywords: subgrade; strengthening ; finite element method; deformed condition; strain analysis

REFERENCES

1. *DBN V.2.1-10-2009. Ob'ekty budivnytstva ta promyslova produktsiya budivelnoho pryznachennya. Osnovy ta fundamenti budynkiv i sporud. Osnovy ta fundamenti sporud. Osnovni polozhennya proektuvannya.* [State Standard V.2.1-10-2009. Objects of construction and industrial products for construction purposes. Bases and foundations of buildings and structures. Bases and foundations of buildings. Basic design requirements], Kyiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2009. 107 p.
2. Derzhavna ciljova prohrama reformuvannja zaliznychnogho transportu na 2010-2019 roky [State Program of reforming the railway transport in the years 2010-2019]. Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1390>
3. Litovchenko P. A. Chislennoe modelirovanie vzaimodeystviya buroineksionnoy svai s lokalnym zakrepleniem v grunte i okruzhayushchego ee gruntovogo massiva [Numerical simulation of CFA piles with local fixation in the soil and its surrounding soil mass]. *Sbornik nauchnykh trudov: Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Bulletin Construction, materials science, mechanical engineering]. 2013, Issue69, pp.322-327.
4. Petrenko V. D., Svjatko I. O., Jampoljskyj D. O. Porivnjalnyj analiz metodiv ukriplennja zemljanogho polotna [Comparative analysis of methods for strengthening roadbed]. *Sbornik nauchnykh trudov: Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Bulletin Construction, materials science, mechanical engineering], 2013, pp. 369-373.
5. CP-0117. Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoji koliji na micnistj i stijkistj [Terms of payments railway line for strength and stability]. Kyiv, 2004. – 69 p.
6. Strokova L. A. primenenie metoda konechnykh elementov v mekhanike gruntov [Application of the method of finite elements in soils mechanics]. Tomsk, 2010. – 143 p.
7. Tymofeeva L. M., Krasnov E. S. Suchasni metody posylennja slabkykh osnov avtomobilnykh dorogh [Modern methods of strengthening the weak foundations of roads]. *Mosty ta tuneli: teorija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 3, pp. 217-220.
8. Tyutkin A. L., Gulak A. V. Sravnitelnyj analiz konechno-elementnykh modeley svaynogo fundamenta pri vzaimodeystvii s osnovaniem [Comparative analysis of finite element models of pile foundation in interaction with the base]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnogho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 32, pp. 122–126.
9. Danilenko E. I., Jakovlev V. O., Orlovsjkyj A. M. CP-0138. Instrukcija z ulashtuvannja ta utrymannja koliji zaliznycej Ukrainy [Instructions for ordering and keeping track of railways Ukraine]. Kyiv, 2006. – 56 p.
10. Karpilovskiy V. S., Kriksunov E. Z., Perelmutter A. V. SCAD dlya polzovatelya [User is for SCAD]. Kyiv, VVP «Kompas» Publ., 2000, 332 p.
11. Moayed R. Z. Janbaz. M. Effective parameters on modulus of subgrade reaction in clayey soils. *J. Applied Sci.*, 9: 2009, pp. 4006-4012.
12. Simi H. Building Simulation Tools for Retrofitting Residential Structures. *Energy Engineering*, Volume 109, Issue 3, 2012, pp. 53-74.
13. Szabó L., Somogyi M., Horváth G. The Initiation of Safety-Enhancing Ac-tions in Railway Crossings Using Modelling Pro-cedures. *Acta Technica Jaurinensis*, 2015, no2, pp. 96–112, doi: 10.14513/actatechjaur.v8.n2.328.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. М. М. Біляєвим (Україна), д.т.н., проф. З. Я. Біліарським (Україна).

Надійшла до редколегії 11.08.2016

Прийнята до друку 26.09.2016