

А. В. НИКОЛАЙЧУК (ТОВ «Гідрозахист»), І. П. ГАМЕЛЯК (НТУ, Київ),
А. С. ЛИТВИНЕНКО (ДерждорНДІ, Київ), І. В. ЛЯХОВИЙ (Південно-Західна
залізниця України, Київ), Г. В. ЖУРБА (ТОВ «Євроізол-Geosynthetics»)

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ БАЛАСТНОЇ ПРИЗМИ НА СЛАБКІЙ ОСНОВІ ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

В статті розглянуто питання забезпечення стійкості земляного полотна на слабкій основі з використанням геосинтетичних матеріалів. В результаті розрахунків насипу за несучою здатністю, деформаціями та стійкістю стало можливим обґрунтоване застосування геосинтетичних матеріалів для підсилення ґрунтів основи та укосів високих насипів.

Ключові слова: баластна призма на слабкій основі, геосинтетичні матеріали, підсилення ґрунтів основи та укосів високих насипів

В статье рассмотрен вопрос обеспечения устойчивости земляного полотна на слабом основании с использованием геосинтетических материалов. В результате расчетов насыпи на несущую способность, деформации и устойчивость стало возможным обоснованное применение геосинтетических материалов для усиления грунтов основы и укосов высоких насыпей.

Ключевые слова: балластная призма на слабом основании, геосинтетические материалы, усиление грунтов основы и укосов высоких насыпей

In the article the issue of provision of stability of road bed on weak basis with application of geosynthetics is considered. Due to calculations of earthfill with bearing capacity, deformations and stability the substantiated application of geosynthetics to strengthen the soils of basement and slopes of deep embankments is possible.

Keywords: ballast prism on weak basis, geosynthetics, strengthening the soils of basement and slopes of deep embankments

В рамках підготовки до Євро-2012 Укрзалізниця працює над впровадженням швидкісного руху. В 2010 році залізничниками капітально відремонтовано 858 км колій і повністю модернізували 558 км. У 2011 році заплановано капітально відремонтувати ще 766 км та повністю модернізувати 366 км колії [1]. Модернізація колії проводиться з метою підвищення швидкісних характеристик залізниці шляхом заміни рейко-шпальної решітки, баластної призми та підсилення слабкої основи. Впровадження прискореного руху до 160 км/год сприятиме інтеграції вітчизняного залізничного транспорту в єдину європейську транспортну мережу швидкісного залізничного сполучення.

Досягнення таких показників швидкісного режиму неможливе без підвищення стійкості баластної призми, особливо на ділянках зі слабкою основою. Високі вимоги щодо рівності залізничної колії вимагають мінімізації консолідаційних процесів у земляному полотні. За традиційною технологією покращення фізико-механічних властивостей ґрунтів на ділянках зі слабкою основою досягається шляхом відсіпання поверх слабкої основи шару щебеню. Прогнозувати кількість щебеню, необхідну для забезпечення міцності основи, дуже складно,

тому вона визначається в кожному окремому випадку безпосередньо на місці виконання робіт. З часом, значна частина щебеневого баласту змішується зі слабким ґрунтом, що знову призводить до втрати міцності основи щебеневої призми, виникнення її осідання, і, як наслідок, зменшення швидкості руху поїздів.

Для запобігання перманентному осіданню колії необхідне, як ретельне дослідження ґрунтів основи для визначення достовірних значень їх фізико-механічних властивостей, так і застосування сучасних технологій, що використовують геосинтетичні матеріали.

Одним із прикладів може бути модернізація залізничної колії на ділянці Вінниця – Сосонка Південно-Західної. Дана ділянка є однією із найстаріших у складі залізниці. За час експлуатації її модернізація відбувалась неодноразово. Це було пов'язано, як із влаштуванням другої колії і відповідними змінами у конструкції земляного полотна, особливо на мостових переходах, так і під час її електрифікації.

При виконанні проектних робіт виникли складності зі стабілізацією земляного полотна під баластною призмою. Протягом багатьох років на цій ділянці боролися з трьома «хворими» місцями, де спостерігались зсувні процеси,

через тиксотропні властивості ґрунтів основи баластної призми, періодично виникали просадки. Всі попередні спроби вирішити ці проблеми традиційними методами вимагали значних фінансових витрат і мали лише короткочасний ефект. Діюча нормативна база хоч і передбачає застосування геосинтетичних матеріалів, але не дає методики розрахунку стійкості та міцності баластної призми на слабкій основі з використанням таких матеріалів. Тому керівництвом Укрзалізниці було прийнято рішення на створення експериментальної ділянки в рамках проекту «Модернізація залізничної колії на ділянці Вінниця – Сосонка парна колія 1072(0,2) – 1063(0,4)». Науково-дослідний центр ТОВ «Гідрозахист» на замовлення генерального проектувальника об'єкту проектного інституту «Львівтранспроект» розробив заходи по стабілізації баластної призми з використанням геосинтетичних матеріалів [2].

Враховуючи складність поставленої задачі, постала необхідність виконання ретельних інженерно-геологічних вишукувань з метою визначення стану земляного полотна. Ця частина роботи була виконана спеціалістами лабораторії ґрунтів і земляного полотна Державного дорожнього НДІ ім. М. П. Шульгіна. Дослідження виконувались з використанням методу динамічного зондування за удосконаленою методикою [3], і шляхом відбору зразків для лабораторних випробувань з подальшим статистичним та аналітичним аналізом отриманих даних.

В процесі дослідження у ґрунт забиваються металеві стержні перший з яких має конусний наконечник з кутом при вершині 60° і площею лобового перерізу $3,0 \text{ см}^2$, діаметр якого у 1,4 рази більше діаметра штанг для зменшення чи повного усунення тертя ґрунту по бічній поверхні штанг (рис. 1). Молот сталі маси (7,5 кг) вільно падає на «наковальню» вздовж направляючої штанги. Залежно від опору ґрунтів зондуванню висота скидання молота може змінюватись, що дозволяє оцінювати міцність (несучу здатність) і ущільненість ґрунтів у різних за властивостями шарах з приблизно однаковою точністю. Всього таких сталих висот скидання молота чотири: 4,8 см; 12,0 см; 30,0 см; 75,0 см. Отримані на основі статистичного аналізу безперервні графіки опору ґрунтів зондуванню $P_d = f(H)$ наносять на інженерно-геологічні розрізи для їх наступного сумісного аналізу.

В результаті інженерно-геологічних вишукувань була підтверджена наявність «хворих місць», а також визначені ділянки потенційних деформацій, що ще не проявились у вигляді

осідання баластної призми. Найбільш складною ділянкою земляного полотна є підходи до металевого мосту через р. Десенка на ділянці 1067(0,0) – 1068(0,2). До останньої реконструкції висота насипу біля мосту була на три метри нижче ніж зараз. При влаштуванні другої колії відсипали більш високий насип (непарна колія), а відповідно підняли і новий міст. Після переведення руху на нову колію підняли на висоту близько 3,0 м і старий насип разом із старим мостом. Стан досипаної частини насипу виявився значно гіршим, як через недостатню ущільненість ґрунту, так і через значно збільшену площу водозбору атмосферних опадів на підходах до мосту, які потрапляють через шар щебеню в ґрунт насипу. Насип земляного полотна на підходах до мосту через р. Десенка складається з піску алювіального дрібнозернистого, середньої густини. Запропоноване проектне рішення рекомендує розібрати частину земляного полотна і заново вкласти насип до проектних відміток, виконавши армування розібраної відновленого земляного полотна геосинтетичними матеріалами.



Рис. 1. Проходження зондувальних свердловин

На основі отриманих при інженерно-геологічних вишукуваннях даних науково-дослідним центром ТОВ «Гідрозахист» при підтримці спеціалістів НТУ та ТОВ «Євроізол-Geosynthetics» виконані розрахунки осідання насипу на слабкій основі та час консолідації насипу [2, 4]. Розрахунок насипу виконується за несучою здатністю, деформаціями, та стійкістю. При розрахунках важливим є адекватна оцінка напружено-деформованого стану насипу від дії зовнішнього навантаження. При дослідженні НДС використовуються рішення механіки ґрунтів [5] та метод скінченних елементів [6]. Перспективним може бути розв'язання зазначених задач на основі теорії зернистих середовищ, тобто на основі систем із структурами вірогідності Е. Харра [7].

Для розрахунку НДС нами використані рішення статистичної теорії:

$$\sigma_{yy}(x, y, z) := qv \left[\Phi\left(\frac{y+b}{z\sqrt{v}}\right) - \Phi\left(\frac{y-b}{z\sqrt{v}}\right) - \frac{(y+b)e^{\left[-\frac{l(y+b)^2}{2vz^2}\right]} - (y-b)e^{\left[-\frac{l(y-b)^2}{2vz^2}\right]}}{z\sqrt{2\pi v}} \right];$$

$$\sigma_{zz}(x, y, z) := q \left(\Phi\left(\frac{y+a}{z\sqrt{v}}\right) - \Phi\left(\frac{y-a}{z\sqrt{v}}\right) \right) \cdot \left(\Phi\left(\frac{y+b}{z\sqrt{v}}\right) - \Phi\left(\frac{y-b}{z\sqrt{v}}\right) \right);$$

$$\tau_{xz}(x, y, z) := -q\sqrt{\frac{v}{2\pi}} \cdot \left(\Phi\left(\frac{y+b}{z\sqrt{v}}\right) - \Phi\left(\frac{y-b}{z\sqrt{v}}\right) \right) \left[e^{\left[-\frac{l(x+a)^2}{2vz^2}\right]} - e^{\left[-\frac{l(x-a)^2}{2vz^2}\right]} \right];$$

$$\tau_{yz}(x, y, z) := -q\sqrt{\frac{v}{2\pi}} \cdot \left(\Phi\left(\frac{x+a}{z\sqrt{v}}\right) - \Phi\left(\frac{x-a}{z\sqrt{v}}\right) \right) \left[e^{\left[-\frac{l(y+b)^2}{2vz^2}\right]} - e^{\left[-\frac{l(y-b)^2}{2vz^2}\right]} \right];$$

$$\tau_{xy}(x, y, z) := \frac{qv}{2\pi} \left[e^{\left[-\frac{l(x+a)^2}{2vz^2}\right]} - e^{\left[-\frac{l(x-a)^2}{2vz^2}\right]} \right] \left[e^{\left[-\frac{l(y+b)^2}{2vz^2}\right]} - e^{\left[-\frac{l(y-b)^2}{2vz^2}\right]} \right],$$

де $\Phi(t)$ – нормована функція Лапласа, a і b – розміри попередньо-напруженої залізобетонної шпали СБЗ-1 (2700 × 30 мм), коефіцієнт бокового напруження ($v = \sigma_{гориз.}/\sigma_{верт.}$), x – відстань між центрами шпал, y – відстань між точками прикладання навантаження (центрами рейок), z – глибина, м.

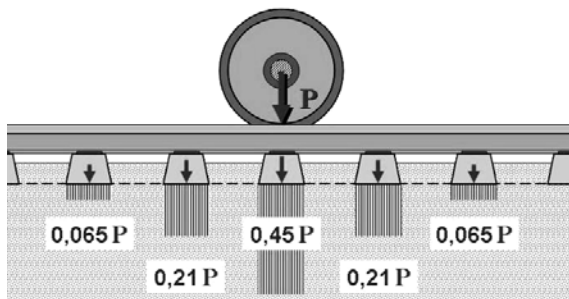


Рис. 2. Розподіл осевого навантаження на шпали

Сумарні напруження визначаються за принципу суперпозиції із врахуванням розподілу осевого навантаження на шпали (рис. 2). При розрахунку земляного полотна напружено-деформований стан елементів рейко-шпальної решітки не є істотним. Тому до розрахунку береться розподіл тиску на шпали від колісних пар, близький до експериментальних даних (рис. 3) [6]. В розрахунках прийнято середній тиск під окремими шпалами в кПа: $q_1 = q_5 = 23,609$ кПа, $q_2 = q_4 = 76,274$ кПа, $q_3 = 163,444$ кПа. Відстань між центрами шпал $l_1 = l_5 = -/+1,092$ м, $l_2 = l_4 = -/+0,546$ м, $l_0 = 0$ м.

Абсолютні величини максимальних значень

вертикальних напружень на основному майданчику земляного полотна (55...75 кПа), отримані за рішенням статистичної механіки, близькі до експериментальних даних [6]. Максимальне значення дотичних напружень спостерігається на глибині 0,8...1,4 м, що необхідно враховувати при призначенні армування геосинтетиками. На рис. 3 і 4 представлено приклади визначення напружень. Розрахунки стійкості насипів земляного полотна виконувались з врахуванням динамічного впливу рухомого складу, рівня ґрунтових вод та фізико-механічних властивостей ґрунтів насипу і слабкої основи [8, 9]. Загальний необхідний коефіцієнт запасу стійкості згідно [8] повинен відповідати умові $K_3 = M_R/M_D \geq 1,4$, де M_R і M_D – відповідно, момент утримуючих і момент зсувних сил відносно центру кривої обертання.

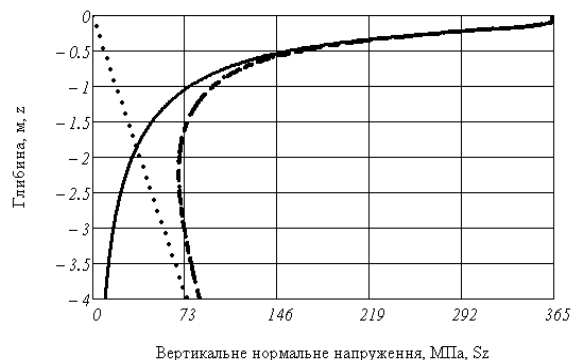


Рис. 3. Зміна вертикальних нормальних напружень за рішенням статистичної механіки, напружень від власної ваги σ_v та сумарних напружень по глибині

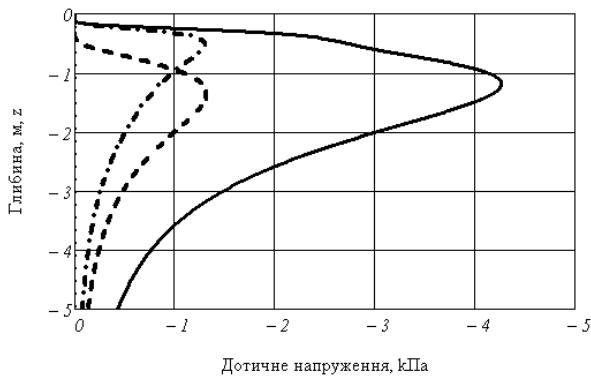


Рис. 4. Зміна дотичних напружень τ_{zz} по глибині за рішенням статистичної механіки

Розрахунок виконувався за методом круглоциліндричних поверхонь обертання, адаптованим до нормативних вимог для спорудження залізниці (рис. 5).

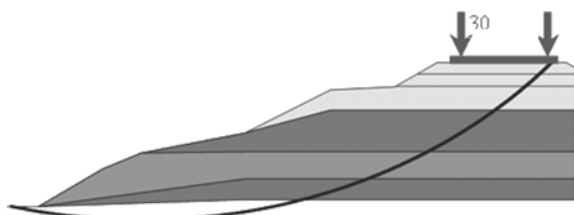


Рис. 5. Розрахункова схема поперечного перерізу земляного полотна для програмного забезпечення ReSSA 3.0



Рис. 6. Схема армування основи баластної призми геосинтетичними матеріалами

За допомогою програмного забезпечення ReSSA 3.0 визначено, що на всій ділянці модернізації парної колії Вінниця – Сосонка 1072(0,2) – 1063(0,4) для забезпечення необхідної міцності та рівності земляного полотна необхідно виконати наступні заходи (див. рис. 6):

- Після зрізання 0,80 м старої баластної призми рекомендується ущільнити земляне полотно і спланувати поверхню з поперечним ухилом в 5 % від осі насипу.

- Для запобігання зануренню чистого щебеню баластної призми в ґрунт земляного полотна, покращення відводу поверхневих вод та забезпечення пропуску пари в зворотному напрямку (знизу вгору) запропоновано безпосередньо під нижнім шаром геораток вкласти нетканий термоскріплений розділюючий, підсилюючий і фільтруючий геосинтетичний матеріал з УФ-стабілізованого поліпропілену типу Тураг®SF77 з мінімальною міцністю на розрив 20 кН/м і відносним видовженням до 55 %. Геосинтетичний матеріал вкладається на глибині 0,80 м від низу шпал на сплановану ущільнену поверхню.

- Безпосередньо на шар термоскріпленого геосинтетичного матеріалу вкладається нижній армуючий шар із тканих геораток типу Armatex G®55/55 (гранична міцність на розрив в поздовжньому і поперечному напрямках – 60 кН/м; відносно подовження при розриві в поздовжньому і поперечному напрямках – 13 %; матеріал – високоміцний поліефір).

- Далі вкладається шар щебеню або щебеню-піщаної суміші потужністю 0,35...0,40 метрів і ущільнюється котками 15...16 т.

- На глибині 0,40...0,45 м від низу шпал вкладається другий армуючий шар із геораток типу Armatex G 55/55.

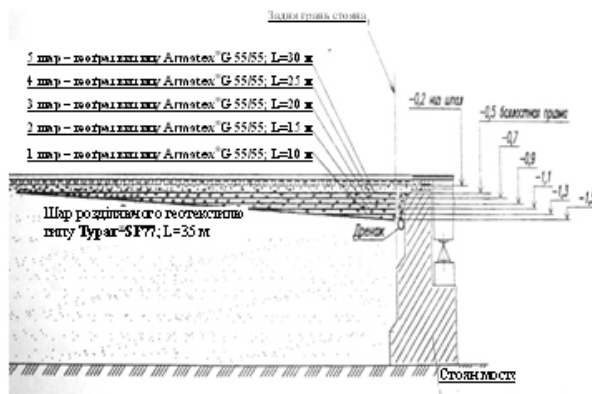


Рис. 7. Схема армування земляного полотна геосинтетичними матеріалами на підходах до мосту

На підходах до мосту через річку Десенка кількість необхідних армуючих шарів геораток поступово збільшується з двох до п'яти (рис. 7) [2, 10]. Це пов'язано з необхідністю зменшення деформацій баластної призми при переході рейко-шпальної решітки до жорсткої мостової конструкції.

Висновок

На основі виконаних обстежень і розрахунків стало можливим обґрунтоване застосування геосинтетичних матеріалів для підсилення ґрунтів основи, та укосів високих насипів. Така технологія дозволяє збільшити міжремонтні терміни ремонту колії, зменшення часу стабілізації колії, підвищити міцність земляного полотна та рівність колії за рахунок використання армуючих геосинтетичних матеріалів. Також зменшується обсяг земляних робіт. Консолідація основи відбувається рівномірно, що підвищує безпеку руху залізничного транспорту. Збільшується термін експлуатації земляного

полотна. Значно зменшується втрата щебеню баластної призми через відсутність змішування з тиксотропними ґрунтами земляного полотна.

Як наслідок забезпечується можливість впровадження швидкісного режиму руху до 160 км/год.



Рис. 8. Влаштування армуючих шарів механізованим і ручним способом та контроль модуля пружності приладом динамічного навантаження ZFG02



Рис. 9. Вигляд модернізованої ділянки при прийманні державною комісією

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Костюк, М. Д. Укрзалізниця працює над впровадженням швидкісного руху в Україні [Електрон. ресурс] / М. Д. Костюк. – Режим доступу: <http://www.uz.gov.ua>
2. Заходи по стабілізації земляного полотна під баластною призмою в рамках проекту: Модернізація залізничної колії на ділянці Вінниця – Сосонка парна колія 1072(0,2) – 1063(0,4) [Текст]. – К., 2010. – 34 с.
3. Литвиненко, А. С. Удосконалення методики обробки даних, отриманих методами динамічного і статичного зондування ґрунтів [Текст] / А. С. Литвиненко // Міжвідомчий наук.-техн. збірник. Будівельні конструкції. – Вип. 63. – К., 2005. – С. 154-160.
4. Посібник по проектуванню земляного полотна автомобільних дорог на слабких ґрунтах (к СНиП 2.05.02-85) [Текст]. – М.: Стройиздат, 1989. – 192 с.
5. Цытович, Н. А. Механика ґрунтів [Текст] / Н. А. Цытович. – М.: Высш. шк., 1973. – 280 с.
6. Корнеев, Д. О. Оценка напряженно-деформированного состояния железнодорожных насыпей с использованием объемных геоделей [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д. О. Корнеев. – Новосибирск: Сибирский гос. ун-т путей сообщения, 2009. – 26 с.
7. Freeman, R. B. Stress Predictions for Flexible Pavement Systems [Text] / R. B. Freeman, M. E. Harr // J. of Transportation Engineering. – 2007. – Vol. 133. – P. 142-148.
8. ВБН В.2.3-218-544:2008 Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві [Текст]. – К., 2008. – 122 с.
9. Посібник № 1 з проектування земляного полотна і дорожніх одягів із застосуванням геосинтетичних матеріалів (доповн. до ВБН В.2.3-218-544:2008) [Текст]. – К., 2007. – 146 с.
10. Стандартные проектные решения и технологии усиления земляного полотна при подготовке полигонов сети для введения скоростного движения пассажирских поездов [Текст]. – Вип. 3. – М., 1999. – С. 35-57.

Надійшла до редколегії 31.03.2011.
Прийнята до друку 08.04.2011.