

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ УКОСІВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Ковальов В.В., Чернишова О.С.

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна  
м. Дніпро, Україна

**АНОТАЦІЯ:** Для забезпечення надійної роботи земляного полотна необхідно при проектуванні застосовувати сучасні методи підвищення стійкості укосів. Одним з таких методів є армування ґрунтів геоматеріалами. Для достовірного підбору геометричних параметрів армуючих прошарків з урахуванням стійкості укосів запропонована дана методика розрахунку.

**АННОТАЦИЯ:** Для обеспечения надежной работы земляного полотна необходимо при проектировании использовать современные методы повышения устойчивости откосов. Одним из таких методов является армирование грунтов геоматериалами. Для достоверного подбора параметров армирующих прослоек с учетом устойчивости откосов предложена данная методика расчета.

**ABSTRACT:** To ensure reliable operation of the subgrade is required in the design to use modern methods to improve the stability of slopes. One of such methods is the reinforcement of soils by geomaterials. For a reliable selection of the parameters of reinforcing layers taking into account the stability of slopes this method of calculation is proposed.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** земляне полотно, стійкість укосів, планування експерименту.

### ВСТУП

В зв'язку з необхідністю підвищення в Україні швидкості руху транспорту потрібно при експлуатації пред'являти більш жорсткі умови до

стану транспортних споруд взагалі, та до однієї з основних транспортних споруд – земляного полотна.

Також збільшення обсягів вантажоперевезень на південному напрямку залізниці приводить до необхідності проектування і будівництва другої колії, з добудовою земляного полотна до існуючого. Одним з основних факторів при проектуванні та експлуатації земляного полотна залізничних та автомобільних доріг є визначення стійкості укосів.

Питання визначення стійкості укосів стає ще більш актуальним при будівництві транспортних споруд в складних умовах: при проектуванні земляного полотна на косогорах; поруч з річками та водоймами (на стійкість земляного полотна суттєвий вплив здійснює зміна рівня води).

Неналежне проектування та будівництво земляного полотна, а також його неналежна експлуатація приводить до катастрофічних наслідків: втраті стійкості укосів земляного полотна з порушенням безпеки руху залізничного та автомобільного транспорту (рис. 1). Це також веде до підвищених грошових витрат на відновлення роботи транспорту.

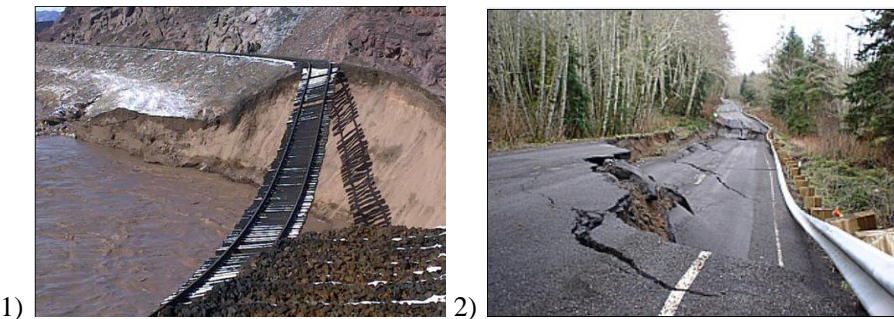


Рис. 1. Приклад втрати стійкості укосу земляного полотна:  
1) залізничного, 2) автомобільного

Питання стійкості укосів стає все більш актуальним в зв'язку з перспективною необхідністю підвищення швидкості руху. Що, як відомо, приводить до зменшення стійкості земляного полотна доріг [1, 2].

Одним з методів підвищення стійкості земляних транспортних споруд є застосування армування ґрунтів, стягуючих елементів [3 - 5].

Одним з ключових завдань розрахунку стійкості армованих укосів є вибір розрахункової схеми, що, якомога детальніше відповідає б роботі конструкції в натурі як на статичні навантаження, так і на дію динамічних сил.

Професором М.Н. Гольдштейном була встановлена аналітична залежність, що дає можливість оперативно та достатньо достовірно визначати стійкість схилів [6]:

$$k_{cm} = A \cdot \operatorname{tg} \varphi + \frac{c \cdot B}{\gamma \cdot H}, \quad (1)$$

де  $k_{cm}$  – коефіцієнт стійкості;

$c$  – питоме зчеплення, кПа;

$\varphi$  – кут внутрішнього тертя ґрунту, град.;

$\gamma$  – питома вага ґрунту, т/м<sup>3</sup>;

$H$  – висота схилу або укосу, м;

$A$  і  $B$  – безрозмірні коефіцієнти.

Коефіцієнти  $A$  і  $B$  беруться по таблицям, які складені на основі даних розрахунків різноманітних варіантів, виконаних методом відсіків при різних нахилах укосів.

Крім визначення стійкості схилу, методика М.Н. Гольдштейна дає можливість вирішувати зворотнє завдання: визначати висоту схилу  $H$  при заданому коефіцієнту стійкості  $k_{cm}$ :

$$H = \frac{c \cdot B}{\gamma(k_{cm} - A \operatorname{tg} \varphi)}. \quad (2)$$

За даною залежністю неможливо визначити стійкість армованих укосів земляного полотна – тому метою досліджень є розробка методики, що дозволяє аналітично розраховувати стійкість армованих укосів та перевіряти достовірність отриманих результатів розрахунку, а також підбирати параметри системи «армоване земляне полотно – тимчасове динамічне навантаження від рухомого складу».

**Мета статті** - розробити модель, що дозволяє розраховувати стійкість укосів земляного полотна армованого геоматеріалами, з врахуванням впливу різного роду факторів.

## РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

На основі методів планування експерименту [7, 8] та методів розрахунку стійкості Ю.І. Соловйова, К. Терцагі, А.Г. Дорфмана, Г.М. Шахунянца була розроблена така методика та отримано рівняння регресії (математична інтерполяційна модель), що дозволяє розраховувати коефіцієнт стійкості армованого укосу земляного полотна (рис. 2):

$$k_{cm} = b_0 + b_1 \cdot H + b_2 \cdot i + b_3 \cdot c + b_4 \cdot \varphi + b_5 \cdot \gamma + b_6 \cdot L_1 + b_7 \cdot L_2 + b_8 \cdot L_3 + b_9 \cdot L_4 + b_{10} \cdot n + b_{11} \cdot L_5, \quad (3)$$

де  $b_0, \dots, b_{11}$  – коефіцієнти рівняння регресії;

$c$  – питоме зчеплення, кПа;

$\varphi$  – кут внутрішнього тертя ґрунту, град.;

$\gamma$  – питома вага ґрунту, т/м<sup>3</sup>;

$H$  – висота насипу, м;

$i$  – ухил укосу;

$L_1$  – висота фіктивного стовпу ґрунту, від зовнішнього навантаження, м;

$L_2$  – відстань від фіктивного стовпу ґрунту до брівки укосу, м;

$L_3$  – відстань між армуючими прошарками, м;

$L_4$  – відстань від фіктивного стовпу ґрунту до першого армуючого прошарку, м;

$L_5$  – довжина арматури в утримуючому шарі, м;

$n$  – кількість прошарків армування, шт.

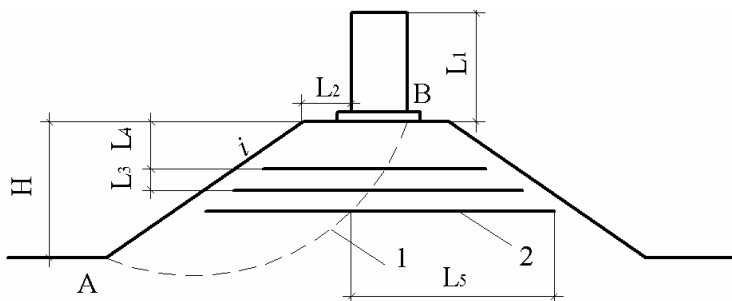


Рис. 2. Схема втрати стійкості укосу земляного полотна:

1 – поверхня ковзання; 2 – армування ґрунту

Побудова математичної інтерполяційної моделі (3) виконується за наступною послідовністю.

1. Підготовка вихідних даних. Вихідні дані складаються на підставі геологічних вишукувань, лабораторних і польових випробувань ґрунтів, геодезичних вимірів, даних про швидкість руху поїздів по даній ділянці колії.

2. Визначаються для кожного фактору область визначення, інтервал варіювання, основний рівень, верхній і нижній рівні.

3. Виконується побудова і реалізація плану-матриці типу  $2^{k-n}$  (дробова репліка) (де  $2$  – кількість рівнів варіювання,  $k$  – загальна кількість факторів,  $n$  – лінійні ефекти, прирівняні до ефектів взаємодії).

4. Задаються генеруючі співвідношення та визначальні контрасти для побудови плану-матриці  $2^{11-7}$ .

5. Розрахунок коефіцієнтів стійкості.

Для побудови інтерполяційної моделі необхідно попередньо розрахувати для 16 варіантів (плану-матриці  $2^{11-7}$ ) коефіцієнти стійкості земляного полотна. Розрахунки виконуються методами, що дають найбільш достовірні результати: К. Терцагі, Ю.І. Соловйова, А.Г. Дорфмана і Г.М. Шахунянца тощо.

6. Визначення дисперсності паралельних розрахунків.

У зв'язку з тим, що розрахунок коефіцієнтів стійкості проводиться чотирма різними методами, отримані результати ідеально не збігаються. Тому необхідно зробити перевірку значення коефіцієнта стійкості з найбільшим відхиленням від значень інших коефіцієнтів стійкості.

7. Розрахунок середнього арифметичного, дисперсії і середнього квадратичного відхилення коефіцієнтів стійкості.

Після виконаної перевірки для кожного з варіантів розраховуються середнє арифметичне, дисперсія і середнє квадратичне відхилення вже з урахуванням усіх застосовуваних методів розрахунку (методів Ю.І. Соловйова, К. Терцагі, А.Г. Дорфмана, Г.М. Шахунянца тощо).

8. Оцінка дисперсій середнього арифметичного у кожному рядку матриці.

9. Перевірка однорідності дисперсій, дисперсія відтворюваності, загальна дисперсія середнього.

У зв'язку з тим, що порівнювана кількість дисперсій більше двох і мається однакова кількість методів обчислення коефіцієнтів стійкості в кожному з варіантів розрахунку, перевірка однорідності дисперсій здійснюється за критерієм Кохрена ( $G_T$ ).

10. Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії  $b_0, \dots, b_{11}$  та побудова математичної інтерполяційної моделі.

Перевірка адекватності отриманої математичної інтерполяційної моделі здійснюється за допомогою  $F$ -критерія Фішера.

Також за розробленою методикою можливо розраховувати стійкість укосу без армування та без врахування додаткового навантаження від рухомого складу.

В залежності від умов розрахунків інтерполяційна модель (3) може мати наступний вид:

1) розрахунок стійкості укосу без армування:

$$k_{cm} = b_0 + b_1 \cdot H + b_2 \cdot i + b_3 \cdot c + b_4 \cdot \varphi + b_5 \cdot \gamma + b_6 \cdot L_1 + b_7 \cdot L_2 \quad (4)$$

2) розрахунок стійкості армованого схилу без врахування додаткового навантаження від рухомого складу:

$$k_{cm} = b_0 + b_1 \cdot H + b_2 \cdot i + b_3 \cdot c + b_4 \cdot \varphi + b_5 \cdot \gamma + b_8 \cdot L_3 + b_9 \cdot L_4 + b_{10} \cdot n + b_{11} \cdot L_5 \quad (5)$$

3) розрахунок стійкості укосу без армування та без врахування додаткового навантаження від рухомого складу:

$$k_{cm} = b_0 + b_1 \cdot H + b_2 \cdot i + b_3 \cdot c + b_4 \cdot \varphi + b_5 \cdot \gamma. \quad (6)$$

Також математичні інтерполяційні моделі (4 – 6) крім розрахунків стійкості укосів дають можливість визначити (з умови забезпечення стійкості земляного полотна): кількість прошарків армування  $n$ , допустимий ухил укосу  $i$ , відстань між армуючими прошарками, відстань між фіктивним стовпом ґрунту та верхнім армуючим прошарком, довжину армування.

Параметри визначаються наступним чином:

– кількість прошарків армування  $n$ :

$$n = \frac{k_{cm} - (b_0 + b_1 H + b_2 i + b_3 c + b_4 \varphi + b_5 \gamma + b_6 L_1 + b_7 L_2 + b_8 L_3 + b_9 L_4 + b_{11} L_5)}{b_{10}}. \quad (7)$$

– відстань між армуючими прошарками  $L_3$ :

$$L_3 = \frac{k_{cm} - (b_0 + b_1 H + b_2 i + b_3 c + b_4 \varphi + b_5 \gamma + b_6 L_1 + b_7 L_2 + b_9 L_4 + b_{10} n + b_{11} L_5)}{b_8}. \quad (8)$$

– відстань між фіктивним стовпом ґрунту та верхнім армуючим прошарком  $L_4$ :

$$L_4 = \frac{k_{cm} - (b_0 + b_1 H + b_2 i + b_3 c + b_4 \varphi + b_5 \gamma + b_6 L_1 + b_7 L_2 + b_8 L_3 + b_{10} n + b_{11} L_5)}{b_9}. \quad (9)$$

– допустимий ухил укосу  $i$ :

$$i = \frac{k_{cm} - (b_0 + b_1 H + b_3 c + b_4 \varphi + b_5 \gamma + b_6 L_1 + b_7 L_2 + b_8 L_3 + b_9 L_4 + b_{10} n + b_{11} L_5)}{b_2}. \quad (10)$$

## ВИСНОВКИ

Методика дозволяє аналітично визначати коефіцієнт стійкості укосів земляного полотна доріг рівняннями регресії, не вдаючись до ітераційного відшукання найбільш ймовірної поверхні ковзання; робити перевірку адекватності отриманої математичної інтерполяційної моделі на відповідність умовам, що визначають розрахункову схему стійкості укосу. Отримані рівняння регресії дають можливість для заданого діапазону вихідних даних визначати значущість і ступінь впливу кожного фактора на інтегральний коефіцієнт стійкості укосу земляного полотна доріг, що необхідно при виборі проектних параметрів системи «армоване земляне полотно – тимчасове динамічне навантаження від рухомого складу».

## ЛІТЕРАТУРА

1. Інструкція з утримання земляного полотна залізниць України / Л.І. Дяченко, Г.П. Кислий, В.О. Курач. – Д.: АТЗТ ВКФ "Арт-прес", 2001. – 104 с.
2. Грицьк В.И. Расчеты земляного полотна железных дорог: Учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / Грицьк В.И. - М.: УМК МПС, 1998. - 520 с.
3. Проектирование земляного полотна железных дорог из глинистых грунтов с применением геотекстиля: ВСН 205-87. – М. : ЦНИИС, 1987. – 56 с.
4. Джоунс К. Д. Сооружения из армированного грунта / К. Д. Джоунс. – М. : Стройиздат, 1989. – 280 с.
5. Свинцов Е.С. Армогрунтовые конструкции на октябрьской дороге / Свинцов Е.С., Шмелев В.А. // Путь и путевое хозяйство №3, 2004. – С. 32-33.
6. Гольдштейн М. Н. Механика грунтов, основания и фундаменты / М.Н. Гольдштейн, А.А. Царьков, И.И. Черкасов. – М. : Транспорт, 1981. – 320 с.
7. Налимов В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / Налимов В.В., Чернова Н.А. – М.: Наука, 1965. – 340 с.
8. Босов А. А. Методические указания к курсу «Теория надёжности и планирование эксперимента» / А. А. Босов. – Днепропетровск : ДИИТ, 1983. – Ч. II. – 47 с.

Стаття надійшла до редакції 20.07.2016 р.