

Существенным образом на показатели деформации влияет также глубина разработки. Так, при увеличении H в 3,5 раза (от 200 до 700 м) максимальные наклоны i_{\max} , в зависимости от скорости перемещения очистного забоя V , уменьшаются в 2,8...3 раза, максимальная кривизна k_{\max} – в 8,4...9,3 раза, деформации растяжения (сжатия) $(\varepsilon_x)_{\max}$ – в 3,2...3,4 раза, а максимальная скорость оседания U_{\max} при этом уменьшается в 2,9...3,0 раза.

При увеличении скорости перемещения очистного забоя V в 3,75 раза (от 40 м/мес. до 150 м/мес.) i_{\max} уменьшается, в зависимости от глубины разработки H , в 1,2...1,27 раза, k_{\max} – в 1,4...1,53 раза, $(\varepsilon_x)_{\max}$ – в 1,02...1,14 раза, а максимальная скорость оседания U_{\max} при таком увеличении скорости перемещения очистного забоя возрастает в 3,0...3,2 раза.

Выводы. Таким образом, полученные в статье аналитические соотношения позволяют получить количественные оценки и наглядное представление о деформациях, причем не только на земной поверхности, но и на любом уровне подрабатываемого породного массива на любой стадии подработки (при любом значении размера выработанного пространства), что очень важно как для обоснования параметров технологии разработки, так и для проектирования мероприятий по защите охраняемых объектов.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Ержанов Ж. С.** Ползучесть осадочных горных пород (теория и эксперимент) / Ж. С. Ержанов, А. С. Сапрыгин, Г. Н. Гуменюк и др. – Алма-Ата : Наука, 1970. – 208 с.
2. Исследование влияния параметров напряженно-деформированного состояния горного массива на ведение очистных и подготовительных работ в условиях шахты «Степная» ГКХ «Павлоградуголь». Отчет о НИР / Национальный горный университет (НГУ); Руководитель А. Г. Кошка; № ГР 0102U004377. – Д., 2003. – 132 с.
3. **Новикова Л. В.** Оценка жесткости вмещающих пород слоистого массива / Л. В. Новикова, Л. И. Заславская, А. В. Яворский // Науковий вісник НГУ. – 2006. – № 9. – С. 7 – 8.
4. Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом / Отраслевой стандарт. – К. : Мінпаливенерго України, 2004. – 127 с.
5. СНиП – 15-74 «Основания зданий и сооружений». – М. : Стройиздат, 1975. – 64 с.
6. Управление кровлей и крепление в очистных забоях на угольных пластах с углом падения до 35°.– К. : Мінтопэнерго України, 2002. – 142 с.
7. **Усаченко Б. М.** Свойства пород и устойчивость горных выработок / Б. М. Усаченко – К. : Наукова думка, 1979. – 136 с.
8. **Яворський А. В.** Напружено-деформований стан породного масиву при відпрацюванні пологого вугільного пласта під охоронюваними об'єктами : моногр. / А. В. Яворський, О. Г. Кошка, В. П. Сердюк, О. О. Яворська – Д. : Національний гірничий університет, 2010. – 121 с.

УДК 625.1

МЕТОДИКА АНАЛІТИЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ДОРІГ

*В. В. Ковальов, к. т. н., О. С. Чернишова, к. т. н.
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна*

Ключові слова: стійкість укосу, земляне полотно, армування ґрунтів

Постановка проблеми. Одним із ключових напрямів забезпечення безпечного і безперервного функціонування залізничних та автомобільних земляних транспортних споруд є достовірне визначення їх стійкості.

Аналіз публікацій. Питання стійкості укосів стає все більш актуальним у зв'язку з перспективною необхідністю підвищення швидкості руху, що, як відомо, зменшує стійкість земляного полотна доріг [1; 2].

Також одним із факторів, що спричинює до зниження міцнісних характеристик ґрунтів та втрату стійкості земляного полотна доріг, є вплив води у разі розташування ґрунтової споруди поруч з водоймищем (рис. 1).



Рис. 1. Приклад втрати стійкості укосу земляного полотна

Одним із методів підвищення стійкості земляних транспортних споруд є застосування армування ґрунтів [3; 4; 5].

Одним із 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 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;

φ – кут внутрішнього тертя ґрунту, град.;

γ – питома вага ґрунту, т/м³;

H – висота схилу або укосу, м;

A і B – безрозмірні коефіцієнти.

Коефіцієнти A і B беруться по таблицях, складених на основі даних розрахунків різноманітних варіантів, виконаних методом відсіків при різних нахилах укосів.

Крім визначення стійкості схилу методика М. Н. Гольдштейна дає можливість розв'язувати зворотну задачу: визначати висоту схилу H при заданому коефіцієнті стійкості k_{cm} :

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

За даною залежністю не можливо 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».

Виклад матеріалу. На основі методу планування експерименту Бокса-Уїлсона [7; 8] та методів розрахунку стійкості Ю. Соловйова, К. Терцагі, А. Дорфмана, Г. Шахунянца була

розроблена така методика та отримане 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;

φ – кут внутрішнього тертя ґрунту, град.;

γ – питома вага ґрунту, т/м³;

H – висота насипу, м;

i – ухил укосу;

L_1 – висота фіктивного стовпа ґрунту, від поїзного навантаження, м;

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

L_3 – відстань між армуючими прошарками, м;

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

L_5 – довжина арматури в утримувальному шарі, м;

n – кількість прошарків армування, шт.

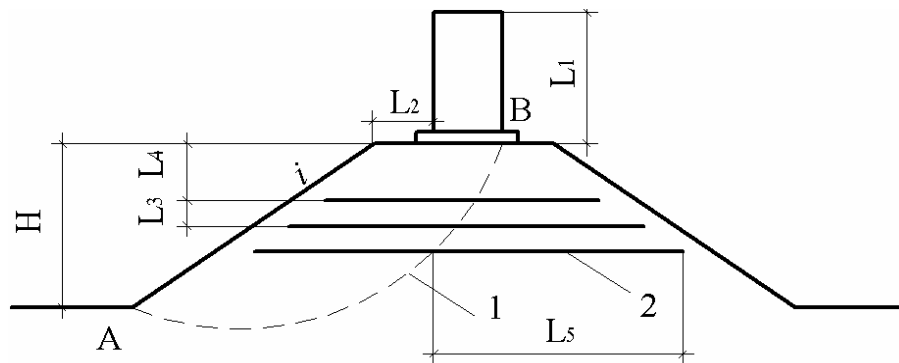


Рис. 2. Схема втрати стійкості укосу земляного полотна:
1 – поверхня ковзання; 2 – армування ґрунту

Побудова математичної інтерполяційної моделі (3) виконується у такій послідовності:

1. Підготовка вихідних даних. Вихідні дані (надалі – фактори) складаються на підставі геологічних вишукувань, лабораторних і польових випробувань ґрунтів, геодезичних вимірів, даних про швидкість руху поїздів по даній ділянці колії. При побудові математичної інтерполяційної моделі (3) для розрахунків стійкості армованих укосів урахувано 11 факторів.

2. Обчислюються для кожного фактора область визначення, інтервал варіювання, основний рівень, верхній і нижній рівні.

3. Побудова і реалізація плану-матриці типу 2^{k-n} (дробова репліка).

У зв'язку з великою кількістю вихідних даних необхідно використовувати дробове планування, тобто дробову репліку типу 2^{k-n} (де 2 – кількість рівнів варіювання, k – загальна кількість факторів, n – лінійні ефекти, прирівняні до ефектів взаємодії). Для одинадцяти факторів найбільше підходить план-матриця 2^{11-7} (1/128-репліка від 2^{11}), тобто шістнадцять варіантів розрахунку стійкості земляного полотна.

4. Генеруючі співвідношення та визначальні контрасти. Задаємо 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. Соловйова, А. Дорфмана і Г. Шахунянца.

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. Перевірка проводиться за критерієм Стьюдента.

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

Після виконаної перевірки для кожного з 16 варіантів розраховуються середнє арифметичне, дисперсія і середнє квадратичне відхилення вже з урахуванням усіх чотирьох методів розрахунку (методів Ю. Соловйова, К. Терцагі, А. Дорфмана, Г. Шахунянца).

8. Оцінка дисперсій середнього арифметичного у кожному рядку матриці.

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

Перевірка умови однорідності дисперсій – це перевірка того, що серед усіх дисперсій, які підсумовуються, не було таких, які б значно перевищували всі інші.

У зв'язку з тим, що порівнювана кількість дисперсій більша 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 – критерію Фішера.

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

Залежно від умов розрахунків інтерполяційна модель (3) може мати такий вид:

1) розрахунок стійкості укусу 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 урахування 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 укусу 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 укусів дають можливість визначити (з умови забезпечення стійкості земляного полотна): кількість прошарків армування n , допустимий ухил укусу i , відстань між армуючими прошарками, відстань між фіктивним стовпом ґрунту та верхнім армуючим прошарком, довжину армування.

Параметри визначаються таким 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 укусу 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 та перспективи подальших досліджень. Методика дозволяє: аналітично визначити коефіцієнт стійкості укусів земляного полотна доріг рівняннями регресії, не вдаючись до ітераційного відшукування найбільш імовірної поверхні ковзання; робити перевірку

адекватності отриманої математичної інтерполяційної моделі на відповідність умовам, що визначають розрахункову схему стійкості укусу. Отримані рівняння регресії дають можливість для заданого діапазону вихідних даних визначати значущість і ступінь впливу кожного фактора на інтегральний коефіцієнт стійкості укусу земляного полотна доріг, що необхідно при виборі проектних параметрів системи «армоване земляне полотно – тимчасове динамічне навантаження від рухомого складу».

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Інструкція з утримання земляного полотна залізниць України / Л. І. Дяченко, Г. П. Кислий, В. О. Курач. – Д. : Вид-во АТЗТ ВКФ «Арт-прес», 2001. – 104 с.
2. **Грицьк В. И.** Расчеты земляного полотна железных дорог: Учеб. пособ. для вузов железнодорожного транспорта / В. И. Грицьк. – М. : УМК МПС, 1998. – 520 с.
3. ВСН 205-87. Ведомственные строительные нормы. Проектирование земляного полотна железных дорог из глинистых грунтов с применением геотекстиля. – М. : ЦНИИС, 1987. – 56 с.
4. Технические указания по применению нетканых материалов для усиления земляного полотна: ЦП-4591/МПС СССР, Главное управление пути. – М. : Транспорт, 1989. – 47 с.
5. **Джоунс К. Д.** Сооружения из армированного грунта / К. Д. Джоунс. – М. : Стройиздат, 1989. – 280 с.
6. **Гольдштейн М. Н.** Механика грунтов, основания и фундаменты / М. Н. Гольдштейн, А. А. Царьков, И. И. Черкасов. – М. : Транспорт, 1981. – 320 с.
7. **Босов А. А.** Методические указания к курсу «Теория надёжности и планирование эксперимента» / А. А. Босов. – Д. : ДИИТ, 1983. – Ч. II. – 47 с.
8. Моделювання технологічних процесів у середовище Microsoft Excel: Навч. посіб. / М. В. Терещенко, Є. М. Марченко, В. М. Ковшов та ін. – Д. : Пороги, 2005. – 266 с.

УДК 624:69.0365:692

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ КАРКАСНО-МОНОЛИТНЫХ ЗДАНИЙ К ЛАВИНООБРАЗНЫМ ОБРУШЕНИЯМ

*Е. А. Егоров, д. т. н., проф., Т. А. Ковтун-Горбачева, к. т. н., доц.,
Ю. В. Федоряка, к. т. н., Л. В. Купневич, асп.*

Ключевые слова: лавинообразное обрушение, механизм обрушения, здание, несущие конструкции, плиты перекрытий, колонны, работа внутренних усилий, работа внешних сил

Введение, анализ состояния вопроса. В последнее время в технической литературе активно обсуждается проблема лавинообразных, или, как их еще называют, прогрессирующих обрушений. Проблема является относительно новой и не совсем сопоставимой с подходами, традиционно применяющимися в строительстве, поэтому много внимания в указанных работах уделяется, прежде всего, методологическим аспектам проблемы [4; 5; 12]. Попутно разрабатываются и апробируются алгоритмы расчетных оценок сопротивляемости различных видов зданий и сооружений прогрессирующим обрушениям, анализируется напряженно-деформированное состояние, возникающее в конструкциях при локальных разрушениях тех или иных элементов [1; 13 – 15], проводятся экспериментальные исследования [3].

Как справедливо отмечено в [5], рассматриваемая проблема по сути своей весьма созвучна с проблемой живучести, которая, в свою очередь, имеет давнюю историю своего становления и развития (см. ссылки в [5]), но до настоящего времени оставалась не очень широко востребованной в практической инженерной деятельности. Сейчас по целому ряду причин эта проблема становится все более актуальной. К сегодняшнему дню в России, например, издан целый ряд руководств и рекомендаций [2; 8 – 11], где сформулированы отправные термины и понятия, а также основные и, в какой-то мере, конкретные расчетные и конструктивные принципы проектирования зданий и сооружений, стойких к лавинообразным обрушениям. К сожалению, все указанные выше документы носят частный характер, трактовка основных понятий в них имеет различия в целом ряде важных аспектов, отсутствуют общие принципы формирования расчетных аварийных ситуаций.