

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.137.2-026.564

О. Л. ТЮТЬКІН^{1*}, О. І. ДУБІНЧИК², В. Р. КІЛЬДСЄВ³

^{1*} Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, ел. пошта alexeytutkin@gmail.com, ORCID 0000-0003-4921-4758

² Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 53, ел. пошта olga_dubinchik@i.ua, ORCID 0000-0003-4059-2357

³ Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 53, ORCID 0000-0003-2803-8150

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ УКОСІВ ЗЕМЛЯНИХ СПОРУД

Мета. Провести оглядовий аналіз методів оцінки стійкості схилів і укосів, які використовуються в теперішній час. Оцінка стійкості схилів і укосів може бути здійснена тільки на основі комплексного вивчення з використанням різних методів. **Методика.** Теоретичні дослідження. Розрахунок стійкості укосів при проектуванні ведеться за різними напівемпіричними методами. Постановка плоскої задачі обумовлює залишковий запас стійкості укосу. Застосування варіаційного обчислення дозволяє враховувати просторову схему схилу. **Результати.** Виконаний у рамках цього дослідження аналіз визначення характеристики стійкості зсувних схилів дає підставу твердити, що коефіцієнт стійкості безпосередньо залежить від характеру, крутизни та геологічної будови схилу. **Наукова новизна.** Від вибраних методів на пряму залежить розрахункова схема для визначення коефіцієнта стійкості. Розрахунок буде достовірнішим коли точніше і детальніше побудована відповідна схема. **Практична значимість.** Використання кожного із розглянутих методів передбачає виконання ряду спеціальних геотехнічних вишукувань і вибору розрахункової моделі шляхом порівняння переваг і недоліків.

Ключові слова: природний схил; зсувна ділянка; коефіцієнт стійкості укосу; поверхня ковзання; варіаційний метод рішення задач стійкості ґрунті; міцність та стійкість порід

Вступ

Стійкістю земляних споруд називається їх здатність зберігати проектну форму і розміри і обумовлюється рівновагою мас під дією зовнішніх і внутрішніх сил. Стійкість залежить від кута природного укосу ґрунту, який утворює площину укосу з горизонтальною площиною поверхні ґрунту.

Стійкість земляних споруд відноситься до першої групи граничних станів. Тому стійкість визначається напруженим станом і міцністю ґрунтів земляної споруди. Міцність ґрунтів в свою чергу характеризується міцностними характеристиками – питомим зчепленням і кутом внутрішнього тертя.

Сьогодні в якості будівельних площадок нерідко використовують території, які безпосередньо примикають до діючих зсувів або розміщені на берегових схилах річок, ярів, балок. Це значить, що в якості основ будівель і споруд використовують ґрунтові масиви, які знаходяться в складних інженерно-геологічних умо-

вах. В цих випадках стає необхідним проводити аналіз стійкості зсувних схилів з залученням розрахункових методів, що є частиною комплексної інженерно-геологічної оцінки і прогнозу стійкості природних зсувних схилів.

Мета

Оцінка стійкості укосів і схилів є актуальною проблемою в зв'язку з дефіцитом вільних земельних площ, освоєнням зсувонебезпечних територій під будівництво, а також активізацією і появою нових зсувів, обумовлених втручанням людини в навколишнє середовище. Порушення стійкості схилів пов'язане з великими матеріальними збитками. Тому контроль над цими процесами дуже важливий в ході зведення і експлуатації висотних житлових будівель і споруд.

Методика

Розрахунок стійкості укосів і схилів, оснований на припущенні ковзання частини масиву нескельних порід відносно його основи по ко-

лоциліндричній поверхні, був вперше запропонований С. Хультіном і К Петерсеном під час аналізу зсуву набережної Стігберга в Гетерборзі у 1916 році [1].

В цьому розрахунку сповзаючий масив був розбитий на вертикальні відсіки, причому припускалося, що кожний відсік чинить на сусідній, нижче розташований, горизонтально направлений тиск. Реактивний тиск по підшві кожного відсіку приймався як спрямований по дотичній до кола тертя.

В подальшому К. Терцагі [2] спростив спосіб відсіків, запропонувавши знехтувати взаємодією між відсіками, що йшло в запас стійкості.

Намагаючись поліпшити спосіб розрахунку стійкості, Д. Тейлор у 1934 році запропонував використовувати спосіб кола тертя, розглядаючи весь сповзаючий клин у цілому [3]. Однак для спрощення задачі йому прийшлося допустити, що рівнодіюча тиску по поверхні ковзання проходить по дотичній до кола тертя. При цьому сам Тейлор вказував на приблизність цього допущення.

Використовувати «коло тертя» вперше запропонував Кулон в 1785 році для розрахунку зусиль, які виникають при ковзанні канату по шпилью в умовах неповного обхвату останнього або при котінні вала по циліндричній поверхні [1].

Н. С. Ніколайчук у 1976 році використав цю схему кінетичної пари для швидкої оцінки стійкості укусу [1]. Власна вага клина сповзання прикладена в центрі його ваги, рівнодіюча сил зчеплення проходить, як це показав Тейлор, паралельно хорді кривої ковзання. Зсуваючий момент може бути урівноважений тільки моментом реакції основи. В стані граничної рівноваги ця реакція повинна проходити в відповідності зі зміною кінетичної пари по дотичній до кола тертя.

Отже, якщо рівнодіюча сил власної ваги і сил зчеплення проходить по дотичній до кола тертя, тобто збігається по положенню реакцій основи по поверхні ковзання, коефіцієнт стійкості укусу рівняється 1. Якщо вона проходить правіше кола тертя, коефіцієнт стійкості менше 1 і якщо рівнодіюча проходить всередині кола тертя, коефіцієнт стійкості більше 1. Можна приблизно вважати, що стійкість укусу відповідає вимогам, якщо плече рівнодіючої відносно центра кола тертя в 1,5 і більше разів менше радіуса кола тертя.

Вивчення стійкості земляного полотна розглядається першою групою граничних станів, в основі якого лежить рівняння Кулона – Мора, яке відображає рівновагу зсуваючих і утримуючих сил

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

де τ – дотичне напруження в будь-якій точці масиву; σ – нормальне напруження; c і φ – параметри міцності ґрунту, відповідно питоме зчеплення і кут внутрішнього тертя.

Розрахунок стійкості зводиться до пошуку розташування поверхні ковзання в ґрунтовому масиві, на якому реалізуються максимальні зсувні напруження і це відповідає мінімальному коефіцієнту стійкості, який виражається відношенням сумарних утримуючих сил до сумарних зсуваючих сил.

Поверхня по якій проходить зміщення має циліндричну форму. При точному аналітичному рішенні для однорідних глинястих ґрунтів вона близька до логарифмічної [4]. Розміщення центру обертання, який відповідає мінімальному коефіцієнту стійкості масиву, знаходиться методом спроб.

Для полегшення цього пошуку на основі численних розрахунків рядом авторів (Феленіус, Бішоп, Хуан, Евері, Янбу, М. Н. Гольдштейн, Н. Н. Маслов та ін.) [5] розроблені прості допоміжні прийоми. По геометричним співвідношенням елементів укусу і характеристикам ґрунту з використанням розрахункових формул або номограм знаходяться безрозмірні коефіцієнти, за якими розраховуються координати центру обертання.

В усіх перерахованих способах розрахунок стійкості укусів ведеться за допомогою різних напівемпіричних методів і задача вирішується як плоска, що не завжди відповідає природі явища, так як не враховує вплив тертя на торцях клина ковзання.

Постановка плоскої задачі обумовлює надмірний запас стійкості укусу, який проектується. Бажано розглядати задачу як просторову.

У 1972 році У. Х. Магдеев [6] запропонував поверхню сковзання розбивати на сферичні і циліндричні ділянки. Такі поверхні сковзання дозволяють відносно просто, хоч і приблизно, враховувати просторовість явища і використовувати принцип розрахунку колових повер-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

хонь, застосований в випадку плоскої задачі. При цьому коефіцієнт стійкості укосу оцінюється як відношення моментів утримуючих зусиль до моменту зсувних зусиль.

$$k_{cm} = M_{ytp} / M_{zc} = \gamma \sum_{i=1}^n (S_i b + N_i) \times \cos \alpha_i \times \operatorname{tg} \phi + c (F_i + l_i L_i) / \gamma \sum_{i=1}^n (S_i + N_i) \sin \alpha_i, \quad (2)$$

де γ – питома вага ґрунту укосу; n – кількість відсіків; S_i – площа сегменту кола i -го відсіку; N_i – елементарний об'єм циліндричної частини відсіку; b – ширина елементарного відсіку; l_i – довжина дуги кругового сегменту; L_i – довжина дуги ковзання вставки; F_i – бокова поверхня ковзання вертикального відсіку.

Як показали розрахунки, знехтування просторовістю при розрахунках стійкості укосів в ряді випадків надто суттєво знижує запас стійкості в порівнянні з дійсністю (до 30 %).

М. М. Герсеванов був першим винахідником, який застосував варіаційне обчислення для вирішення проблеми стійкості основи: для визначення мінімального значення горизонтального навантаження, яке може сприйняти стінка набережної.

М. М. Герсеванов ввів допущення про деякий гіпотетичний ґрунт, який має властивість відсутності тертя і зчеплення по вертикальним перерізам елементарних відсіків, тоді як по інших площинах, цей ґрунт має ті ж самі значення кута внутрішнього тертя і зчеплення, що і реальний ґрунт. Цей метод не отримав широкого використання на практиці. Однак сама ідея використання варіаційного обчислення для рішення задач стійкості основи була важливим кроком в розвитку теорії механіки ґрунтів.

К Терцагі в своєму методі розрахунку стійкості укосів використав, практично, ту ж гіпотезу про властивості ґрунту, що була прийнята М. М. Герсевановим. Він звів цю варіаційну задачу до звичайної задачі на екстремум, яку вирішив шляхом ділення укосу вертикальними перерізами на блоки скінченної ширини. К. Терцагі запропонував знаходити коефіцієнт стійкості як відношення моменту сил утримуючих до моменту сил зсуваючих

$$k_i = M_{ytp} / M_{zc}. \quad (3)$$

К. Терцагі запропонував рахувати k_i для декількох взятих наздогад положень поверхонь ковзання і вибрати з них k_{min} .

Ю. І. Солов'єв в 1962 році запропонував при розрахунках стійкості укосів поверхню ковзання розглядати як поверхню контакту між клином зрушення і ґрунтом основи, по якій на клин діють односторонні сили зв'язку і зовнішні дотичні сили зчеплення і тертя. Функціонал являє собою відношення роботи сил які утримують до роботи сил які здвигують на переміщенні, яке має однакову горизонтальну складову в усіх точках поверхні ковзання гіпотетичного ґрунту.

Принцип варіаційного методу, запропонованого А. Г. Дорфманом полягає в пошуку мінімальної роботи сил на критичній поверхні ковзання. Коефіцієнт стійкості представлений функціоналом виду [5, 7, 8]:

$$k_{ст} = \int_{x_0}^{x_n} F(x, y, y') dx / \int_{x_0}^{x_n} \Phi(x, y, y') dx, \quad (4)$$

де

$$F = (\tilde{y} - y) \operatorname{tg} \phi + c / \rho (1 + y'^2), \quad (5)$$

$$\Phi = (\tilde{y} - y) y', \quad (6)$$

x, y – координати точки в площині ковзання; x_0, x_n і y_0, y_n – абсциси і ординати початку і кінця лінії ковзання; $y = \tilde{y}(x)$ і $y = y(x)$ – відповідно рівняння контуру укосу і денної поверхні; ρ – щільність ґрунту.

Числове рішення системи диференційних, інтегральних і кінцевих рівнянь варіаційних задач дуже громіздкі та трудомісткі. А. Г. Дорфман запропонував використовувати метод згладжування та метод лінеаризації для скорочення обчислювальних робіт [9, 10, 11].

Результати

Визначення міцності та стійкості порід схилу при зсувоутворенні базується на вимогах теорії граничної рівноваги, яка у свою чергу, має два різновиди – «строга» та «спрощена». «Строга» теорія граничної рівноваги базується на побудові диференційних рівнянь рівноваги сипкого середовища із знаходженням граничної умови в кожній точці досліджуваної області. На

відміну від «строгої», «спрощена» теорія граничної рівноваги базується на гіпотезі, що умова граничної рівноваги задовольняється на внутрішній межі лінії ковзання схилу в результаті одночасного вичерпання опору порід зсуву в межах усієї потенціальної поверхні [12-15].

Вважається, що в домежевому стані схил може знаходитись в чисто пружному стані деформування. Відповідно, диференціальні рівняння рівноваги в напруженнях мають наступний вигляд [7]:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = \rho g \sin \alpha + k_s \rho g \cos(\beta + \alpha), \quad (7)$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = \rho g \cos \alpha + k_s \rho g \sin(\beta + \alpha), \quad (8)$$

де σ_x і σ_y – нормальні напруження відносно вісей x та y ; τ_{xy} – дотичне напруження; g – прискорення вільного падіння; α – кут нахилу зсувного схилу до горизонту; β – кут атаки сейсмічної сили; k_s – сейсмічний коефіцієнт, який визначається

$$k_s = a_s / g, \quad (9)$$

де a_s – сейсмічне прискорення.

Якщо дією крайових ефектів на напружений стан масиву знехтувати, можна вважати, що напруження не залежить від координати x , і тоді вирази (7) та (8) перетворюються на вирази

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = \rho g \sin \alpha + k_s \rho g \cos(\beta + \alpha), \quad (10)$$

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = \rho g \cos \alpha + k_s \rho g \sin(\beta + \alpha). \quad (11)$$

Граничні умови для напружень будуть мати вигляд

$$\tau_{xy} = 0 \text{ при } y = 0, \quad (12)$$

$$\sigma_y = 0 \text{ при } y = 0. \quad (13)$$

Інтегруючи рівняння (10) та (11) з урахуванням граничних умов (12) і (13) отримуємо

$$\tau_{xy} = [\rho g \sin \alpha + k_s \rho g \cos(\beta + \alpha)]y, \quad (14)$$

$$\sigma_y = [\rho g \cos \alpha + k_s \rho g \sin(\beta + \alpha)]y. \quad (15)$$

Умова домежевого стану ґрунту схилу має вигляд умови Кулона

$$\tau_{xy} \leq \sigma_y \operatorname{tg} \varphi + c. \quad (16)$$

Підставивши вирази (14) і (15) до (16), отримуємо

$$[\rho g \sin \alpha + k_s \rho g \cos(\beta + \alpha)]y \leq y[\rho g \cos \alpha + k_s \rho g \sin(\beta + \alpha)] \operatorname{tg} \varphi + c. \quad (17)$$

Звідки

$$\rho g [\sin \alpha + k_s \cos(\beta + \alpha)] - \rho g \operatorname{tg} \varphi \times [\cos \alpha + k_s \sin(\beta + \alpha)] y \leq c. \quad (18)$$

При визначенні міцності та стійкості схилів основними чинниками, які на них впливають, є рельєф і гравітаційна сила [8, 16, 17]. Тому від сейсмічного складника напружень можна відмовитися і основні рівняння стають простішими [9]:

$$\tau_{xy} = \rho g y \sin \alpha, \quad (19)$$

$$\sigma_y = \rho g y \cos \alpha, \quad (20)$$

$$\rho g y [\sin \alpha - \operatorname{tg} \varphi \cos \alpha] \leq c. \quad (21)$$

Критична висота, при якій виникає межовий стан зсувного схилу без урахування сейсмічності визначається залежністю

$$H_{кр} = c / \rho g [\cos \alpha (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \varphi)]. \quad (22)$$

При виконанні умови $H_{кр} < H$, зсувний схил може перейти у замежовий стан, тобто

$$\tau_{xy} \geq \sigma_y \operatorname{tg} \varphi + c. \quad (23)$$

В результаті зволоження ґрунту, який складає схил, кут внутрішнього тертя та питоме зчеплення різко зменшуються і пересування ґрунту зсувного схилу стає лавиноподібним і для нього слід визначати кінематичні та динамічні характеристики [18, 19]. При цьому задача стійкості схилу переходить від «строгої» теорії граничної рівноваги до теорії дрібної води із урахуванням сухого тертя.

Для розрахунку стійкості схилів на основі «спрощеної» теорії граничної рівноваги існує два підходи: інтегральний та диференціальний [9, 20, 21].

До першого з них відносяться методи, при застосуванні яких вважають, що особливої точ-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ності у визначенні розподілу напружень по поверхні ковзання на потрібно і достатньо знати лише загальну вагу сповзаючої маси. Вважається також, що результати розрахунку стійкості мало змінюються при невеликих відхиленнях, тому можна для спрощення приймати найпростіші геометричні описи цієї поверхні. Подібні наближені методи називаються інтегральними, оскільки умови рівноваги в них складаються відразу для усього зрушеного масиву.

В більш відповідальних випадках – при значних висотах укосів, складній геологічній будові і наявності будівель нижче укосів і зверху біля бровки, застосовують більш точні методи розрахунку, які ґрунтуються на дослідженні розподілу напружень в укосі. В цих методах потрібно забезпечити умову рівноваги в усіх точках масиву ґрунту. І, крім того, в кожній точці поверхні ковзання повинна виконуватися умова Кулона. Ці методи розрахунку приводять до необхідності складання та інтегрування диференціальних даних, тому їх називають диференціальними.

Висновки

При проведенні інженерно-геологічних вишукувань на територіях, які примикають до діючих зсувів або до нестійких схилів, виникає необхідність розрахунку коефіцієнта стійкості. Із багатьох існуючих сьогодні методів розрахунку важливим є вибір того методу, який в кожному конкретному випадку допоможе отримати найбільш вірний результат.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Николайчук, Н. С. Применение теории кинематической пары к расчету устойчивости откосов [Текст] / Н. С. Николайчук // Вопросы геотехники. – 1976. – Вып. 25. – С. 79-81.
2. Терцаги, К. Теория механики грунтов [Текст] / К. Терцаги. – Москва. – 1961. – 507 с.
3. Тейлор, Д. Основы механики грунтов [Текст] / Д. Тейлор. – Москва : Стройиздат, 1960. – 588 с.
4. Соколовский, В. В. Теория пластичности [Текст] / В. В. Соколовский. – Москва : «Высшая школа», 1969. – 608 с.
5. Смоляницкий, Л. А. Оценка устойчивости земляных сооружений [Текст] / Л. А. Смоляницкий // Весник ВГУ. – 2006. – Вып. 2. – С. 225-239.
6. Магдеев, У. Х. Расчет устойчивости откосов с учетом пространственности [Текст] / У. Х. Магдеев // Прочность и устойчивость грунтов. – 1972. – Вып. 20. – С. 86-91.
7. Маслов, Н. Н. Механика грунтов в практике строительства [Текст] / Н. Н. Маслов. – Москва : Стройиздат, 1977. – 320 с.
8. Ухов, С. Б. Механика грунтов, основания и фундаменты [Текст] / С. Б. Ухов, В. В. Семенов, В. В. Знаменский, З. Г. Тер-Мартirosян, С. Н. Чернышев. – Москва : АСВ, 1994. – 577 с.
9. Гольдштейн, М. Н. Механические свойства грунтов. Основные компоненты грунта и их взаимодействие [Текст] / М. Н. Гольдштейн. – Москва : Стройиздат, 1971. – 375 с.
10. Петренко, В. Д. Оцінка стійкості природних схилів методами математичного моделювання в програмі «ОТКОС» [Текст] / В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін, О. І. Дубінчик, В. Р. Кільдєєв // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2015. – Вып. 8. – С. 23-32.
11. Петренко, В. Д. Результаты исследований стійкості укосів земляного полотна високих насипів за допомогою програми «ОТКОС» [Текст] / В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін, О. І. Дубінчик, В. Р. Кільдєєв // Українська залізниця. – 2017. – Вып. 03-04. – С. 44-47.
12. Баранов, И. В. Определение момента потери устойчивости при расчетах склонов и откосов [Текст] / И. В. Баранов, Ш. Р. Незамутдинов, А. И. Сапожников. – Москва : 1989. – 254 с.
13. Ковров, О. С. Оцінка впливу гідрогеологічних характеристик ґрунтів на стійкість природних схилів для прогнозу зсувів [Текст] / О. С. Ковров // Екологічна безпека. – 2003. – №1/(15). – С. 72-76.
14. Оползни. Исследование и укрепление [Текст] / Под ред. Шустера Р. и Кризека Р. – Москва : Мир, 1981. – 368 с.
15. Федоровский, В. Г. Метод расчета устойчивости откосов и склонов [Текст] / В. Г. Федоровский, С. В. Курилло. // Геоэкология, 1997. – № 6. – С. 95-106.
16. Хуан, Я. Х. Устойчивость земляных откосов [Текст] / Я. Х. Хуан. – Москва : Стройиздат, 1988. – 240 с.
17. Шаповал, А. В. Полевой метод определения упругих и реологических свойств грунта [Текст] / А. В. Шаповал, В. В. Крысан, В. Г. Шаповал, Е. В. Нестерова // Мости та тунелі : теорія, дослідження, практика. – 2012. – Вып. 3. – С. 229-233.
18. Дорфман, А. Г. Исследование устойчивости склонов [Текст] / А. Г. Дорфман, А. Я. Туровская // Вопросы геотехники: Межвуз. сб. научн. трудов. Днепропетровск, 1975. – № 24. – С. 132-156.
19. Малышев, М. В. Прочность грунтов и устойчивость оснований сооружений [Текст] / М. В. Малышев. – Москва : Стройиздат, 1980. – 136 с.

20. Abramson L. W., Lee T. S., Sharma S., Boyce G. M. Slope Stability and Stabilization Methods. John Wiley & Sons. New York, 2002, 216 p.
21. Huang Ching-Chuan, Lo Chien-Li, Jang Jia-Shiun, Hwu Lih-Kang. Internal soil moisture response to rainfall-induced slope failures and debris discharge. Engineering Geology, no. 101, 2008, pp. 134-145.

А. Л. ТЮТЬКИН^{1*}, О. И. ДУБИНЧИК², В. Р. КИЛЬДЕЕВ³

^{1*} Кафедра «Мости и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, эл. почта alexeytutkin@gmail.com, ORCID 0000-0003-4921-4758

² Кафедра «Мости и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 53, эл. почта olga_dubinchik@i.ua, ORCID 0000-0003-4059-2357

³ Кафедра «Мости и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 53, ORCID 0000-0003-2803-8150

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ЗЕМЛЯНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Цель. Провести обобщенный анализ методов оценки устойчивости склонов и откосов, которые используются в настоящее время. Оценка устойчивости склонов и откосов может быть осуществлена только на основании комплексного изучения с использованием различных методов. **Методика.** Теоретические исследования. **Результаты.** Проведенный в рамках этого исследования анализ определения характеристики устойчивости оползневых склонов дает основание утверждать, что коэффициент устойчивости непосредственно зависит от характера, крутизны и геологического строения склона. **Научная новизна.** От выбранных методов напрямую зависит расчетная схема для определения коэффициента устойчивости. Расчет будет достоверным в том случае, когда точнее и детальнее будет построена соответствующая схема. **Практическая значимость.** Использование каждого из рассмотренных методов предусматривает использование ряда специальных геотехнических изысканий и выбора расчетной модели путем сравнения преимуществ и недостатков.

Ключевые слова: природный склон; оползневой участок; коэффициент устойчивости откоса; поверхность скольжения; вариационный метод решения задач устойчивости грунтов; прочность и устойчивость пород

О. Л. ТИУТКИН^{1*}, О. И. ДУБИНЧИК², В. Р. КИЛЬДЕЕВ³

^{1*} Department «Bridges and tunnels» of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Str., Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 290 45 18, e-mail alexeytutkin@gmail.com, ORCID 0000-0003-4921-4758

² Department «Bridges and tunnels» of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Str., Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 53, e-mail olga_dubinchik@i.ua, ORCID 0000-0003-4059-2357

³ Department «Bridges and tunnels» of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Str., Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 53

METHODS FOR THE DETERMINATION OF THE STABILITY OF THE EARTH CONSTRUCTION DEVICE

Purpose. Conduct a generalized analysis of methods for assessing the stability of slopes and slopes, which are currently used. An assessment of the stability of slopes and slopes can be carried out only on the basis of a comprehensive study using different methods. **Methodology.** Theoretical research. **Findings.** The analysis carried out in the framework of this study to determine the stability characteristics of landslide slopes suggests that the coefficient of stability depends directly on the nature, steepness and geological structure of the slope. **Originality.** The calculation scheme for determining the coefficient of stability directly depends on the methods chosen. The calculation will be reliable in the event that the corresponding scheme is more accurately and more detailed. **Practical value.** The use of each of the methods considered provides for the use of a number of special geotechnical surveys and the selection of a calculation model by comparing advantages and disadvantages.

Keywords: natural slope; landslide area; coefficient of slope stability; sliding surface; Variational method for solving problems of soil stability; strength and stability of rocks

REFERENCES

1. Nikolaychuk N. S. Primenenie teorii kinemacheskoy pary k raschetu ustoychivosti otkosov [Application of the theory of the kinematic pair to the calculation of the stability of slopes]. *Voprosy geotekhniki – Questions of geotechnics*, 1976, issue 25, pp. 79-81.
2. Tertsagi K. *Teoriya mekhaniki gruntov* [Theory of Soil Mechanics]. Moscow, 1961. 507 p.
3. Teylor D. *Osnovy mekhaniki gruntov* [Fundamentals of soil mechanics]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1960. 588 p.
4. Sokolovskiy V. V. *Teoriya plastichnosti* [Theory of plasticity]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1969. 608 p.
5. Smolyanitskiy L. A. Otsenka ustoychivosti zemlyanykh sooruzheniy [Estimation of stability of earthworks]. *Vesnik VGU – Bulletin of VSU*, 2006, issue 2, pp. 225-239.
6. Magdeev U. Kh. Raschet ustoychivosti otkosov s uchetoм prostranstvennosti [Calculation of the stability of slopes taking into account the spatiality]. *Prochnost i ustoychivost gruntov – Strength and stability of soils*, 1972, issue 20, pp. 86-91.
7. Maslov N. N. *Mekhanika gruntov v praktike stroitelstva* [Soil mechanics in construction practice]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1977. 320 p.
8. Ukhov S. B., Semenov V. V., Znamenskiy V. V., Ter-Martirosyan Z. G., Chernyshev S. N. *Mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenti* [Soil mechanics, foundations and foundations]. Moscow, ASV Publ., 1994. 577 p.
9. Goldshteyn M. N. *Mekhanicheskie svoystva gruntov. Osnovnyye komponenty grunta i ikh vzaimodeystvie* [The mechanical properties of soils. The main components and their interaction soil]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1971. – 375 p.
10. Petrenko V. D., Tiutkin O. L., Dubinchyk O. I., Kildieiev V. R. Otsinka stiikosti pryrodnykh skhyliv metodamy matematychnoho modeliuвання v prohrami «OTKOS» [Estimation of stability of natural slopes by methods of mathematical modeling in the program "OTKOS"]. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2015, issue 8, pp. 23-32.
11. Petrenko V. D., Tiutkin O. L., Dubinchyk O. I., Kildieiev V. R. Rezultaty doslidzhen stiikosti ukosiv zemlianooho polota vysokyykh nasypiv za dopomohoiu prohramy «OTKOS» [Results of studies on the stability of the slopes of the earthen cloth of high embankments using the program "OTKOS"]. *Ukrainska zaliznytsia – Ukrainian railway*, 2017, issue 03-04, pp. 44-47.
12. Baranov I. V., Nezamutdinov Sh. R., Sapozhnikov A. I. *Opredefeniye momenta poteri ustoychivosti pri raschetakh sklonov i otkosov* [Defining moment of loss of stability in calculations of slopes and slopes]. Moscow, 1989. 254 p.
13. Kovrov O. S. Otsinka vplyvu hidroheolohichnykh kharakterystyk gruntiv na stiikist pryrodnykh skhyliv dlia prohnozu zsuвiv [Assessing the impact of geological characteristics of the soil on the stability of natural slopes for landslide-gnosis]. *Ekolohichna bezpeka – Ecological safety*, 2003 (15), issue 1, pp. 72-76.
14. Shuster R., Krizek R. *Opolzni. Issledovanie i ukreplenie* [Landslides. Research and strengthening.]. Moscow, Mir Publ., 1981. 368 p.
15. Fedorovskiy V. G., Kurillo S. V. Metod rascheta ustoychivosti otkosov i sklonov [The method of calculating the stability of slopes and slopes] *Geoekologiya – Geoecology*, 1997, issue 6, pp. 95-106.
16. Khuan Ya. Kh. Ustoychivost zemlyanykh otkosov [The stability of earth slopes]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1988. 240 p.
17. Shapoval A. V., Krysan V. V., Shapoval V. G., Nesterova Ye. V. Polevoy metod opredeleniya uprugikh i reologicheskikh svoystv grunta [Field method for determining the elastic and rheological properties of soil]. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 3, pp. 229-233.
18. Dorfman A. G., Turovskaya A. Ya. Issledovanie ustoychivosti sklonov [Research of stability of slopes]. *Voprosy geotekhniki – Geotechnics questions*, 1975, issue 24, pp. 132-156.
19. Malyshev M. V. *Prochnost gruntov i ustoychivost osnovaniy sooruzheniy* [Durability of soil and stability of the bases of constructions]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1980. 136 p.
20. Abramson L. W., Lee T. S., Sharma S., Boyce G. M. *Slope Stability and Stabilization Methods*. John Wiley & Sons, New York, 2002, 216 p.
21. Huang Ching-Chuan, Lo Chien-Li, Jang Jia-Shiun, Hwu Lih-Kang. Internal soil moisture response to rainfall-induced slope failures and debris discharge. *Engineering Geology*, 2008, issue 101, pp. 134-145.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Україна), д.т.н., проф. А. І. Лантухом-Лященко (Україна).

Надійшла до редколегії 18.08.2017.

Прийнята до друку 25.09.2017.