

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

УДК 624.15:539.3

В. Г. ШАПОВАЛ^{1*}, І. О. ПОНОМАРЕНКО^{2*}, Г. П. ІВАНОВА^{3*}, Р. М. ТЕРЕЩУК^{4*},
Д. О. ШАШЕНКО^{5*}

^{1*}Каф. «Будівництво, геотехніка і геомеханіка», Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Д. Яворницького, 19, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (095) 471 81 92, ел. пошта sharvv27@gmail.com, ORCID 0000-0003-2993-1311

^{2*}Каф. «Промислове і цивільне будівництво», Черкаський державний технологічний університет, б-р Шевченка, 460, Черкаси, Україна, 18006, тел. +38 (067) 962 76 71, ел. пошта ivan1990ponomarenko@gmail.com, ORCID 0000-0003-4296-3975

^{3*}Каф. «Будівництво, геотехніка і геомеханіка», Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Д. Яворницького, 19, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (050) 45 29 945, ел. пошта ivanova.h.p@nmu.one, ORCID 0000-0003-4219-7916

^{4*}Каф. «Будівництво, геотехніка і геомеханіка», Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Д. Яворницького, 19, Дніпро, Україна, 49000, тел. +38 (095) 751 25 26, ел. пошта Tereschuk.rm@gmail.com, ORCID 0000-0003-4509-2511

^{5*}Каф. «Геодезія», Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Д. Яворницького, 19, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (096) 716 73 93, ел. пошта shashenko@gmail.com, ORCID 0000-0002-0762-8306

Визначення конструктивних параметрів дискретних утримувальних споруд

Мета. Під час проектування протизсувних конструкцій виникає багато проблем, тому дискретні конструкції є альтернативою твердим протизсувним конструкціям. У цій роботі передбачено розробити методику визначення зони впливу дискретних утримувальних споруд на взаємодію з ними ґрунтового масиву, що сповзає, та методику, що дозволяє оцінити умови стійкого стану ґрунту, який взаємодіє з дискретними утримувальними конструкціями, шляхом побудови аналітичних залежностей, необхідних для визначення розмірів зони, та коефіцієнта стійкості ґрунту. **Методика.** Для досягнення мети використано теоретичні дослідження геомеханічних процесів із застосуванням аналітичних і чисельних математичних методів, а також аналіз та узагальнення результатів теоретичних досліджень. **Результати.** Наведені в роботі результати досліджень дозволяють під час проектування зсувних дискретних споруд визначити область взаємодії зсуву з дискретними утримувальними спорудами, а також врахувати коефіцієнт стійкості укладеного між елементами дискретної утримувальної конструкції ґрунту. Отримано залежності для визначення розмірів зони, у якій відбувається взаємодія ґрунтового масиву, що сповзає, з дискретними утримувальними конструкціями, і коефіцієнта стійкості ґрунту в зоні його взаємодії з цими спорудами. **Наукова новизна.** Аналітичні залежності дозволяють розрахунковим шляхом визначити стрілу підйому арки відвалу ґрунту між елементами дискретної протизсувної утримувальної конструкції та коефіцієнт стійкості ґрунту. **Практична значимість.** Результати досліджень дозволяють під час проектування утримувальних дискретних споруд визначити область їх взаємодії із зсувом та коефіцієнт стійкості ґрунту, укладеного між їх елементами.

Ключові слова: зсув; протизсувна утримувальна конструкція; суцільна утримувальна конструкція; дискретна утримувальна конструкція; коефіцієнт стійкості; зона взаємодії

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Вступ

На сьогодні під час проектування протизсувних утримувальних споруд мають місце такі проблеми [1, 2]:

1. Застосування суцільних утримувальних споруд (підпірних стін) – занадто дорогий і трудомісткий процес.

2. Влаштування таких споруд спричиняє підрізування укосу (схилу) і, як наслідок, утрату ним стійкості, а також відведення підземних вод.

3. Альтернативою суцільним протизсувним є дискретні утримувальні конструкції [6], однак, за їх використання постають такі проблеми:

3.1. Є ризик втрати міцності та стійкості ґрунту, який знаходиться між елементами дискретної утримувальної конструкції, що призводить до цього – руйнування і зрештою – сходження зсуву.

3.2. Дискретні (особливо багаторядні) утримувальні конструкції створюють для підземних вод бар'єрний ефект. Наслідок – підйом рівня підземних вод, погіршення стану ґрунту, який знаходиться в зоні впливу утримувальної конструкції, та його руйнування.

3.3. У наш час не існує методик визначення зони впливу дискретних утримувальних споруд на взаємодію з ними ґрунтового масиву, що сповзає. Це важливо знати під час використання для стабілізації зсувонебезпечних ділянок комбінації дискретних утримувальних конструкцій і закріплення ґрунту (наприклад, методами силікатизації, цементації та подібних).

3.4. Також поки не існує методик, що дозволяють оцінити умови стійкого стану ґрунту, який взаємодіє з дискретними утримувальними конструкціями.

Для врахування взаємодії дискретних утримувальних конструкцій зі зсувами використовують теорію аروحного ефекту, яку для прогнозу стійкості склепінь підземних виробок уперше запропонував М. М. Протод'яконов [11].

Суть цієї теорії полягає в тому, що під час обвалення гірської породи в покрівлі виробки утворюється аручне склепіння, форма якого

близька до параболічної. Стрілу підйому арки визначають із використанням емпіричної формули, яка враховує міцність породи на стиснення та величину прогону арки. Оскільки методика М. М. Протод'яконова спрямована на визначення навантаження на кріплення, надалі її розглядати не будемо.

Заслуговує на увагу варіант використання теорії аروحного ефекту, запропонований Л. К. Гінзбургом [2]. Запропонована ним розрахункова схема наведена на рис. 1, а. Передбачено, що руйнування ґрунту відбувається вздовж лінії, що проходить через замок арки. Були отримані формули для розрахунку стріли підйому арки відвалу та відстані між елементами утримувальних конструкцій:

$$b = \frac{6 \cdot \xi^2 \cdot c \cdot h \cdot \cos(\alpha) - E \cdot [2 \cdot \xi - \operatorname{tg}(\varphi)]}{0,2 \cdot E \cdot \xi^2 \cdot \cos(\alpha)}, \quad (1)$$

$$\xi = \frac{f}{b} = \frac{E + \sqrt{E^2 - 2 \cdot E \cdot h \cdot c \cdot \operatorname{tg}(\varphi)}}{4 \cdot h \cdot c}$$

де b – відстань між елементами утримувальної конструкції; f – стріла підйому арки відвалу; c – питоме зчеплення; φ – кут внутрішнього тертя; E – зсувний тиск; h – товщина ґрунтової маси в місці розташування утримувальної конструкції.

Аналіз формули (1) дозволяє зробити висновки, що відстань між опорами вимірюють в у частках одиниці (насправді вона повинно мати розмірність «метри»). Крім того, ця формула не дає відповіді на запитання про те, у якому стані (стійкому, байдужому або нестійкому) перебуває ґрунт між елементами утримувальної конструкції. Тому найбільш перспективним для цієї задачі є розроблений школою проф. О. М. Шашенка підхід, суть якого полягає в підрахунку утримувальних і зсувних ґрунтових сил і визначенні на цій основі коефіцієнта стійкості, що вказує на стійкість породного (у нашому випадку ґрунтового) масиву [3, 5, 9, 10, 11].

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

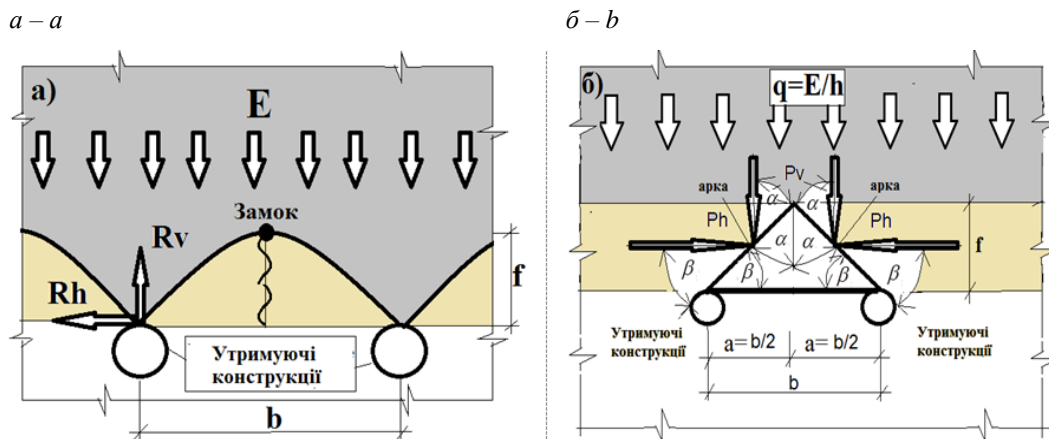


Рис. 1. Розрахункові схеми системи «зсув – дискретна утримувальна конструкція»: а – розрахункова схема Л. К. Гінзбурга; б – розрахункова схема, запропонована в цій статті. На рисунках узято позначення:

R_v – вертикальна опорна реакція; R_h – горизонтальна опорна реакція; E – зсувний тиск; b – прогін арки; β – кут нахилу осі арки до горизонту; P_v і P_h – вертикальний та горизонтальний тиск у точці на осі арки.

Світлим кольором позначено ґрунт у зоні взаємодії зсуву з утримувальною конструкцією

Fig. 1. Calculation schemes of the system «shift – discrete retaining structure»: а – calculation scheme of L. K. Ginzburg; б – calculation scheme proposed in this article.

Designations:

R_v – vertical support reaction; R_h – horizontal support reaction; E – shear pressure; b – span of the arch; β – canting angle of arc axis; P_v and P_h – vertical and horizontal pressure at a point on the arch axis.

The soil in the interaction zone of the landslide with the restraining construction is presented in light color

Мета

У цій статті передбачено розробити методику визначення зони впливу дискретних утримувальних споруд на взаємодію з ними ґрунтового масиву, що сповзає, та методику, що дозволяє оцінити умови стійкого стану ґрунту, який взаємодіє з дискретними утримувальними конструкціями, шляхом побудови аналітичних залежностей, необхідних для визначення розмірів зони, що сповзає, та коефіцієнта стійкості ґрунту.

Методика

Завдання дослідження та взяті припущення були сформульовані таким чином:

1. Під час руйнування ґрунтового масиву, що взаємодіє з дискретною утримувальною спорудою, утворюється арка відвалу одиначної товщини, спрямована опуклою частиною назустріч вектору переміщення зсуву. Для зручності візьмемо її стрілковою (розрахункова схема на рис. 1, б).

2. До арки прикладене рівномірне розподілене навантаження q , яке чисельно дорівнює відношенню зсувного тиску E до товщини ґрунтової маси h , тобто $q = P_h = \frac{E}{h}$ (рис. 1, б).

3. Опори арок спираються на сусідні елементи дискретної утримувальної конструкції. При цьому виникають горизонтальні (R_h) і вертикальні (R_v) реакції.

4. Відома форма контуру області відвалу гірської породи над виробкою (точніше, її рівняння $Y(x)$).

5. Механізм руйнування породи – зсув. Тому її поведінка під час руйнування підпорядковується умові міцності Кулона–Мора [3, 5, 7, 11]:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + c, \quad (2)$$

де τ – дотичне руйнівне напруження; σ – нормальне напруження; φ – кут внутрішнього тертя; c – питоме зчеплення.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

6. Відомі міцнісні характеристики ґрунту (тобто його питоме зчеплення c і кут внутрішнього тертя φ).

7. Прикладені до осей арок горизонтальні сили P_h узяті рівними нулю (це найбільш невідповідний випадок).

У рамках критерію міцності Кулона–Мора необхідно визначити стрілу підйому арки відвалу f та коефіцієнт стійкості ґрунту, що взаємодіє з протизсувною спорудою.

Результати

Нижче представлений алгоритм визначення стріли підйому арки відвалу ґрунту та коефіцієнта його стійкості.

1. Рівняння межі арки відвалу в першому наближенні подано у вигляді:

$$Y(x) = \begin{cases} \frac{f}{a} \cdot x & \text{за } x \in (0, a); \\ f \cdot \left(2 - \frac{x}{a}\right) & \text{за } x \in (a, b); \\ a = \frac{b}{2}. \end{cases} \quad (3)$$

2. Кут між віссю арки та нормаллю до горизонту дорівнює:

$$\alpha(x) = \alpha = \arctg \left[\frac{dY(x)}{dx} \right] = \arctg \left(\frac{f}{a} \right). \quad (4)$$

3. Кут нахилу осі арки до горизонту дорівнює:

$$\beta(x) = \beta = \frac{\pi}{2} - \arctg \left[\frac{dY(x)}{dx} \right] = \frac{\pi}{2} - \arctg \left(\frac{f}{a} \right). \quad (5)$$

4. Диференціал зсувних сил:

$$dT_{sd}(x) = q \cdot \sin(\alpha) = \frac{q \cdot f \cdot dx}{\sqrt{a^2 + f^2}}. \quad (6)$$

5. Диференціал проекції зсувних сил на вертикальну вісь Oy визначаємо таким чином:

$$dT_{sd,y}(x) = dT_{sd}(x) \cdot \cos(\beta) = \frac{q \cdot f \cdot a \cdot dx}{a^2 + f^2}. \quad (7)$$

6. Диференціал нормальної до осі арки сили визначаємо за формулою:

$$dN(x) = q \cdot \cos(\alpha) = \frac{q \cdot a \cdot dx}{\sqrt{a^2 + f^2}}. \quad (8)$$

7. Диференціал сили, що утримує ґрунтовий масив, дорівнює:

$$dT_{ud}(x) = dN(x) \cdot tg(\varphi) + c \cdot ds = \frac{q \cdot a^2 \cdot tg(\varphi) + c \cdot (a^2 + f^2)}{a \cdot \sqrt{a^2 + f^2}} \cdot dx, \quad (9)$$

де $ds = \frac{dx}{\cos(\alpha)}$ – диференціал дуги осі арки.

8. Диференціал проекції сили на вертикальну вісь, що утримує ґрунтовий масив, дорівнює:

$$dT_{ud,y}(x) = dT_{ud}(x) \cdot \sin(\beta) = \frac{q \cdot a^2 \cdot tg(\varphi) + c \cdot (a^2 + f^2)}{a^2 + f^2} \cdot dx. \quad (10)$$

9. Сума проекцій зсувних сил на вертикальну вісь Oy дорівнює:

$$T_{sd,y} = 2 \cdot \int_0^a dT_{sd,y}(x) = 2 \cdot \frac{q \cdot f \cdot a^2}{a^2 + f^2}. \quad (11)$$

10. Сума проекції сил на вертикальну вісь, утримують ґрунтовий масив, дорівнює:

$$T_{ud,y} = 2 \cdot \int_0^a dT_{ud,y}(x) = 2 \cdot \frac{q \cdot a^2 \cdot tg(\varphi) + c \cdot (a^2 + f^2)}{a^2 + f^2} \cdot a. \quad (12)$$

11. Коефіцієнт стійкості арки відвалу дорівнює відношенню суми її утримувальних сил до суми зсувних сил:

$$K_u = \frac{T_{ud,y}}{T_{sd,y}} = \frac{q \cdot a^2 \cdot tg(\varphi) + c \cdot (a^2 + f^2)}{f \cdot q \cdot a}. \quad (13)$$

12. Формула (13) є функціоналом, який має екстремум (точніше, мінімум) якщо значення стріли підйому арки дорівнює [4]:

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

$$f = \frac{\sqrt{q \cdot c \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + c^2}}{c} \cdot a = \frac{\sqrt{q \cdot c \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + c^2}}{2 \cdot c} \cdot b. \quad (14)$$

Аналіз формули (14) вказує на те, що відповідному мінімальному значенню коефіцієнта стійкості відповідає значення стріли підйому арки вивалу, чисельно рівне міцності ґрунту, розрахованій із використанням критерію О. М. Шашенка [8], поділеній на питоме зчеплення ґрунту та помноженій на половину прогону між сусідніми елементами утримувальної конструкції.

13. Далі знайдемо мінімальне значення коефіцієнта стійкості з усіх його можливих значень. Для цього підставимо (13) у (14). Маємо:

$$K_{u,\min} = 2 \cdot \frac{\sqrt{q \cdot c \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + c^2}}{q}. \quad (15)$$

Аналіз формули (15) вказує на те, що мінімальне значення коефіцієнта стійкості чисельно дорівнює подвоєній міцності ґрунту, розрахованій із використанням критерію О. М. Шашенка [8], поділеній на зсувний тиск, віднесений до товщини ґрунтової маси в місці знаходження утримувальної конструкції.

Формули (14) і (15) дозволяють визначити критичні значення стріли підйому арки вивалу та її коефіцієнта стійкості для одиничного шару ґрунту. Щоб знайти ці параметри для всієї ґрунтової маси, врахуємо рівність:

$$q = \frac{E}{h}, \quad (16)$$

де h – товщина ґрунтової маси в місці розташування утримувальної конструкції. Маємо:

$$\left. \begin{aligned} f &= \frac{\sqrt{E \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + h \cdot c}}{2 \cdot \sqrt{c \cdot h}} \cdot b; \\ K_{u,\min} &= 2 \cdot \frac{\sqrt{E \cdot c \cdot h \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + (h \cdot c)^2}}{E}. \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Недоліком формул (17) є те, що вони можуть бути застосовані тільки до однорідних основ. Для його усунення замінимо міцнісні характеристики їх середньозваженими значеннями \bar{c} і $\bar{\varphi}$. У цьому випадку рівності (17) набудуть вигляду:

$$\left. \begin{aligned} f &= \frac{\sqrt{E \cdot \operatorname{tg}(\bar{\varphi}) + h \cdot \bar{c}}}{2 \cdot \sqrt{\bar{c} \cdot h}} \cdot b; \\ K_{u,\min} &= 2 \cdot \frac{\sqrt{E \cdot \bar{c} \cdot h \cdot \operatorname{tg}(\bar{\varphi}) + (h \cdot \bar{c})^2}}{E}; \\ \bar{c} &= \frac{\sum_{i=1}^m c_i \cdot h_i}{h}; \quad \bar{\varphi} = \frac{\sum_{i=1}^m \varphi_i \cdot h_i}{h}, \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

де c_i і φ_i – міцнісні характеристики i – того ґрунтового шару завтовшки h_i , а m – кількість ґрунтових шарів.

Наукова новизна та практична значимість

Отримано аналітичні залежності, що дозволяють розрахунковим шляхом визначити такі параметри системи «дискретна протизсувна конструкція – ґрунтовий масив, що сповзає»:

- стрілу підйому арки вивалу ґрунту між елементами дискретної протизсувної утримувальної конструкції (тобто зону впливу дискретної протизсувної споруди на зсув);
- коефіцієнт стійкості ґрунту, укладеного між елементами дискретної протизсувної споруди.

Наведені в роботі результати досліджень дозволяють під час проєктування зсувних дискретних споруд визначити область взаємодії зсуву з дискретними утримувальними спорудами (це важливо за додаткового використання методів поліпшення будівельних властивостей ґрунтових основ), а також врахувати коефіцієнт стійкості укладеного між елементами дискретної утримувальної конструкції ґрунту (це важливо в разі вибору місця влаштування протизсувної споруди, призначення кроку розміщення її елементів та інших конструктивних параметрів).

Висновки

У цілому можна зробити висновок, що отримані у роботі формули дозволяють визначити зону зсуву, у якій відбувається його взаємодія з переривчастими утримувальними спорудами, і коефіцієнт стійкості ґрунту в цій зоні.

Ці дані мають важливе значення для проєктування дискретних утримувальних споруд.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Билеуш А. И. *Оползни и противооползневые мероприятия*. Киев : Наукова думка, 2009. 560 с.
2. Гинзбург Л. К. *Противооползневые сооружения*. Днепропетровск : Лира ЛТД, 2007. 188 с.
3. Ковров О. С., Терещук Р. М. Аналіз підходів щодо визначення міцнісних характеристик гірських порід для прогнозу зсувонебезпечності укосів. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2020. Т. 28, № 1. С. 63–72. DOI: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2020-1-63-72>
4. Корн Г. *Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы*. Москва : Книга по Требованию, 2014. 832 с.
5. Сдвижкова О. А., Ковров О. С., Мніщенко Т. В. Статистична оцінка міцнісних властивостей глинистих порід. *Зб. наук. праць НГУ*. 2018. № 54. С. 240–252.
6. Тютюкін О. Л., Ігнатенко Д. Ю. Визначення раціональних параметрів підпірних конструкцій із ґрунто-цементних паль на зсувонебезпечних схилах. *Наука та прогрес транспорту*. 2020. № 6 (90). С. 97–105. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2020/225281>
7. Шаповал В. Г., Шаповал А. В., Моркляник Б. В., Андреев В. С. *Механика грунтов*. Днепропетровск : Пороги, 2010. 168 с.
8. Шашенко А. Н., Пустовойтенко В. П., Сдвижкова Е. А. *Геомеханика. Учебник*. Киев : ГВУЗ Национальный горный университет, 2015. 563 с.
9. Babets D. V., Kovrov O. S., Moldabayev S. K., Tereschuk R. M., Sosna D. O. Impact of water saturation effect on sedimentary rocks strength properties. *Науковий вісник НГУ*. 2020. № 4. Р. 76–81. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-4/076>
10. Solodyankin O., Kovrov O., Ruban N. Investigation of physical and mechanical properties of subsiding soils at the Yevpatoriyskaya ravine located in the City of Dnepropetrovsk. *Науковий вісник НГУ*. 2015. № 1. Р. 15–20.
11. Shapoval, V., Solodyankin, A., Hryhoriev, O. & Dubovyk, O. Determining the parameters of a natural arch while forming support load of a horizontal roadways. *Науковий вісник НГУ*. 2021. № 2. Р. 17–25. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-2/017>

V. H. SHAPOVAL^{1*}, I. O. PONOMARENKO^{2*}, H. P. IVANOVA^{3*}, R. M. TERESHCHUK^{4*}, D. O. SHASHENKO^{5*}

^{1*}Dep. «Construction, Geotechnics and Geomechanics», Dnipro University of Technology, Dmytra Yavornytskoho Av., 19, Dnipro, Ukraine, 49005, tel. +38 (095) 471 81 92, e-mail shapvv27@gmail.com, ORCID 0000-0003-2993-1311

^{2*}Dep. «Industrial and Civil Construction», Cherkasy State Technological University, Shevchenko Blvd., 460, Cherkasy, Ukraine, 18006, tel. +38 (067) 962 76 71, e-mail ivan1990ponomarenko@gmail.com, ORCID ID 0000-0003-4296-3975

^{3*}Dep. «Construction, Geotechnics and Geomechanics», Dnipro University of Technology, Dmytra Yavornytskoho Av., 19, Dnipro, Ukraine, 49005, tel. +38 (050) 452 99 45, e-mail ivanova.h.p@nmu.one, ORCID 0000-0003-4219-7916

^{4*}Dep. «Construction, Geotechnics and Geomechanics», Dnipro University of Technology, Dmytra Yavornytskoho Av., 19, Dnipro, Ukraine, 49005, tel. +38 (095) 751 2526, e-mail Tereschuk.rm@gmail.com, ORCID 0000-0003-4509-2511

^{5*}Dep. «Geodesy», Dnipro University of Technology, Dmytra Yavornytskoho Av., 19, Dnipro, Ukraine, 49005, tel. +38 (096) 716 73 93 e-mail shashenko@gmail.com, ORCID 0000-0002-0762-8306

Definition of Construction Parameters of Discrete Restraining Constructions

Purpose. There are many problems in the design of anti-landslide constructions, therefore discrete constructions are an alternative to solid anti-landslides. Despite the advantages of such constructions, difficulties also arise when using them. In this work, it is envisaged to develop methods for determining the zone of influence of discrete restraining constructions on the interaction of a sliding soil mass with them and a method for assessing the conditions of a stable state of the soil, which interacts with discrete restraining constructions, by constructing analytical dependencies necessary to determine the zone size and the soil stability coefficient. **Methodology.** Theoretical studies of geomechanical processes using analytical and numerical mathematical methods, as well as analysis and generalization of theoretical research results were used to achieve the purpose. **Findings.** The research results presented in the work allow, during the design of landslide discrete constructions, to determine the area of interaction of the shear with discrete retaining constructions, as well as to take into account the

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

stability coefficient of the soil laid between the elements of the discrete retaining structure. Dependences were obtained for determining the zone size in which the sliding soil mass interacts, with discrete retaining constructions, and the soil stability coefficient in the zone of its interaction with these constructions. **Originality.** Analytical dependencies allow to calculate the boom of lifting the soil dumping arch between the elements of the discrete anti-landslide restraining construction and the coefficient of soil stability. **Practical value.** The research results allow, when designing discrete restraining constructions, to determine the area of interaction of the shear with these constructions and the stability coefficient of the soil laid between the elements of the discrete restraining construction.

Keywords: shear; anti-landslide restraining structure; solid restraining structure; discrete restraining structure; stability coefficient; interaction zone

REFERENCES

1. Bileush, A. I. (2009). *Opolzni i protivopolznevyye meropriyatiya*. Kyiv: Naukova dumka. (in Russian)
2. Ginzburg, L. K. (2007). *Protivopolznevyye sooruzheniya*. Dnepropetrovsk: Lira LTD. (in Russian)
3. Kovrov, O., & Tereschuk, R. (2020). Analysis of approaches for determination of mine rocks strength properties to forecast landslide hazard. *Modern Technology, Materials and Design in Construction*, 28(1), 63-72. DOI: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2020-1-63-72> (in Ukrainian)
4. Korn, G. (2014). *Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov. Opredeleniya, teoremy, formuly*. Moscow: Kniga po Trebovaniyu. (in Russian)
5. Sdvizhkova, O. A., Kovrov, O. S., & Mnishenko, T. V. (2018). Statistical assessment of clay rocks strength properties. *The Collection of Research Papers of the National Mining University*, 54, 240-252. (in Ukrainian)
6. Tiutkin, O. L., & Ihnatenko, D. Y. (2021). Determination of rational parameters of supporting structures made of soil-cement piles on landslide-prone slopes. *Science and Transport Progress*, 6(90), 97-105. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2020/225281> (in Ukrainian)
7. Shapoval, V. G., Shapoval, A. V., Morklyanik, B. V., & Andreev, V. S. (2010). *Mekhanika gruntov*. Dnepropetrovsk: Porogi. (in Russian)
8. Shashenko, A. N., Pustovoytenko, V. P., & Sdvizhkova, Ye. A. (2015). *Geomekhanika. Uchebnik*. Kyiv: GVUZ Natsionalnyy gornyy universitet. (in Russian)
9. Babets, D., Kovrov, O., Moldabayev, S., Tereschuk, R., & Sosna, D. (2020). Impact of water saturation effect on sedimentary rocks strength properties. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 76-81. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-4/076> (in English)
10. Solodyankin, O., Kovrov, O., & Ruban, N. (2015). Investigation of physical and mechanical properties of subsiding soils at the Yevpatoriyskaya ravine located in the City of Dnepropetrovsk. *Scientific Bulletin of the National Mining University*, 1, 15-20. (in English)
11. Shapoval, V., Solodyankin, A., Hryhoriev, O. & Dubovyk, O. (2021). Determining the parameters of a natural arch while forming support load of a horizontal roadways. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, 17-25. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-2/017> (in English)

Надійшла до редколегії: 10.02.2021

Прийнята до друку: 10.06.2021