

Алгоритм визначення параметрів дискретних протизсувних конструкцій

Володимир Шаповал¹, Іван Пономаренко², Олексій Григор'єв³,
Григорій Іванченко⁴, Володимир Коновал⁵

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
19, просп. Дмитра Яворницького, Дніпро, Україна, 49005

¹shapvv27@gmail.com, orcid.org/ 0000-0003-2993-1311

³hapieiev.s.m@nmu.one, orcid.org/

Черкаський державний технологічний університет
460, бульвар Шевченка, Черкаси, Україна 18000,

²ivan1990ponomarenko@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4296-3975

⁵konovalvolodymyr2019@mail.com, orcid.org/ 0000-0002-6740-6617

Київський національний університет будівництва і архітектури

31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037,

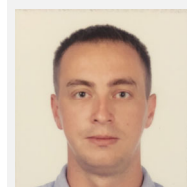
⁴ivgm61@gmail.com, orcid.org/

DOI: 10.32347/0475-1132.42.2021.39-45

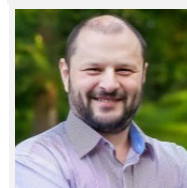
Анотація. В багатьох регіонах України та світу можуть виникати зсуви ґрунтових масивів, що може мати катастрофічні наслідки та створює загрозу виникнення надзвичайних ситуацій. Влаштування утримуючих конструкцій для запобігання зсувів пов'язано з великими матеріальними витратами. Тому розробка та улаштування контрфорсів із застосуванням буронабивних та буроін'єкційних паль значно здешевлює інженерний захист схилів та дозволяє заощадити значні матеріальні ресурси. До цього часу недостатньо вивчені особливості взаємодії дискретних утримуючих конструкцій з ґрунтом, розміри розстановки утримуючих споруд та інші параметри системи «сповзаючий ґрунтовий масив – дискретна утримуюча конструкція». Тому при написанні цієї статті автори мали мету розробити єдину методику, яка дозволила б розрахувати такі конструктивні параметри: коефіцієнт стійкості взаємодіючого з дискретними утримуючими конструкціями ґрунту в проміжках між сусідніми елементами цих конструкцій; відстані між сусідніми елементами дискретної утримуючої конструкції; діаметри (або розміри менших сторін) елементів дискретних протизсувних утримуючих конструкцій. При написанні цієї статті були отримані аналітичні залежності, які дозволяють визначити такі конструктивні параметри системи «протизсувна утримуюча конструкція –



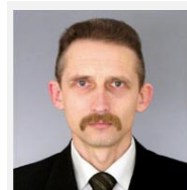
Володимир Шаповал
професор кафедри будівництва,
геотехніки, геомеханіки
д.т.н., проф.



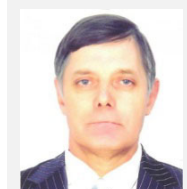
Іван Пономаренко
здобувач кафедри промислового
і цивільного будівництва



Олексій Григор'єв
доцент кафедри будівництва, геоте-
хніки, геомеханіки,
проректор з господарчої роботи
к.т.н., доц.



Григорій Іванченко
декан будівельного факультету,
професор кафедри
будівельної механіки
д.т.н., проф.



Володимир Коновал
доцент кафедри промислового
і цивільного будівництва
к.т.н., доц.

сповзаючий ґрунтовий масив»: стрілу підйому арки вивалу ґрунту між елементами дискретної утримуючої конструкції; коефіцієнт стійкості ґрунту в зоні взаємодії дискретної утримуючої конструкції зі сповзаючим ґрунтовим масивом; відстані між окремими елементами дискретної утримуючої конструкції; діаметри окремих елементів дискретної утримуючої конструкції (у разі перетину круглої форми) або розмір меншої сторони окремих елементів дискретної утримуючої конструкції (у разі прямокутного перетину). В цілому, був зроблений висновок про те, що викладена в даній роботі методика визначення конструктивних параметрів дискретних протизсувних утримуючих конструкцій цілком може бути використана при розрахунку конструктивних параметрів дискретних протизсувних утримуючих споруд.

Ключові слова. Зсув, протизсувна утримуюча конструкція, дискретна утримуюча конструкція, коефіцієнт стійкості, діаметр елементів утримуючої конструкції, відстань між елементами дискретної утримуючої конструкції.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Проектування та конструювання дискретних протизсувних утримуючих конструкцій передбачає пошук відповідей на такі питання:

1. Чи можливо в даних конкретних умовах використання дискретних протизсувних конструкцій?

2. Якщо так, то наскільки стійкий ґрунт в проміжках між утримуючими елементами?

3. На якій відстані від утримуючих елементів відбувається взаємодія між ними і сповзаючим ґрунтовим масивом (тобто зсувом)?

4. Який крок розстановки елементів утримуючої конструкції є безпечним?

5. Який розмір перетину елементів утримуючої конструкції (тобто діаметр перетину круглої форми або менша сторона перетину прямокутної форми) є безпечним?

Оскільки в діючих на території України і деяких інших країн нормативних документах [5, 6, 7, 8] на поставлені питання немає однозначних відповідей, сформульована вище проблема потребує вирішення.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

При проектуванні протизсувних утримуючих споруд в даний час постають такі проблеми [1, 2, 3]:

1. Застосування суцільних утримуючих споруд (підпірних стін) – занадто витратний і трудомісткий процес.

2. Крім того, при влаштуванні таких споруд виникають проблеми з підрізуванням укосу (схилу) і, як наслідок, втратою ним стійкості, а також з відведенням підземних вод.

3. Альтернативою суцільним протизсувним конструкціям є дискретні утримуючі конструкції [2, 3, 4], однак, при їх використанні мають місце такі проблеми:

3.1. Є ризик втрати міцності і стійкості ґрунту, який знаходиться між елементами дискретної утримуючої конструкції і, як наслідок – руйнування ґрунту, що знаходиться в зоні впливу утримуючої конструкції – і далі – схід зсуву.

3.2. Дискретні (особливо багаторядні) утримуючі конструкції створюють для підземних вод баражний ефект. Наслідок – підйом рівня підземних вод і, як наслідок – погіршення стану ґрунту, який знаходиться в зоні впливу утримуючої конструкції – і далі – його руйнування.

3.3. В даний час не існує єдиної методики розрахунку конструктивних параметрів протизсувних дискретних утримуючих споруд, які дозволяли б однозначно визначити такі конструктивні параметри:

3.3.1. Зону впливу дискретних утримуючих споруд на взаємодіючий з ними сповзаючий ґрунтовий масив.

Дану зону важливо знати при використанні для стабілізації зсувонебезпечних ділянок комбінації різних методів, наприклад, дискретних утримуючих конструкцій і закріплення ґрунту (наприклад, методами силікатизації, цементації і їм подібних).

3.3.2. Коефіцієнт стійкості взаємодіючого з дискретними утримуючими конструкціями ґрунту в проміжках між сусідніми елементами цих конструкцій.

3.3.3. Відстані між сусідніми елементами дискретної утримуючої конструкції.

3.3.4. Діаметри (або розміри менших сторін) елементів дискретних протизсувних утримуючих конструкцій).

МЕТА РОБОТИ

Викласти єдину методику, яка б дозволила розрахувати перераховані вище конструктивні параметри дискретних протизсувних утримуючих конструкцій.

Метод дослідження – теоретичні дослідження геомеханічних процесів з використанням аналітичних і чисельних математичних методів. Аналіз і узагальнення результатів теоретичних досліджень.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

В ході роботи запропоновано нову методику, яка дозволяє розраховувати конструктивні параметри дискретних утримуючих протизсувних конструкцій з одночасною оцінкою стійкості ґрунту, котрий знаходиться між його елементами.

У практичній значимості можна виділити те, що матеріали досліджень, викладені в даній роботі, дають змогу при проектуванні протизсувних дискретних споруд обґрунтовано розрахувати наступні параметри:

1. Відстань, на якій дискретна утримуюча конструкція взаємодіє зі зсувом.

2. Оцінити стійкість ґрунту в проміжках між залізобетонними елементами конструкції.

3. Відстані між окремими елементами дискретної утримуючої конструкції.

4. Діаметри окремих елементів дискретної утримуючої конструкції (у разі перетину круглої форми) або розмір меншої сторони окремих елементів дискретної утримуючої конструкції (у разі прямокутного перетину).

В ході досліджень були отримані аналітичні залежності, які дозволяють визначити такі конструктивні параметри системи «протизсувна утримуюча конструкція – сповзаючий ґрунтовий масив»:

1. Стрілу підйому арки вивалу ґрунту між елементами дискретної утримуючої конструкції. Цей параметр необхідний для

визначення відстані, на якій дискретна утримуюча конструкція взаємодіє зі зсувом.

2. Коефіцієнт стійкості ґрунту в зоні взаємодії дискретної утримуючої конструкції зі сповзаючим ґрунтовим масивом. Це дозволяє оцінити стійкість ґрунту в проміжках між залізобетонними елементами конструкції.

3. Відстані між окремими елементами дискретної утримуючої конструкції.

4. Діаметри окремих елементів дискретної утримуючої конструкції (у разі перетину круглої форми) або розмір меншої сторони окремих елементів дискретної утримуючої конструкції (у разі прямокутного перетину).

Рекомендована нами методика розрахунку конструктивних параметрів дискретних протизсувних конструкцій полягає в наступному:

1. Розрахунок елементів дискретної протизсувної конструкції слід виконувати по ґрунту і матеріалу [9, 10].

2. Розрахунок по матеріалу слід виконувати відповідно вимогам до розрахунку бетонних, залізобетонних, ґрунтоцементних та інших конструкцій, з урахуванням властивостей матеріалу, з якого вони виконані [11].

3. Розрахунок по ґрунту слід виконувати за першою групою граничних станів, а при необхідності – і за другою групою граничних станів [9, 10].

4. В якості вихідних даних слід враховувати будову ґрунтової товщі на всьому протязі зсуву, зокрема її текстурні і структурні особливості.

5. В якості розрахункових показників слід приймати:

5.1. При розрахунку по першій групі граничних станів питоме зчеплення.

5.2. При розрахунку по другій групі граничних станів питоме зчеплення, модуль загальної деформації і коефіцієнт Пуассона.

5.3. У разі шаруватої текстури ґрунтової товщі розрахункові характеристики ґрунту слід визначати за формулами:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_I &= \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_{I,i} \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}; \quad \varphi_{II} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_{II,i} \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}; \\ c_I &= \frac{\sum_{i=1}^n c_{I,i} \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}; \quad c_{II} = \frac{\sum_{i=1}^n c_{II,i} \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}; \\ E &= \frac{\sum_{i=1}^n E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}; \quad \nu = \frac{\sum_{i=1}^n \nu_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}. \end{aligned} \right\} (1)$$

тут h_i – товщина i -того ґрунтового шару.

6. При розрахунку параметрів дискретних протизсувних утримуючих конструкцій слід використовувати представлену на Рис. 1 розрахункову схему.

7. Глибину закладення елементів дискретної утримуючої конструкції слід визначати відповідно до вимог діючих на території України нормативних документів.

8. Величину зсувного тиску слід визначати відповідно до вимог чинних на території України нормативних документів при використанні ламаної поверхні ковзання.

9. Гранично допустиме значення зсувного тиску слід розраховувати за формулою:

$$E_{op} \leq \frac{2 \cdot c_I \cdot H}{K_{u,I}^2} \cdot \left\{ \operatorname{tg}^2(\varphi_I) + \sqrt{\operatorname{tg}^2(\varphi_I) + K_{u,I}^2} \right\} \quad (2)$$

де H – потужність ґрунтової товщі в місці розташування утримуючої конструкції, а $K_{u,I}$ – коефіцієнт стійкості ґрунту в області його взаємодії з утримуючою конструкцією (цей параметр вказують у технічному завданні на проектування).

10. Область зсуву f , в якій відбувається взаємодія зсуву з утримуючою конструкцією, слід розраховувати за формулою:

$$f = \frac{\sqrt{E_{op} \cdot \operatorname{tg}(\varphi_I) + H \cdot c_I}}{2 \cdot \sqrt{c_I \cdot H}} \cdot b, \quad (3)$$

тут b – відстань між утримуючими елементами.

11. Відстань між сусідніми утримуючими елементами b слід визначати за формулою:

$$b = \frac{4 \cdot c_I \cdot D \cdot H}{E_{op}} \cdot \frac{\cos(\varphi_I)}{1 - \sin(\varphi_I)}, \quad (4)$$

де D – діаметр круглого або менша сторона прямокутного поперечного перерізу елемента дискретної протизсувної утримуючої конструкції.

12. Діаметр круглого або менша сторона прямокутного поперечного перерізу елемента дискретної протизсувної утримуючої конструкції слід визначати за формулою:

$$D = \frac{E_{op} \cdot b}{4 \cdot c_I \cdot H} \cdot \frac{1 - \sin(\varphi_I)}{\cos(\varphi_I)}, \quad (5)$$

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Розроблена в даній роботі методика визначення конструктивних параметрів дискретних протизсувних утримуючих конструкцій може бути використана при розрахунку конструктивних параметрів дискретних утримуючих споруд.

Її відмінностями від аналогічних методик є можливість обґрунтованої відповіді на питання, чи можливо в даних конкретних умовах використовувати дискретні утримуючі конструкції а також визначати області зсуву, в якій відбувається його взаємодія з утримуючою конструкцією.

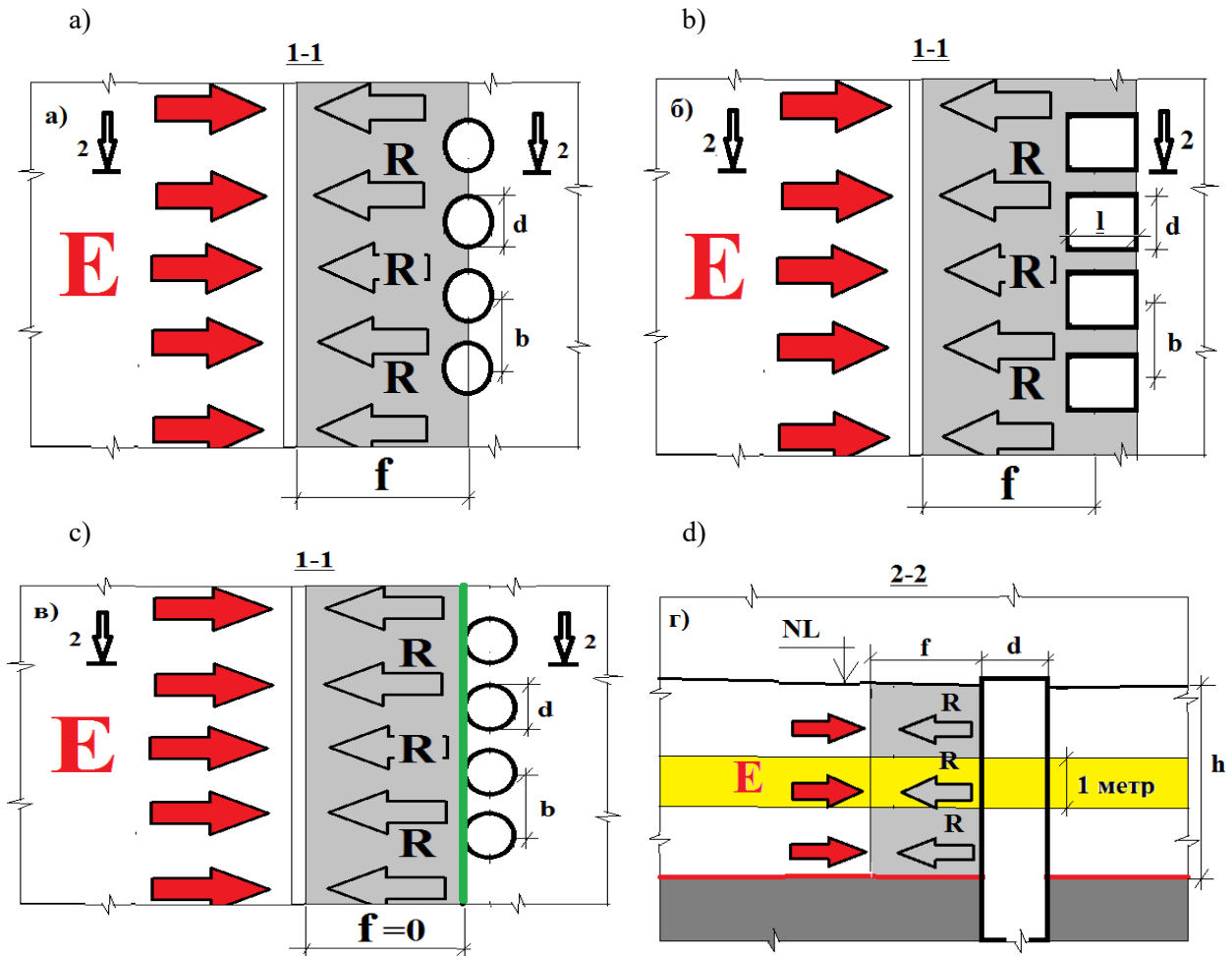


Рис.1. Розподіл зусиль у зоні взаємодії зсуву з дискретними утримуючими спорудами: а) варіант з паль; б) теж саме з контрфорсів; с) комбінований, з паль та діафрагми; д) поперечний переріз.

Примітки:

1. Сірим кольором позначено зону впливу; червоним – зсувний тиск; зеленим – діафрагму; жовтим – розрахунковий шар ґрунту.
2. Літерою «E» позначено зсувний тиск, а літерою «R» – реакцію з боку утримуючої споруди.

Fig.1. Assignment of efforts in the zone of interaction of the landslide with discrete retaining structures: а) a variant of piles; б) also from buttresses; с) combined, from piles and aperture; д) cross section.

Footnote:

1. The influence area is marked in gray; red - shear pressure; green - diaphragm; yellow - the calculated layer of soil.
2. The letter "E" indicates the shear pressure, and the letter "R" - the reaction of the retaining structure.

ЛІТЕРАТУРА

1. Билеуш А.И. Оползни и противооползневые мероприятия / А.И. Билеуш. – К.: Наукова думка, 2009. – 560 с.
2. Гинзбург Л.К. Противооползневые сооружения / Л.К. Гинзбург. – Днепропетровск: Лира ЛТД, 2007. – 188 с.
3. Лapidус Л.С. Укрепление откосов слабых насыпей сваями / Л.С. Лapidус, К.Ш. Шаду-нц // *Вопросы геотехники. Труды ДИИГа. Сб. 5.* – Днепропетровск: 1962. – С. 48-55.
4. ДБН В.1.1-24:2009. Захист від небезпечних геологічних процесів. Основні положення проектування. К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. – 108 с.
5. ДБН В.1.1-46:2017. Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення. К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. – 47 с.
6. ДСТУ-Н Б В.1.1-37:2016. Настанова щодо інженерного захисту територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. – 43 с.
7. СНиП 2.01.15-90. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования. М.: Стойиздат, 1991. – 39 с.
8. ДБН В.2.1–10–2009. Основи та фундаменти споруд. К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 55с.
9. ДБН В.2.1–10–2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. К.: Мінрегіонбуд України, 2019. – 39с.
10. ДБН В.2.6-98:2009 Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 90с.
11. landslide retaining structures]. М.: Stroyizdat, 80. (in Russian).
4. Lapidus L.S., Shadunts K.Sh. (1965). Ukreplenye otkosov slabykh nasypei svaiamy [Strengthening the slopes of weak embankments with piles]. *Voprosy heotekhniky. Trudy DYYHa. Sb. 5.* Dnepropetrovsk, 48-55. (in Russian).
5. DBN V.1.1-24:2009. (2010). Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv. Osnovni polozhennia proektuvannia [Protection against dangerous geological processes. Basic design provisions]. К.: Ministerstvo rehionalnoho rozvytku ta budivnytstva Ukrainy, 108. (in Ukrainian).
6. DBN V.1.1-46:2017. (2017). Inzhenernyi zakhyst terytorii, budivel i sporud vid zsuviv ta obvaliv. Osnovni polozhennia [Engineering protection of territories, buildings and structures from landslides and landslides. Substantive provisions]. К.: Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy, 47. (in Ukrainian).
7. DSTU-N B V.1.1-37:2016. (2017). Nastanova shchodo inzhenernoho zakhystu terytorii, budivel i sporud vid zsuviv ta obvaliv [Guidelines for engineering protection of territories, buildings and structures from landslides and landslides]. К.: Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy, 43. (in Ukrainian).
8. SNyP 2.01.15-90. (1991). Ynzhenernaia zashchyta terrytorii, zdanyi y sooruzheniy ot opasnykh heolohycheskykh protsessov. Osnovnye polozheniya proektyrovaniya [Engineering protection of territories, buildings and structures from hazardous geological processes. Basic principles of design]. М.: Stoiyzdat, 39. (in Russian).
9. DBN V.2.1–10–2009. (2011). Osnovy ta fundamenti sporud [Bases and foundations of buildings]. Kyiv: Minregionbud Ukrayiny, 55 (in Ukrainian).
10. DBN V.2.1–10–2018. (2019). Osnovy i fundamenti budivel ta sporud [Bases and foundations of buildings and structures]. Kyiv: Minregionbud Ukrayiny, 39 (in Ukrainian).
11. DBN V.2.6-98:2009. (2009). Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia. [Concrete and reinforced concrete structures. Substantive provisions]. Kyiv: Minregionbud Ukrayiny, 90 (in Ukrainian).

REFERENCES

1. Bileush A.I. (2009). Opolzny y protyvoopolznevyye meropyriatyia [Landslides and landslide measures] / A.I. Bileush. - К.: Naukova dumka. 560. (in Ukrainian).
2. Ginzburg L.K. (2007). Protvyoopolznevyie sooruzheniya [Anti-landslide constructions]. Dnepropetrovsk: Lira LTD, 188. (in Ukrainian).
3. Ginzburg L.N. (1979). Protvyoopolznevyie uderzhyvaiushchye konstruktsyy [Anti-

The strategy of quantified landslide protection structures dimensioning

*Volodymyr Shapoval,
Ivan Ponomarenko,
Alexey Grigoryev,
Hryhorii Ivanshenko,
Volodymyr Konoval*

Summary. Landslides in many regions of Ukraine and the world are destructive and sometimes catastrophic, threatening emergencies. The installation of retaining structures to prevent landslides is associated with high material costs. Therefore, the development and installation of buttresses with the use of bored and bored piles significantly reduces the cost of construction and saves significant material resources. To date, the features of the interaction of discrete retaining structures with the soil, the size of the arrangement of retaining structures, and other parameters of the system «sliding soil mass - discrete retaining structure» are insufficiently studied. Therefore, when writing this article, we aimed to present a single method that would calculate the following design parameters: the coefficient of stability of the soil interacting with discrete retaining structures in the intervals between adjacent elements of these structures; the distance between adjacent elements of the discrete retaining structure; diameters (or dimensions of smaller sides) of elements of discrete antiskid retaining structures. In the course of writing this article, we obtained analytical dependencies that allow us to determine the following design parameters of the system «anti-landslide retaining structure - sliding soil mass»: boom lifting arch of the soil dump between the elements of the discrete retaining structure; the coefficient of soil stability in the zone of interaction of the discrete retaining structure with the sliding soil mass; the distance between the individual elements of the discrete retaining structure; the diameters of the individual elements of the discrete retaining structure (in the case of a round section) or the size of the smaller side of the individual elements of the discrete retaining structure (in the case of a rectangular section). In General, it was concluded that the method described in this paper to determine the design parameters of discrete anti-landslide retaining structures can be used in calculating the design parameters of discrete retaining structures.

Key words. Shear, anti-landslide retaining structure, discrete retaining structure, coefficient of stability, a diameter of retaining structure elements, distance between elements of discrete retaining structure.