2. Осипов В.П., Сивакова Т.В., Судаков В.А., Нечаев Ю.И. Интеллектуальное ядро системы поддержки принятия решений / В.П.Осипов [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша – 2018 – № 205 – 23 с.
3. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход : пер. с англ. / С. Рассел, П. Норвиг; пер. К.А. Птицын – 2-е изд. – М.: Вильямс – 2018 – 1407 с.
4. Vajgl M., Lukášová A., Žáček M. Knowledge bases built on web languages from the point of view of predicate logics / M. Vajgl, A. Lukášová, M. Žáček – AIP Conference Proceedings 1836, Vol. 020058 – 2017 – 11 p.
5. Devillers R., Hujsa T. Analysis and Synthesis of Weighted Marked Graph Petri Nets. In: Khomenko V., Roux O. (eds) Application and Theory of Petri Nets and Concurrency. PETRI NETS 2018. Lecture Notes in Computer Science, vol 10877. Springer, Cham. – 2018 – P. 19-39.
6. Ochoa M.P., Davila J. Modeling of an automated integral logistics system using colored petri nets // M.P. Ochoa, J. Davila – Ingeniería y competitividad, Vol. 21, No. 1 – 2019 – 15 p.
7. Buchs D., Krikovits S., Linard A. Petri Nets: A Formal Language to Specify and Verify Concurrent Non-Deterministic Event Systems. In: Carreira P., Amaral V., Vangheluwe H. (eds) Foundations of Multi-Paradigm Modelling for Cyber-Physical Systems. Springer, Cham. – 2020 – pp 177-208.
8. Detlovs V., Podnieks K. Introduction to Mathematical Logic / Vilnis Detlovs, Karlis Podnieks – Riga: University of Latvia – 2017 – 238 p.
9. Leary C.C., Kristiansen L. A Friendly Introduction to Mathematical Logic. 2nd Edition. Milne Library, SUNY Geneseo, Geneseo, NY – 2015 – 365 p.
10. Дарчук Н.П. Можливості семантичної розмітки корпусу української мови (кум) // Н.П. Дарчук – Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова. Вип. 15, Серія 9. Сучасні тенденції розвитку мов – 2017 – С. 18–28.
11. Голенков В.В. и др. Семантическая модель представления и обработки баз знаний / В.В. Голенков, Н.А. Гулякина, И.Т. Давыденко, Д.В. Шункевич – Труды XIX Международной конференции «Аналитика и управление данными в областях с интенсивным использованием данных» (DAMDID/ RCDL'2017), Москва, Россия, 10–13 октября – 2017 – С. 334–341.
12. Дородных Н.О., Юрин А.Ю., Коршунов С.А. Средства поддержки моделирования логических правил в нотации RVML / Н.О. Дородных, А.Ю. Юрин, С.А. – Программные продукты и системы / Software & Systems – No. 4(31) – 2018 – С. 667–672
13. Моргун В.С., Котов І.А. Моделі інкорпорації професійних онтологій для інтелектуалізації управління режимами енергосистем: монографія / В.С. Моргун, І.А. Котов – Кривий Ріг: Редакційно-видавничий відділ ДВНЗ «КНУ», 2020 – 210 с.
14. Kang J.A., Cheng A.M.K. Shortening matching time in OPS5 production systems / J.A. Kang // IEEE Transactions on Software Engineering – 2004 – Vol. 30, Issue 7 – P. 448–457
15. Milani M.M.R., Hosseinpour S., Pehlivan H. Rule-Based Production of Mathematical Expressions / M.M.R. Milani, S. Hosseinpour, H. Pehlivan – Mathematics – 2018 – No.6(254) – 19 p.
16. Morkun V.S., Kotov I.A. Knowledge base formation for automation of dispatch control over power systems of the mining and metallurgical complex // V.S. Morkun, I.A. Kotov – Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu – №4 – 2021 – P. 103–109

Рукопис подано до редакції 09.04.2021

УДК 624.15.001

В.Г. ШАПОВАЛ, д-р техн. наук, проф., Д.О. ШАШЕНКО, канд. техн. наук, доц.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,

І.О. ПОНОМАРЕНКО, здобувач,

Черкаський державний технологічний університет

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИСКРЕТНИХ УТРИМУЮЧИХ СПОРУД

Мета. Визначити єдину методику, яка дозволить розрахувати конструктивні параметри дискретних утримуючих споруд.

Методи дослідження. У роботі виконано теоретичні дослідження геомеханічних процесів з використанням аналітичних і чисельних математичних методів. Аналіз і узагальнення результатів теоретичних досліджень.

Наукова новизна. Запропоновано нову методику, що дозволяє розраховувати конструктивні параметри дискретних протизсувних утримуючих конструкцій при одночасній оцінці стійкості ґрунту, який знаходиться між його елементами.

Практична значимість. Викладені в даній роботі матеріали досліджень дозволяють при проектуванні протизсувних дискретних споруд обґрунтовано розрахувати такі параметри:

- відстань, на якій дискретна утримуюча конструкція взаємодіє із зсувом;
- оцінити стійкість ґрунту в проміжках між залізобетонними елементами конструкції;
- 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).

Результати. В ході написання цієї статті нами були отримані аналітичні залежності, що дозволяють визначити такі конструктивні параметри системи «протизсувна утримуюча конструкція – сповзаючий ґрунтовий масив»:

стрілу підйому арки вивалу ґрунту між елементами дискретної утримуючої конструкції. Цей параметр необхідний для визначення відстані, на якій дискретна утримуюча конструкція взаємодіє із зсувом;

коефіцієнт стійкості ґрунту в зоні взаємодії дискретної утримуючої конструкції із сповзаючим ґрунтовим масивом; це дозволяє оцінити стійкість ґрунту в проміжках між залізобетонними елементами конструкції;

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). Також, отримані аналітичні залежності дають відповіді на питання, чи можливо в даних конкретних умовах використовувати дискретні утримуючі конструкції та визначити область зсуву, в якій відбувається його взаємодія з утримуючою конструкцією.

Ключові слова: зсув, утримуюча конструкція, коефіцієнт стійкості, діаметр елементів, відстань між елементами дискретної утримуючої конструкції.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-141-145

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. В даний час при проектуванні протизсувних утримуючих споруд мають місце такі проблеми [1-3]:

застосування суцільних утримуючих споруд (підпірних стін) – занадто витратний і трудомісткий процес;

при влаштуванні таких споруд виникають проблеми з підрізанням укосу (схилу) і, як наслідок, втратою ним стійкості;

відведення підземних вод.

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

існує 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;

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

В даний час не існує єдиних методик розрахунку конструктивних параметрів протизсувних дискретних утримуючих споруд, які дозволяли б однозначно визначити такі конструктивні параметри:

зону впливу дискретних утримуючих споруд на взаємодіючий з ними сповзаючий ґрунтовий масив, цю зону важливо знати при використанні для стабілізації зсувонебезпечних ділянок комбінації різних методів, наприклад, дискретних утримуючих конструкцій і закріплення ґрунту (методами силікатизації, цементації і їм подібних);

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.

Тому при написанні цієї статті нами переслідувалася мета викласти єдину методику, яка дозволила б розрахувати перераховані вище конструктивні параметри.

Аналіз досліджень і публікацій. В даний час при проектуванні і розрахунку дискретних протизсувних конструкцій необхідно відповісти на такі питання.

Чи можливо в даних конкретних умовах використання дискретних протизсувних конструкцій?

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

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

Який крок розстановки елементів утримуючої конструкції є безпечним?

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 [5-8] на поставлені питання немає однозначних відповідей, сформульована вище проблема потребує вирішення.

Постановка задачі. Метою досліджень результати яких наведені у статті є визначити єдину методику, яка дозволить розрахувати конструктивні параметри дискретних утримуючих споруд.

Викладення матеріалу та результати. Рекомендована нами методика розрахунку конструктивних параметрів дискретних протизсувних конструкцій полягає в наступному:

розрахунок елементів дискретної протизсувної конструкції слід виконувати по ґрунту і матеріалу [9, 10];

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

розрахунок по ґрунту слід виконувати за першою групою граничних станів, а при необхідності і за другою групою граничних станів [9, 10];

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

В якості розрахункових показників слід приймати:

при розрахунку по першій групі граничних станів φ_I і питоме зчеплення c_I ;

при розрахунку по другій групі граничних станів φ_{II} і питоме зчеплення c_{II} , модуль загальної деформації E і коефіцієнт Пуассона ν .

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

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

де h_i – товщина i - того ґрунтового шару.

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

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

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

Гранично допустиме значення зсувного тиску слід розраховувати за формулою

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

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).

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

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

де b – відстань між утримуючими елементами.

Рис. 1. Розподіл зусиль у зоні взаємодії зсуву з дискретними утримуючими спорудами: а – пальова дискретна утримуюча споруда; б – контрфорсна дискретна утримуюча споруда; в – комбінована дискретна утримуюча споруда з паль та діафрагми; г – поперечний переріз

Відстань між сусідніми утримуючими елементами b слід визначати за формулою

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

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

Діаметр круглого або менша сторона прямокутного поперечного перерізу елементу дискретної протизсувної утримуючої конструкції слід визначати за формулою

$$D = \frac{E_{op} \cdot b}{4 \cdot c_l \cdot H} \cdot \frac{1 - \sin(\varphi_l)}{\cos(\varphi_l)}. \quad (5)$$

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 утримуючих споруд.

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

Висновки та напрямки подальших досліджень. В ході написання цієї статті нами були отримані аналітичні залежності, що дозволяють визначити такі конструктивні параметри системи «протизсувна утримуюча конструкція – сповзаючий ґрунтовий масив»:

стрілу підйому арки вивалу ґрунту між елементами дискретної утримуючої конструкції. Цей параметр необхідний для визначення відстані, на якій дискретна утримуюча конструкція взаємодіє зі зсувом;

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

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).

Список літератури

1. Билеуш А.И. Оползни и противооползневые мероприятия / А.И. Билеуш. – К. : Наукова думка, 2009. – 560 с.
2. Гинзбург Л.К. Противооползневые сооружения. Днепропетровск: Лира ЛТД, 2007. 188 с.
3. Гинзбург Л.К. Противооползневые удерживающие Конструкции. - М. Стройиздат, 1979. – 80 с.
4. Лapidус Л.С. Укрепление откосов слабых насыпей сваями / Л.С. Лapidус, К.Ш. Шадунц // Вопросы геотехники. Труды ДИИГа. Сб. 5. – Днепропетровск: 1962. – С. 48-55.
5. ДБН В.1.1-24:2009 «Захист від небезпечних геологічних про-цесів. Основні положення проектування». К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. – 108 с.
6. 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.
7. ДСТУ-Н Б В.1.1-37:2016 «Настанова щодо інженерного захис-ту територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів», К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. – 43 с.
8. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования СНИП 2.01.15-90 М., 1991 – 39 с.
9. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування.
10. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення.
11. ДБН В.2.6-98:2009 Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення.
12. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П., Сдвижкова Е.А. Геомеханика. Учебник. — Киев: ГВУЗ Национальный горный университет, 2015. — 563 с.
13. Сіренко А.П. Критична відстань між утримуючими елементами для зсувних та зсувонебезпечних схилів Чернівецької області / А.П. Сіренко // Екологічна безпека. – 2013. – № 13. – С. 73–76.
14. Sirenko A. P. To the analysis of methods of calculation of stability of use and their classification / A. P. Sirenko, // Екологічна безпека та природокористування = Environmental safety and natural resources : зб. наук. праць / Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури ; Ін-т телекомунікацій і глоб. інформ. простору ; гол. ред. : О. С. Волошкіна, О. М. Трофимчук. – Київ : [б.в.], 2019. – Вип. 1(29). – Р. 79 - 86.
15. Угненко Є. Б., Тимченко О. М., Ужвієва О. М., Орел Є. Ф., Сорочук Н. І. Геодезичні дослідження при визначенні зсувних процесів на ділянках шляхів сполучення у гірській місцевості: навч. посібник / Угненко Є. Б., Тимченко О. М., Ужвієва О. М., Орел Є. Ф., Сорочук Н. І. – Київ: Видавничий дім «Кондор», 2019. – 184 с.

Рукопис подано до редакції 09.04.2021