

**СТІЙКІСТЬ ГРУНТОВИХ СПОРУД
З УРАХУВАННЯМ ПРОСТОРОВОГО ЕФЕКТУ**

¹Осадчий В.С., к.т.н., доцент,
ovs1455@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8153-8635

¹Дмитрієв С.В., к.т.н., доцент,
tele@ukr.net, ORCID: 0000-0001-6523-5464

¹Великий Д.І., к.т.н.,
denislusuj@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1452-6742

¹Бааджи В.Г., асистент,
baadzhi@ogasa.org.ua, ORCID: 0000-0002-6974-9082

¹Одеська державна академія будівництва та архітектури
вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, 65029, Україна

Анотація. Проблеми стійкості ґрунтових споруд і розвиток зсувних процесів, в тому числі Чорноморського узбережжя, проявляють істотну небезпеку для населення та існуючих будівель і споруд. Освоєння зсувних і зсувонебезпечних схилів вимагає пильного і детального вивчення, результати якого повинні стати основою реалізації заходів щодо інженерного захисту територій, враховуватися при проектуванні і будівництві нових об'єктів. При розрахунках стійкості схилів та укосів ґрунтових споруд відзначається відмінність в розрахункових значеннях коефіцієнтів запасу стійкості в двовимірній і тривимірній постановках задач. Аналіз проведених досліджень вказує на необхідність врахування впливу топографічних умов укосів та схилів при їх розрахунку за двовимірними схемами в межах призначених створів.

Визначення коефіцієнта запасу стійкості може здійснюватися як аналітичними, так і графоаналітичними методами. У більшості випадків розрахунок стійкості схилів і укосів і визначення коефіцієнта запасу стійкості проводиться для двовимірних перетинів, побудованих по лініях, що збігаються з найбільш імовірним напрямком зсуву зсувного тіла.

Найбільш поширені методи, які застосовуються в розрахунках стійкості укосів у двовимірній постановці завдання, є самими використовуваними через їхню простоту, проте ці методи засновані на прийнятті деяких припущень, описаних вище. На основі аналізу ряду робіт по двовимірному і тривимірному моделюванню ґрунтових укосів показано, що оцінка стійкості укосів та зсувних схилів є складним, відповідальним і маловивченим завданням.

Виконання розрахунків ґрунтових укосів в тривимірній постановці завдання дає результати, наближені до реальності, на відміну від результатів, отриманих загальноприйнятими і поширеними інженерними методами за двовимірними схемами. Це пояснюється тим, що тривимірна постановка завдання враховує комбінації інженерно-геологічних умов всього укосу або схилу. Тривимірне моделювання ґрунтових укосів також дозволяє враховувати фактори, що оказують істотний вплив на стійкість, які не можна врахувати при двовимірному моделюванні (особливості топографії, наявність підрізування укосів або схилів, ярів, точкових будівельних конструкцій тощо).

Ключові слова: ґрунтова споруда, коефіцієнт запасу стійкості, штучний насип, зсувний схил, ґрунтовий укіс, стійкість, форми рельєфу, метод розрахунку, тривимірна схема, двовимірна схема.

Вступ. Завдання забезпечення стійкості ґрунтових споруд виникає при проектуванні споруд гідротехнічного, промислового, цивільного, транспортного та інших призначень. Внаслідок освоєння територій, які раніше вважалися небезпечними і не призначеними для

будівництва, все частіше доводиться зводити будівлі і споруди на ґрунтових укосах і нестійких схилах. При цьому потрібно вирішувати питання не тільки забезпечення їхньої стійкості, а й захисту навколишнього середовища.

У зв'язку з цим питання досягнення економічно обґрунтованого використання території під проектування і будівництво на нестійких схилах в даний час набуває актуального характеру. Для проектних і будівельно-монтажних організацій, які зводять спеціальні будівлі та споруди на зсувонебезпечних територіях, питання достовірної оцінки ступеня стійкості схилу є особливо важливим. Однак чітких рекомендацій про те, якими методами слід оцінювати величину ступеня стійкості укосу, на якому планується вестися будівництво, а також які способи застосовувати для визначення тиску на протизсувну споруду, в даний час в нормативній літературі не відзначається. Розкидані по великій кількості літературних джерел методи розрахунку нерідко вельми суперечливі і важко їх застосувати для практичних обчислень.

Аналіз останніх досліджень. Проблеми стійкості ґрунтових укосів і розвиток зсувних процесів, в тому числі Чорноморського узбережжя, являє істотну небезпеку для населення та існуючих будівель і споруд. Освоєння зсувних і зсувонебезпечних схилів вимагає пильного і детального вивчення, результати якого повинні стати основою реалізації заходів щодо інженерного захисту територій, враховуватися при проектуванні і будівництві нових об'єктів. При розрахунках стійкості ґрунтових укосів відзначається відмінність в розрахункових значеннях коефіцієнтів стійкості в двовимірній і тривимірній постановках. Аналіз проведених досліджень вказує на необхідність врахування впливу топографічних умов всього укосу при його розрахунку за двовимірними схемами в межах призначених створів.

На сьогоднішній день в нормативній літературі з'являються вимоги для розрахунку стійкості укосів, в певних умовах, в тривимірній постановці. Так, згідно вимогам ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво в сейсмічних районах України» [1], перевірка стійкості може бути виконана за допомогою спрощених методів (метод граничної рівноваги), коли топографія поверхні і стратиграфія ґрунтів не дають дуже різких порушень. Вказується, що аналіз методів розрахунку стійкості укосу в тривимірній постановці більш застосовний для укосів зі складною геоморфологією, різним просторовим розподілом міцності і деформаційних характеристик ґрунтів і різнорідними гідрогеологічними умовами.

Згідно ДБН В.2.4-20:2014 «Греблі з ґрунтових матеріалів. Основні положення» (Проект, остаточна редакція) [2], при розрахунках гребель у вузькому каньйоні, на ділянках з низькими характеристиками міцності рекомендується оцінювати стійкість укосів з урахуванням їхньої просторової роботи.

У вимогах ДБН В.1.1-46:2017 «Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів і обвалів. Основні положення» [3] зазначено, що розрахунки обвальних процесів слід виконувати на математичних моделях, що враховують просторовість цих процесів. Розрахунки стійкості в тривимірній постановці слід здійснювати, як правило, в складних інженерно-геологічних умовах при високому ступені їхньої вивченості, достовірному визначенні положення поверхні ковзання. Методи оцінки стійкості укосів і схилів, засновані на теорії граничної рівноваги, розглядають тільки напружений стан ґрунтового масиву в граничній рівновазі, деформації ґрунтів укосу при цьому не враховуються [3].

Вплив форми укосу в плані і профілі на розвиток зсувних явищ чітко простежується в покривних відкладеннях. Найчастіше зсуви виникають на опуклих і опукло-увігнутих, а також на прямолінійних в профілі укосах, в плані – на увігнутих, улоговиноподібних і рівних ділянках. Голова зсувів зазвичай розташовується в місцях перегину профілю, де пологі ділянки укосу змінюються крутими [4].

За результатами досліджень [5] відзначено, що при постійності фізико-механічних характеристик ґрунтів вплив на значення коефіцієнта запасу стійкості надає форма і геометрія самого укосу. У роботі не враховувалися зміна рівня ґрунтових вод, можливе підрізування укосів, наявність тектонічних розломів, ярів тощо (рис. 1).

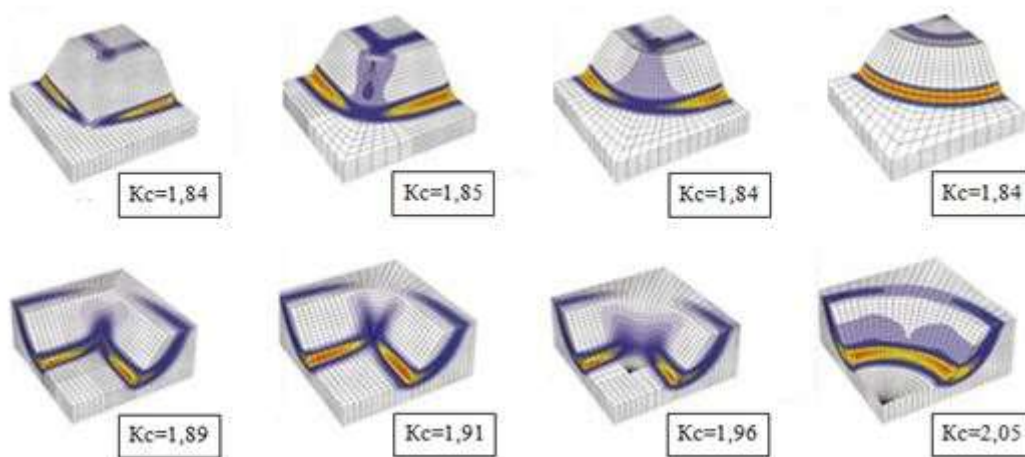


Рис. 1. Значення коефіцієнтів запасу стійкості залежно від геометричної форми розрахункових ґрунтових укосів

В ході проведення подальших досліджень, пов'язаних з урахуванням просторової роботи ґрунтових укосів на їх ступінь стійкості, було відзначено, що на результат впливає не тільки складна форма укосу в плані, але і його протяжність.

Відповідно до проведених математичних експериментів [6], в роботі розглядався однорідний ґрунтовий укіс постійної висоти «Н». Залежно від зміни довжини розрахункової схеми «В» були визначені значення коефіцієнтів запасу стійкості (рис. 2). Розрахунки виконувалися методом редукції.

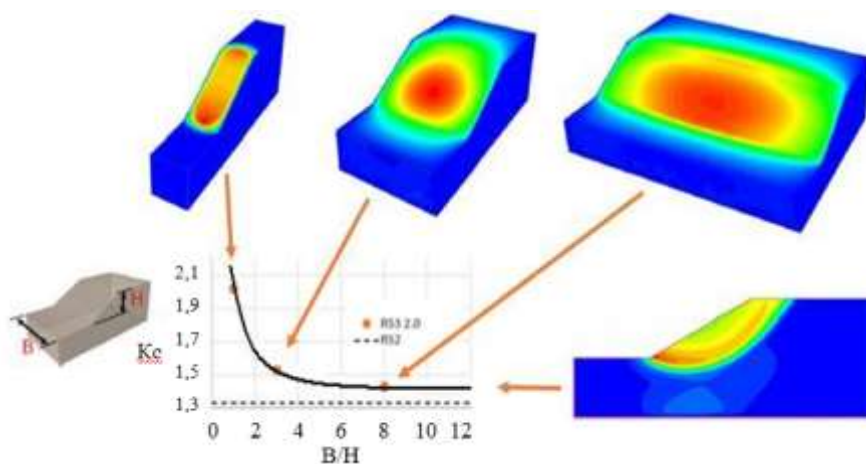


Рис. 2. Вплив довжини розрахункового укосу на його ступінь стійкості

На графіку (рис. 2) представлено залежність коефіцієнтів запасу стійкості від протяжності укосу. Так, по осі абсцис відкладалося відношення довжини укосу до його висоти, по осі ординат – значення коефіцієнта запасу стійкості.

При аналізі графіку було відзначено, що ступінь стійкості розглянутого ґрунтового укосу залежить від його геометричних розмірів, тобто при збільшенні відношення довжини «В» до висоти «Н» укосу значення коефіцієнта запасу стійкості зменшується і наближається до значення, отриманого при розрахунку даного укосу в двовимірній постановці завдання. Пунктиром показана величина коефіцієнта запасу стійкості, визначеного за двовимірною схемою методом граничної рівноваги. Так, при відношенні довжини до висоти укосу рівному 1, значення коефіцієнта запасу стійкості склало 2,0, при відношенні 3 – 1,5, при відношенні 8 – 1,4. Величина коефіцієнта запасу стійкості, отриманого при розрахунку за двовимірною схемою методом граничної рівноваги, склала 1,3.

У представлений роботі [6] можна наочно оцінити зміну поведінки ґрунтового укосу в залежності від його протяжності, а величина ступеня стійкості, в залежності від розмірів розрахункового укосу, може відрізнятись в півтора рази. Також в дослідженнях відзначено маловивченість питання впливу протяжності укосу на значення коефіцієнта запасу стійкості при моделюванні розрахункового укосу в тривимірній постановці [7, 8].

Для оцінки достовірності отриманих результатів потрібне проведення подальших додаткових досліджень, в яких необхідно враховувати не тільки довжину укосу, а його висоту і межі розрахункової області в поперечному напрямку укосу.

До просторових факторів, які впливають на ступінь стійкості ґрунтових споруд також можна віднести точкові конструкції. До них можна віднести окремі будівлі та споруди. Як було зазначено раніше, протяжність ґрунтової споруди позначається на значенні коефіцієнта запасу стійкості, а навіть одинична будівельна конструкція призводить до зменшення довжини розрахункового укосу або схилу. Також значний вплив робить конструкція основи розглянутої споруди і її планове розташування. При пальовій основі, яка перетинає передбачувану лінію ковзання, сама будівля вже є повноцінною протизсувною спорудою, яка кардинально може змінити характер, форму та напрямок можливих зсувних процесів. При плитному фундаменті або на пальовій основі, яка не перетинає передбачувану лінію ковзання, будівля або споруда може виступати в ролі, як додаткової пригрузки (будівельна конструкція розташована в пасивної частини зсувного тіла), так і навпаки – додаткового навантаження зрушення (будівельна конструкція розташована в активній частині зсувного тіла).

Мета і завдання дослідження. Розробка методу врахування просторового ефекту при статичних розрахунках стійкості укосів ґрунтових споруд. Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати вплив геометричних форм ґрунтових укосів на значення коефіцієнта запасу стійкості;
- виконати розрахунки стійкості ґрунтових споруд з урахуванням їх просторової роботи;
- розробити рекомендації щодо врахування просторового ефекту при статичних розрахунках стійкості укосів ґрунтових споруд.

Методи досліджень. Аналітичні та чисельні методи досліджень поведінки ґрунтових укосів у двовимірній постановці завдання, з урахуванням їхніх просторових особливостей. Використані методи оптимального планування експериментів із застосуванням багатофакторного математичного моделювання просторових факторів, які впливають на стійкість ґрунтових споруд.

Результати дослідження. При проектуванні окремо розташованої будівлі на 10-й ст. В. Фонтану в м. Одесі, яка розміщена в пасивній частині зсувного тіла, за участю автора, був відзначений ефект впливу на просторову стійкість розглянутого схилу. В роботі розглядалися два варіанти основи будівлі, що проектується:

- пальова основа з умовою не перетину передбачуваної лінії ковзання (пригрузка пасивної частини зсувного тіла) (рис. 3, а);
- пальова основа з перетином лінії ковзання (пригрузка пасивної частини зсувного тіла зі сприйняттям палями горизонтального навантаження) (рис. 3, б).

За результатами розрахунків двовимірних схем, виконаними за поперечними розрізами, які проходять як в створі проекрованої будівлі, так і в його близькості, були отримані наступні результати:

- значення коефіцієнта запасу стійкості для розрізу по створу будівлі склало 1,052;
- значення коефіцієнта запасу стійкості для розрізу, розташованого поблизу створу будівлі склало 1,012.

При розрахунку стійкості зазначеного схилу по тривимірній схемі, значення коефіцієнта запасу стійкості склало для першого варіанту влаштування основи будівлі 1,109, для другого – 1,188, що свідчить про вплив одиночної будівлі на загальну стійкість протяжної ґрунтової споруди, за рахунок його зменшення довжини. Для забезпечення нормативного значення коефіцієнта запасу стійкості, який дорівнює 1,15 (аварійне сполучення навантажень), для

першого варіанту, з метою компенсації дефіциту зсувних сил, необхідне збільшення маси проектованої споруди (вертикального навантаження). Зазначений недолік тягне за собою значне подорожчання будівництва і призводить до економічно необґрунтованих витрат. Також відзначено, що при розрахунках стійкості розглянутого схилу, розташованого на 10-й ст. В. Фонтану в м. Одесі за двомірними схемами, значення ступеня стійкості в значній мірі відрізняється від коефіцієнта, отриманого за тривимірною схемою. Цей факт також призводить до збільшення конструкцій пальової основи, перевитрати матеріалів, термінів, кількості виконуваних робіт і відповідно подорожчання проекту.

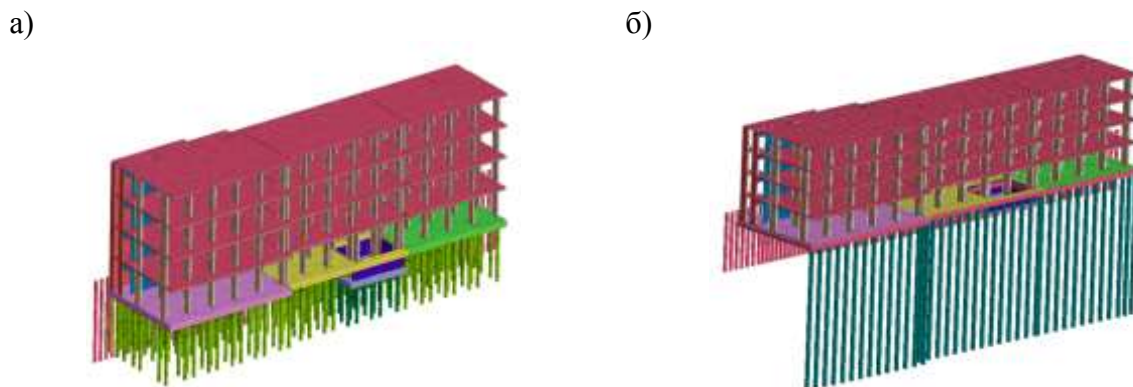


Рис. 3. Загальний вигляд конструкцій основи будівлі, що проектується:
а – пальова основа з умовою не перетину передбачуваної лінії ковзання;
б – пальова основа з перетином лінії ковзання

При розрахунку стійкості зазначеного схилу по тривимірній схемі, значення коефіцієнта запасу стійкості склало для першого варіанту влаштування основи будівлі 1,109, для другого – 1,188, що свідчить про вплив одиночної будівлі на загальну стійкість протяжної ґрунтової споруди, за рахунок його зменшення довжини. Для забезпечення нормативного значення коефіцієнта запасу стійкості, який дорівнює 1,15 (аварійне сполучення навантажень), для першого варіанту, з метою компенсації дефіциту зсувних сил, необхідне збільшення маси проектованої споруди (вертикального навантаження). Зазначений недолік тягне за собою значне подорожчання будівництва і призводить до економічно необґрунтованих витрат. Також відзначено, що при розрахунках стійкості розглянутого схилу, розташованого на 10-й ст. В. Фонтану в м. Одесі за двомірними схемами, значення ступеня стійкості в значній мірі відрізняється від коефіцієнта, отриманого за тривимірною схемою. Цей факт також призводить до збільшення конструкцій пальової основи, перевитрати матеріалів, термінів, кількості виконуваних робіт і відповідно подорожчання проекту.

Врахування окремих будинків в комплексі ґрунтової споруди (ґрунтовий масив, проектована будівля або споруда, конструкція фундаменту) в тривимірній постановці завдання дозволить максимально наблизитися до реальної обстановки і врахувати форму рельєфу, зміну фізико-механічних характеристик ґрунтів в просторі; геометрію і тип фундаментів; величини навантажень, що передаються на ґрунтову основу; в єдиній системі розглянути і оцінити напружено-деформований стан і стійкість схилу; із застосуванням чисельних експериментів вибирати оптимальний варіант фундаментів для проєктованих будинків [9].

В ході виконання розрахунків стійкості схилу, за участю автора, на території Грецького (Місячного) парку в межах кордонів вулиць: Військового спуску, Приморського бульвару, вул. Приморської, Потьомкінських сходів в м. Одесі [10], була відмічена подібна ситуація, представлена в роботах [5, 11]. В якості вихідних даних для виконання розрахункових робіт і розробки рекомендацій був використаний Технічний звіт про інженерно-геологічні умови ділянки проєктування благоустрою Грецького парку в межах вулиць: Військовий спуск, Приморський бульвар, вул. Приморська, Потьомкінські сходи в м. Одесі 2016 р. [12].

План схилу і розташування трьох обраних розрахункових поперечних перетинів показано на рис. 4.

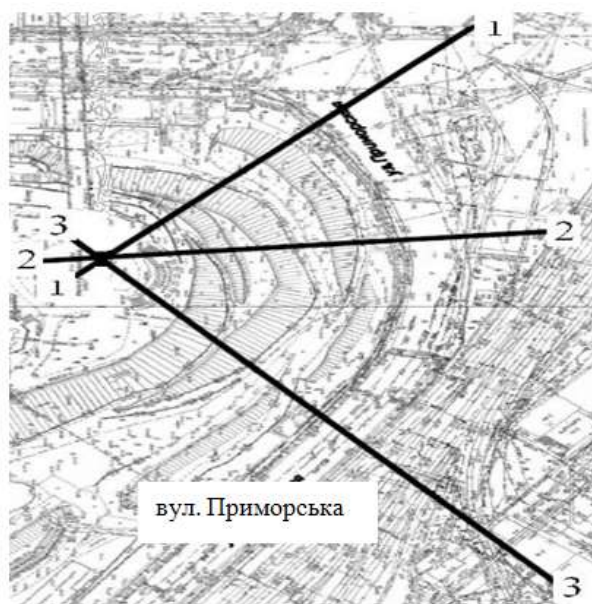


Рис. 4. План схилу і розташування розрахункових поперечників

Кількість розрахункових створів і їхнє положення в плані вибиралося, виходячи з інженерно-геологічних умов і з урахуванням необхідності врахування топографічних особливостей розглянутого схилу.

За вимогами ДБН В.1.1-46:2017 «Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів і обвалів. Основні положення» [3] для кожного зсувного схилу слід призначати як мінімум один розрахунковий створ. Для великих зсувів задають додаткові створи. Розташування основного розрахункового створу на ділянках зсувних схилів має збігатися з основним напрямком існуючого або прогнозованого руху зсуву по лінії найбільшої крутизни земної поверхні. На великих зсувних ділянках слід розглядати розрахункові створи за кількома напрямками з урахуванням можливості зміни умов стійкості в результаті будівництва та стадії розвитку.

В ході виконання роботи розрахунки стійкості схилу були виконані методами Bishop [13] і Janbu [14] за фіксованими кривими ковзання, при цьому враховувалися сили ваги блоку, сили гідродинамічного впливу ґрунтового потоку.

Результати розрахунку стійкості схилу за фіксованими кривим ковзання для трьох розрахункових створів представлені на (рис. 5).

За результатами розрахунків були отримані значення коефіцієнтів запасу стійкості:

- для розрахункового створу 1-1 за методом Bishop – 0,832 і Janbu – 0,812. Стійкість даного схилу в даному перетині не забезпечена;
- для розрахункового створу 2-2 за методом Bishop – 0,785 і Janbu – 0,813. Стійкість даного схилу в даному перетині не забезпечена;
- для розрахункового створу 3-3 за методом Bishop – 0,755 і Janbu – 0,728.

Стійкість даного схилу в даному перетині не забезпечена.

При аналізі отриманих результатів було відзначено їх невідповідність візуальним та інструментальним обстеженням даного схилу. Дана робота проводилася до виконання розрахунків з метою виявлення порушення цілісності ґрунтового масиву, виявлення заколів і зрушень «жорстких конструкцій» (паркани, бордюри, сходи, стіни і фундаменти будівель, стовпи тощо), розташованих на брівці схилу і його укосі. В результаті обстеження будь-яких ушкоджень, які могли б показувати на зрушення схилу, розташованого на території Грецького (Місячного) парку, виявлено не було.

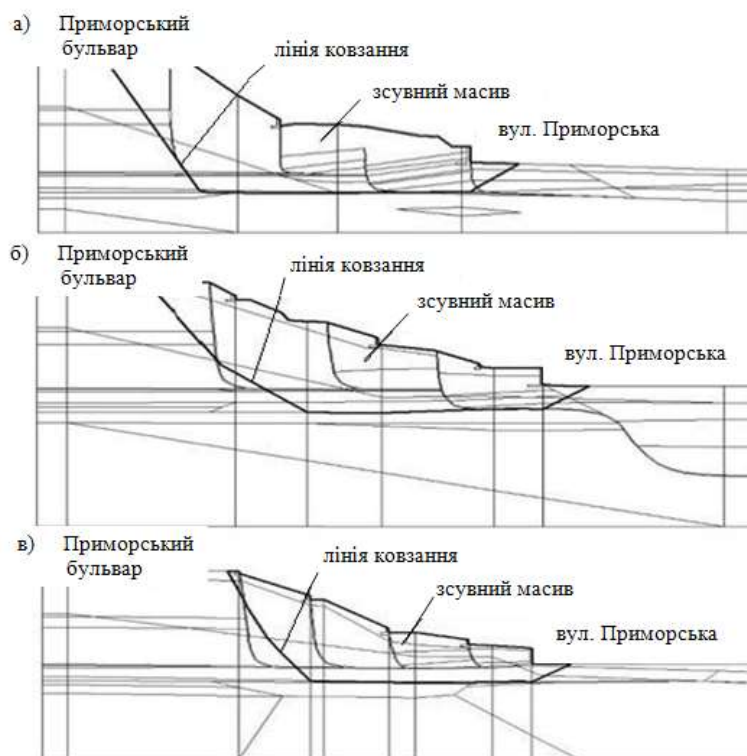


Рис. 5. Загальний вигляд зсувного тіла:
 а – розрахунковий створ 1-1; б – розрахунковий створ 2-2; в – розрахунковий створ 3-3

Беручи до уваги [5, 15], і так як в зазначених розрахункових створах 1-1, 2-2 і 3-3 коефіцієнти запасу стійкості в значній мірі відрізняються один від одного і не перевищують 1, а схил при цьому очевидно стійкий за результатами спостережень, було прийнято рішення про визначення коефіцієнта запасу стійкості, який міг би реально оцінити стійкість схилу на цій ділянці і визначити можливі межі зсувного тіла. В даному випадку слід враховувати просторову роботу схилу, де реалізується врахування впливу розрахункових створів один з одним і сусідніх ділянок схилу з більш високим коефіцієнтом запасу стійкості.

Загальний вигляд тривимірної розрахункової схеми існуючого розрахункового схилу з межами зсувного тіла представлено на рис. 6.

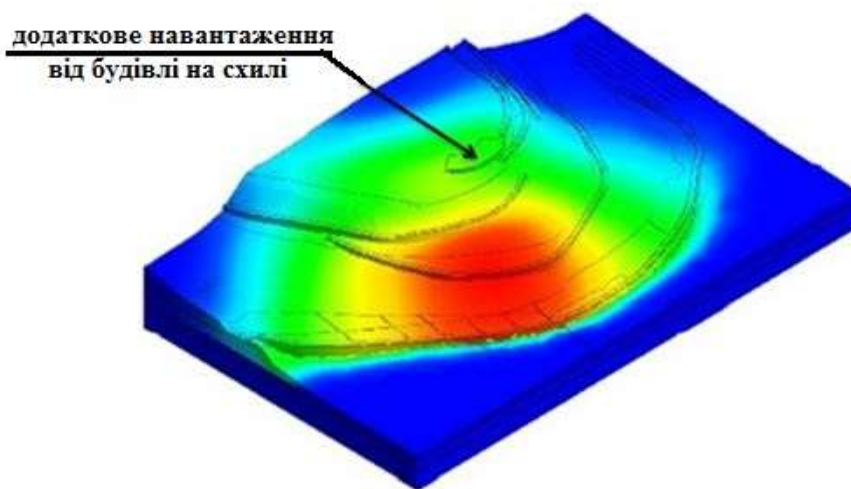


Рис. 6. Загальний вигляд тривимірної розрахункової схеми схилу на території Грещького (Місячного) парку, м. Одеса

У розрахунку була врахована топографія схилу, різномірність ґрунтів, визначених в межах проведення геологічних вишукувань, зміна рівня ґрунтових вод по всій довжині схилу та існуючі конструкції, розташовані на його брівці і по його укосу.

В результаті визначення напружено-деформованого стану в розрахунковому схилі були отримані зони максимальних дотичних напружень по ґрунту порушеної структури «плашка по плашці» і значення коефіцієнта запасу стійкості, отриманого методом редукції (зниження міцності), який склав 1,064.

Виконання розрахунків схилу, розташованого на території Грецького (Місячного) парку м. Одеси, в тривимірній постановці завдання дає результат, наближений до існуючого стану схилу, на відміну від результатів, отриманих за двовимірними схемами, а саме за методами Bishop [13] і Janbu [14]. Отримані коефіцієнти запасу стійкості в тривимірній постановці та по двовимірним схемам, з урахуванням просторового ефекту, показують, що нормативна стійкість схилу не забезпечена. Схил знаходиться в стані граничної рівноваги.

Для забезпечення нормативної стійкості схилу «Грецького парку» було передбачено споруду з трьох радіальних рядів бурових паль діаметром 800 мм (рис. 7). Крок паль і відстань між рядами паль становить 1,5 м. Відмітка забою паль -7,4 м, яка визначалася виходячи з положення лінії ковзання зсуву з фізико-механічними характеристиками ґрунту порушеної структури, а також зусиль, що виникають в палях на цій позначці. Позначки верху паль змінні і складають для першого ряду 5,0 м, для другого – 6,1 м і для третього – 7,2 м. Зазначені позначки визначалися з умови неможливості перепозання зсуву через голови паль. При розрахунках стійкості схилу були отримані величини дефіциту сил, необхідних для компенсації коефіцієнта запасу стійкості, до нормативних значень. Ці величини сил склали:

- для перетину 1-1 1915кН (з врахування просторового ефекту при розрахунках стійкості ґрунтових укосів або схилів дефіцит сил склав 1620 кН);
- для перетину 2-2 1896 кН (з врахування просторового ефекту – 1585 кН);
- для перетину 3-3 1974 кН (з врахування просторового ефекту – 1625 кН).

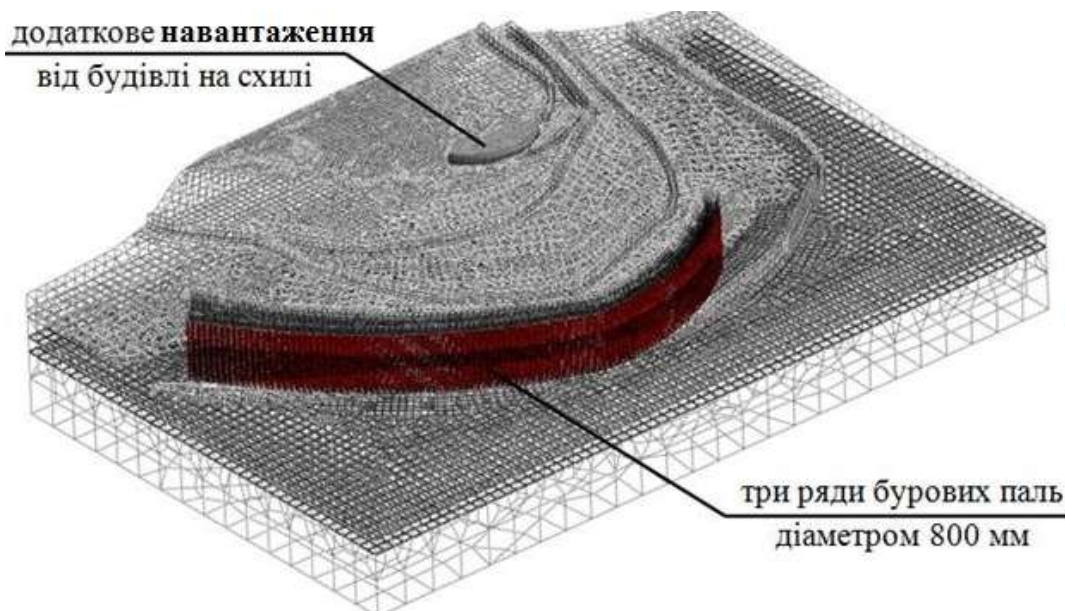


Рис. 7. Загальний вигляд розташування бурових паль протизсувної споруди «Грецького парку»

Палі приймалися одного типу в межах кожного ряду. Визначення внутрішніх зусиль (згинальних моментів і сил перерізу) в кожному типі палі відбувалось шляхом вибірки максимального зусилля в перетинах розташованих по висоті, в середньому, через 1м.

Відповідно до проведених розрахунків були отримані максимальні згинальні моменти та сили перерізу для двовимірних та тривимірної схем. Значення указаних величин представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення максимальних внутрішніх зусильв палях протизсувної конструкції «Грецького парку»

Внутрішні зусилля	Двовимірна схема	Тривимірна схема
Згинальний момент, т·м	71,0	52,0
Сила перерізу, т	65,0	46,0

Підбір армування бурових паль виконувався за допомогою програмного комплексу «SCAD». Палі встановлюються в ґрунті шляхом заповнення пробурених свердловин бетонною сумішшю марки С25/30 на сульфатостійкому портландцементі з маркою по морозостійкості і водонепроникності F150 і W6 відповідно, з установкою зварних металевих каркасів з поздовжньою арматурою класу А500С і поперечною арматурою класу А240С.

Результати підбору армування для тривимірної схеми представлені на рис. 8. Захисний шар бетону для поздовжньої арматури прийнято 50 мм.

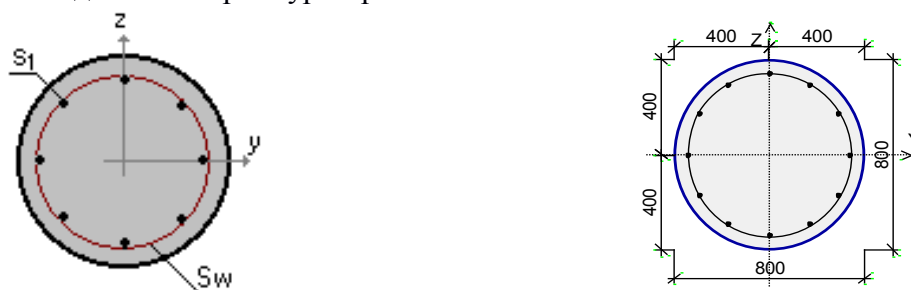


Рис. 8. Результати підбору армування для тривимірної схеми: поздовжня арматура S1 – 12Ø22; поперечна арматура SW – Ø12; крок поперечної арматури 150 мм

Значення коефіцієнтів використання прийнятого армування представлені в табл. 2.




Таблиця 2 – Значення коефіцієнтів використання прийнятого армування для розрахунків тривимірної схеми конструкцій протизсувної споруди

	Перевірка	Коефіцієнт	Графічне відображення
1	Міцність за граничним моментом перетину	0,873	
2	Міцність по похилій смузі між похилими тріщинами	0,358	
3	Міцність по похилій тріщині	0,830	

Аналізуючи результати підбору армування бурових паль конструкцій протизсувної споруди можна зробити висновок про достатню кількість назначеної як повздовжньої, так і поперечної арматури та коефіцієнт використання не перевищує 1,0.

При розгляді результатів розрахунку двовимірних схем відзначено, що використання однакового типу армування, отриманого для тривимірних схем не допустимо, так як попередньо підібрана кількість армування не забезпечує міцність бурових паль і коефіцієнт використання, в даному випадку перевищує 1,0 (табл. 3).

Таблиця 3 – Значення коефіцієнтів використання прийнятого армування для розрахунків двовимірної схеми конструкцій протизсувної споруди

	Перевірка	Коефіцієнт	Графічне відображення
1	Міцність за граничним моментом перетину	1,192	
2	Міцність по похилій смузі між похилими тріщинами	0,506	
3	Міцність по похилій тріщині	1,173	

Для забезпечення міцності елементів конструкцій протизсувної споруди необхідно збільшувати кількість розрахункової арматури (повздовжньої та поперечної), що призведе до необґрунтованого збільшення запасу міцності всієї споруди та збільшення вартості робіт по забезпеченню нормативної стійкості укосу «Грецького парку».

Результати підбору армування для двовимірної схеми представлені на рис. 9. Захисний шар бетону для повздовжньої арматури прийнято 50 мм.

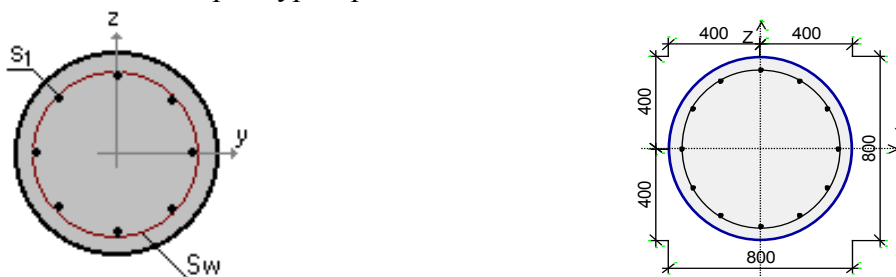
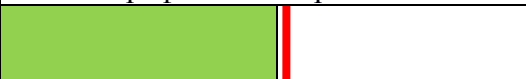




Рис. 9. Результати підбору армування для двовимірної схеми: повздовжня арматура S1 – 12Ø25; поперечна арматура SW – Ø14; крок поперечної арматури 100 мм

Значення коефіцієнтів використання прийнятого армування представлені в табл. 4.

Таблиця 4 – Значення коефіцієнтів використання прийнятого армування для розрахунків двовимірної схеми конструкцій протизсувної споруди

	Перевірка	Коефіцієнт	Графічне відображення
1	Міцність за граничним моментом перетину	0,955	
2	Міцність по похилій смузі між похилими тріщинами	0,475	
3	Міцність по похилій тріщині	0,926	

Якщо порівнювати результати розрахунків стійкості трьох розрахункових поперечних розрізів, отриманих за двовірними схемами методами Bishop [13] і Janbu [14] з результатами застосування пропонованої моделі врахування просторових ефектів, можна відзначити, що значення розрахункового згинального моменту і сил перерізу, що діють на палі протизсувної споруди були знижені в середньому на 20 %. Цей фактор призводить до:

- зменшення розрахункового зсувного тиску на утримуючі конструкції;
- зниження розрахункових внутрішніх зусиль, що виникають в елементах протизсувної конструкції (згинальні моменти і сили перерізу), відповідно до зменшення міцності (класу) бетону, зниження діаметрів і кількості як повздовжньої, так і поперечної арматури.

Висновки:

1. На основі аналізу ряду робіт за двовірним і тривірним моделюванням ґрунтових укосів було показано, що оцінка стійкості ґрунтових укосів є складним, відповідальним і маловивченим завданням.

2. Виконання розрахунків ґрунтових укосів в тривимірній постановці завдання, дає результати, наближені до реальності, на відміну від результатів, отриманих загальноприйнятими і поширеними інженерними методами за двовимірними схемами. Це пояснюється тим, що тривимірна постановка завдання враховує комбінації інженерно-геологічних умов всього ґрунтового укосу. Тривимірне моделювання ґрунтових укосів також дозволяє враховувати фактори, що роблять істотний вплив на стійкість, які не можна врахувати при двовимірному моделюванні (особливості топографії, наявність підрізування укосів, ярів, точкових будівельних конструкцій тощо).

3. Одним з важливих переваг просторової оцінки стійкості ґрунтового укосу є те, що такий розрахунок дозволяє прогнозувати розвиток зсувного процесу не тільки по глибині досліджуваного розрізу ґрунтового масиву, але і в плані.

Література

1. ДБН В.1.1–12:2014. Будівництво в сейсмічних районах України. [Чинний від 2014-10-01]. К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2014. 110 с.

2. ДБН В.2.4–20:2014. Греблі з ґрунтових матеріалів. Основні положення. [Чинний від 2014-11-13]. К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2014. 126 с.

3. ДБН В.1.1–46:2017. Інженерний захист територій, будівель та споруд від зсувів та обвалів. Основні положення. [Чинний від 2017-11-01]. К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 47 с.

4. Методические рекомендации по предотвращению оползней на автомобильных дорогах Таджикской ССР. Государственный Всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт (СоюзДорНИИ). М. 1977. 52 с.

5. Zhang C., Yingbin et al. Effects of geometries on three-dimensional slope stability. *Canadian Geotechnical Journal*. 2013. Vol. 50, No. 3. P. 233–239.

6. Thamer Yacoub Using Shear Strength Reduction Method for 2D and 3D Slope Stability Analysis. President, Rocscience Inc. 2016. 521 с.

7. Fomenko I. K., Zerkal O. V. Proceeding of the technical meeting TC207 – Workshop on soil-structure Interaction and Retaining Walls. *Three-dimensional slope stability analysis. Dubrovnic*. 2011. P. 125–129.

8. Фоменко И. К., Зеркаль О. В. Преимущества методов оценки устойчивости склонов в трехмерной постановке. *Геотехника*. 2011. № 5. С. 38–41.

9. Менабдишвили П. З. Исследование влияния рельефа и состава пород на устойчивость склонов в неблагоприятных инженерно-геологических и сейсмических условиях. *Збірник наукових праць Строительство, материаловедение, машиностроение*. 2017. Вип. 100, С. 108–111.

10. Отчет «Расчет устойчивости склона на территории Греческого (Лунного) парка в пределах границ улиц: Военного спуска, Приморского бульвара, ул. Приморской, Потемкинской лестницы в г. Одессе», 2016. 41 с.

11. Бондаренко А. В., Великий Д. И., Егупов К. В., Слободянюк В. П. Сравнительный анализ расчета устойчивости однородных ґрунтовых плотин для плоской и объемной задач. *Будівельні конструкції: міжвідомчий науково-технічний збірник*. 2012. № 76. С. 320–325.

12. Технический отчет о инженерно-геологических условиях участка проектирования благоустройства Греческого парка в пределах улиц: Военный спуск, Приморский бульвар, ул. Приморская, Потемкинская лестница в г. Одессе, 2016. 26 с.

13. Bishop A.W. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Géotechnique*. 1955. №5. P. 7–17.

14. Janbu N. Application of composite slip surface for stability analysis. *In Proceedings of the European Conference on Stability of Earth Slopes Stockholm, Sweden. Balkema, Rotterdam*. 1954.

P. 43–49.

15. Гаврилов А. В. Оценка устойчивости оползневых склонов на основе трехмерного моделирования. *Инженерная геология*. 2013. №6. С. 46–55.

References

- [1] DBN V.1.1–12:2014. Budivnictvo v sejsmichnih rajonah Ukrajini. K.: Ministerstvo regionalnogo rozvitku, budivnictva ta zhitlovo-komunalnogo gospodarstva Ukrajini, 2014.
- [2] DBN V.2.4–20:2014. Grebli z gruntovih materialiv. Osnovni polozhennya. K.: Ministerstvo regionalnogo rozvitku, budivnictva ta zhitlovo-komunalnogo gospodarstva Ukrajini, 2014.
- [3] DBN V.1.1–46:2017. Inzhenernij zahist teritorij, budivel ta sporud vid zsuviv ta obvaliv. Osnovni polozhennya. K.: Ministerstvo regionalnogo rozvitku, budivnictva ta zhitlovo-komunalnogo gospodarstva Ukrajini, 2017.
- [4] Metodicheskie rekomendatsii po predotvrashcheniyu opolzney na avtomobilnykh dorogakh Tadzhijskoy SSR. Gosudarstvennyy Vsesoyuznyy dorozhnyy nauchno-issledovatel'skiy institut (SoyuzDorNII). M. 1977.
- [5] C. Zhang, Yingbin et al., "Effects of geometries on three-dimensional slope stability", *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 50, no. 3, pp. 233-239, 2013.
- [6] Thamer Yacoub, *Using Shear Strength Reduction Method for 2D and 3D Slope Stability Analysis*, President, Rocscience Inc., 2016.
- [7] I. K. Fomenko, O. V. Zerkal, "Proceeding of the technical meeting TC207 – Workshop on soil-structure Interaction and Retaining Walls", *Tree-dimensional slope stability analysis. Dubrovnic*, pp. 125-129, 2011.
- [8] I. K. Fomenko, O. V. Zerkal, "Preimushestva metodov ocenki ustojchivosti sklonov v trehmernoj postanovke", *Geotekhnika*, no. 5, pp. 38-41, 2011.
- [9] P. Z. Menabdishvili, "Issledovanie vliyaniya relefa i sostava porod na ustojchivost sklonov v neblagopriyatnykh inzhenerno-geologicheskikh i sejsmicheskikh usloviyah", *Zbirnik naukovih prac Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie*, no. 100, pp. 108-111, 2017.
- [10] Otchet "Raschet ustojchivosti sklona na territorii Grecheskogo (Lunnogo) parka v predelakh granic ulic: Voennogo spuska, Primorskogo bulvara, ul. Primorskoj, Potemkinskoj lestnicy v g. Odesse", 2016.
- [11] A. V. Bondarenko, D. I. Velikij, K. V. Egupov, V. P. Slobodyanyuk, "Sravnitelnyj analiz rascheta ustojchivosti odnorodnykh gruntovykh plotin dlya ploskoj i obemnoj zadach", *Budivelni konstrukciyi: mizhvidomchij naukovno-tehnichnij zbirnik*, no. 76, pp. 320-325, 2012.
- [12] "Tehnicheskij otchet o inzhenerno-geologicheskikh usloviyah uchastka proektirovaniya blagoustrojstva Grecheskogo parka v predelakh ulic: Voennyj spusk, Primorskij bulvar, ul. Primorskaya, Potemkinskaya lestnica v g. Odesse", 2016.
- [13] A.W. Bishop, "The use of the slip circle in the stability analysis of slopes", *Géotechnique*, no 5, pp. 7-17, 1955.
- [14] N. Janbu, "Application of composite slip surface for stability analysis", *In Proceedings of the European Conference on Stability of Earth Slopes Stockholm, Sweden. Balkema, Rotterdam*, pp. 43-49, 1954.
- [15] A. V. Gavrilov, "Ocenka ustojchivosti opolznevyykh sklonov na osnove trehmernogo modelirovaniya", *Inzhenernaya geologiya*, no 6, pp. 46-55, 2013.

**STABILITY OF EARTH STRUCTURES
TAKING INTO ACCOUNT THE SPATIAL EFFECT**

¹**Osadchy V.S.**, PhD., Assistant Professor,
ovs1455@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8153-8635

¹**Dmytriev S.V.**, PhD., Assistant Professor,
tele@ukr.net, ORCID: 0000-0001-6523-5464

¹**Velykiy D.I.**, PhD,
denislusuj@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1452-6742

¹**Baadzhi V.G.**, Assistant,
baadzhi@ogasa.org.ua, ORCID: 0000-0002-6974-9082

¹*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*
4, Didrichson street, Odessa, 65029, Ukraine

Abstract. Problems of stability of soil structures and the development of landslides, including the Black Sea coast, pose a significant danger to the population and existing buildings and structures. The development of landslides and landslide-prone slopes requires careful and detailed study, the results of which should be the basis for the implementation of measures for engineering protection of territories, taken into account in the design and construction of new facilities. When calculating the stability of slopes, there is a difference in the calculated values of the coefficients of stability in two-dimensional and three-dimensional problem statements. Analysis of the research indicates the need to take into account the influence of topographic conditions of the entire slope when calculating it in two-dimensional schemes within the designated areas.

Determination of the coefficient of stability can be carried out by both analytical and graph-analytical methods. In most cases, the calculation of the stability of slopes and escarpment and the determination of the coefficient of stability is performed for two-dimensional sections constructed on lines that coincide with the most probable direction of shift of the shear body.

The most common methods used in calculating the stability of slopes in a two-dimensional problem statement are the most used because of their simplicity, but these methods are based on the acceptance of some assumptions described above. Based on the analysis of a number of works on two-dimensional and three-dimensional modeling of soil slopes, it is shown that the assessment of the stability of landslides is a complex, responsible and poorly studied task.

Performing calculations of soil slopes in the three-dimensional formulation of the problem gives results close to reality, in contrast to the results obtained by conventional and common engineering methods for two-dimensional schemes. This is due to the fact that the three-dimensional formulation of the problem takes into account the combination of engineering and geological conditions of the entire slope. Three-dimensional modeling of soil slopes also allows taking into account factors that have a significant impact on stability, which cannot be taken into account in two-dimensional modeling (features of topography, the presence of trimming slopes, ravines, point structures, etc.).

Keywords: soil structure, stability factor, artificial embankment, landslide slope, soil slope, stability, relief forms, calculation method, three-dimensional scheme, two-dimensional scheme.

Стаття надійшла до редакції 7.03.2023