

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

**ВЕЛИКИЙ ДЕНИС ІГОРОВИЧ**



УДК 627.8:624.1

**СТІЙКІСТЬ ҐРУНТОВИХ СПОРУД  
З УРАХУВАННЯМ ПРОСТОРОВОГО ЕФЕКТУ**

05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди»

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Одеса – 2020

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Одеській державній академії будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник** – кандидат технічних наук, доцент **Слободянюк Володимир Прокопійович**, Одеська державна академія будівництва та архітектури, доцент кафедри гідротехнічного будівництва.

**Офіційні опоненти:** – доктор технічних наук, професор **Вайнберг Олександр Ісаакович**, ПАТ «УКРГІДРОПРОЕКТ», м. Харків, заступник генерального директора;

– доктор технічних наук, професор **Стефанишин Дмитро Володимирович**, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, провідний науковий співробітник.

Захист відбудеться «11» січня 2021 р. о 13<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д41.085.01 при Одеській державній академії будівництва та архітектури за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4, аудиторія а360.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеської державної академії будівництва та архітектури за адресою: м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4.

Автореферат розісланий «  » грудня 2020 року.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради, д.т.н., доцент

С.О. Кровяков

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Завдання забезпечення стійкості ґрунтових споруд виникає при проєктуванні споруд гідротехнічного, промислового, цивільного, транспортного та інших призначень. До ґрунтових споруд відносяться усі види насипів і підсіпок територій, виконані з природних і штучних (техногенних) ґрунтів і виконують функції інженерних споруд і спеціальних, планомірно організованих (за проєктом) відвалів і сховищ. Прикладами ґрунтових споруд є насипи автомобільних і залізних доріг, аеродроми, греблі і дамби з ґрунтових матеріалів, підсилення селетєбних і промислових територій, штучні (насіпні і намівні) основи будівель і споруд. Також до ґрунтових споруд відносяться природні схили, при розміщенні на них протизсувних конструкцій, будівель або споруд, розташованих як на брівці, так і на самому схилі, при виконанні терасування (планування) схилу, пристрої берегозахисту, штучні пляжі і мисові форми.

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 проєктування і будівництво на нестійких схилах в даний час набуває актуального характеру. Для проєктних 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.

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 проєктуванні 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.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема дисертації відповідає актуальним напрямкам науково-технічної політики України, відповідно до розпорядження КМУ від 19 вересня 2018 р. № 702-р (діюче) «Про виділення

коштів на здійснення протизсувних заходів, пов'язаних із запобіганням виникненню надзвичайної ситуації в Одеській області»; наказу Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 24 лютого 2014 р № 309/25086 (діючий) «Про забезпечення проведення протизсувних заходів, інженерного захисту, протиаварійних та ремонтно-реставраційних робіт на території Києво-Печерської Лаври». Роботу виконано згідно з планом держбюджетних НДР на теми: «Розробка рекомендацій щодо моніторингу ґрунтових гребель» (0117U003396) та «Удосконалення розрахунків гідротехнічних споруд» (0110U003403).

**Мета роботи.** Розробка методу врахування просторового ефекту при статичних розрахунках стійкості укосів ґрунтових споруд.

**Задачі досліджень.** Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати вплив геометричних форм ґрунтових укосів на значення коефіцієнта запасу стійкості;
- виконати розрахунки стійкості укосів однорідних ґрунтових споруд з урахуванням їх просторової роботи;
- створити експериментально-статистичну модель врахування просторових ефектів при двовірних розрахунках стійкості ґрунтових укосів;
- розробити рекомендації щодо використання запропонованого методу врахування просторового ефекту при статичних розрахунках стійкості укосів ґрунтових споруд.

**Об'єкт досліджень.** Стійкість укосів штучних ґрунтових споруд та природних схилів.

**Предмет досліджень.** Методи розрахунку стійкості укосів ґрунтових споруд. Фактори впливу просторового ефекту при розрахунках двовірних задач.

**Методи досліджень.** Аналітичні та чисельні методи досліджень поведінки ґрунтових укосів у двовірній 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.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в наступному:

- виявлено та враховано вплив просторових факторів на ступінь стійкості ґрунтових споруд при їх двовірному моделюванні;
- вперше розроблено та застосовано метод розрахунку стійкості укосів ґрунтових споруд, що дозволяє враховувати просторову роботу схилу на основі результатів розрахунку двовірних задач;
- запропоновано математичну модель врахування впливу просторових ефектів при двовірних розрахунках стійкості ґрунтових укосів.

**Практична значимість отриманих результатів:**

- визначено фактори (які раніше не враховувались), що впливають на результати розрахунку стійкості однорідних ґрунтових споруд за двовірними схемами інженерними методами;

- розроблено метод розрахунку стійкості укосів ґрунтових споруд у двовимірній постановці завдання, що враховує їхні просторові особливості та в значній мірі може зменшити трудові ресурси, необхідні для створення і розрахунку тривимірних моделей;

- розроблений метод було використано для виконання робочого проєкту інженерного захисту схилу на території Греського (Місячного) парку в межах кордонів вулиць: Військового спуску, Приморського бульвару, вул. Приморської, Потьомкінських сходів м. Одеси;

- розроблений метод було використано у виконанні утримуючих споруд в районі нового будівництва адміністративної будівлі, допоміжних споруд та інфраструктури для відпочинку, рекреаційно-оздоровчого призначення за адресою: м Одеса, 13 ст. В. Фонтану (район пляжу «Курортний»);

- результати досліджень використані в розділі 9 та додатку Н проєкту ДБН В.2.4-20:2014 «Греблі з ґрунтових матеріалів. Основні положення»;

- результати досліджень використані в розділах 9 та 11 ДБН В.2.1-10:2018 «Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення».

**Особистий внесок здобувача** полягає у формулюванні мети і постановці завдань досліджень, проведенні досліджень поведінки ґрунтових укосів у двовимірній постановці завдання, з урахуванням їхніх просторових особливостей; обробці та узагальненні отриманих результатів; розробці методу розрахунку стійкості ґрунтових укосів, що дозволяє враховувати просторову роботу ґрунтової споруди на основі результатів розрахунку двовимірних задач; впровадженні розроблених матеріалів у практику проєктування.

У роботах, опублікованих спільно зі співавторами, внесок здобувача лежить в постановці завдань, їхньому науковому обґрунтуванні та особистій участі у вирішенні цих завдань.

#### **Апробація результатів дисертації.**

Основні положення дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на наступних конференціях: Міжнародний форум «Міжрегіональні проблеми екологічної безпеки» (м. Одеса, 2006 р.); Міжнародна науково-технічна конференція, присвячена 90-річчю від дня народження професора В. К. Єгупова: «Проблеми теорії та практики сейсмостійкого будівництва» (м. Одеса, 2016 р.); Міжнародна науково-технічна конференція «Гідротехнічне і транспортне будівництво», присвячена 65-річчю факультету Гідротехнічного і транспортного будівництва (м. Одеса, 2016 р.); 73-я науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури (м. Одеса, 2017 р.); Міжнародна науково-технічна конференція «Гідротехнічне і транспортне будівництво» (м. Одеса, 2018 р.); Міжнародна науково-технічна конференція «Гідротехнічне і транспортне будівництво» (м. Одеса, 2019 р.).

**Публікації.** Основні положення дисертації опубліковані в 9 наукових працях, з яких 6 статей у фахових виданнях України (три індексуються наукометричною базою Index Copernicus), 1 стаття у закордонному науковому періодичному виданні, 2 тези доповіді на міжнародних науково-технічних конференціях.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел, двох додатків. Загальний обсяг роботи становить 171 сторінку, з яких: 125 сторінок основного тексту; 75 рисунків; 23 таблиці; список використаних джерел зі 141 найменування на 14 сторінках та двох додатків на 8 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовані цілі та задачі досліджень, приведена наукова новизна і практичне значення отриманих результатів.

**У першому розділі** дисертаційної роботи «Стан питання методів розрахунку укосів ґрунтових споруд» виконано огляд літературних джерел, присвячених питанням розрахунку стійкості укосів ґрунтових споруд як в двовимірній, так і в тривимірній постановках задач.

До ґрунтових споруд відносяться всі види насипів і підсіпок територій, виконані з природних і штучних (техногенних) ґрунтів і виконують функції інженерних споруд і спеціальних, планомірно організованих (за проектом) відвалів і сховищ. Прикладами ґрунтових споруд є насипи автомобільних і залізних доріг, аеродроми, греблі і дамби з ґрунтових матеріалів, підсіпання селітебних і промислових територій, штучні (насипні і наливні) основи будівель і споруд. Також до ґрунтових споруд відносяться природні схили, при розміщенні на них протизсувних конструкцій, будівель або споруд, розташованих як на брівці, так і на самому схилі, при виконанні терасування (планування) схилу, влаштуванні берегозахисних споруд, штучні пляжів і мисові форми.

Прикладами найбільш відомих методів розрахунків стійкості схилів за двовимірними схемами є: метод круглоциліндричної поверхні ковзання, Метод Ю. І. Соловйова, Р. Р. Чугаєва, Метод горизонтальних та дотичних сил, Аналітичний та Графоаналітичний методи Г. М. Шахунянца, Графостатичний метод Л. Л. Перковського, Методи Бішопа, Моргенштерна-Прайса, Ямбу та інші.

Важливим напрямком, що активно розвивається, в розрахунках стійкості ґрунтових споруд є тривимірний аналіз. В даний час тривимірне моделювання міцно увійшло в практику інженерних розрахунків, в тому числі в числове моделювання напружено-деформованого стану ґрунтових масивів. До теперішнього моменту розроблено велику кількість методів тривимірних розрахунків стійкості на основі концепції граничної рівноваги і механіки суцільного середовища.

Перший досвід створення тривимірних методів розрахунку стійкості ґрунтових укосів відноситься до кінця 60-х років минулого століття, але тільки в останні роки ці методи стали активно використовуватися в інженерній практиці. Багато виробників спеціалізованого програмного забезпечення SoilVisionSystems (Канада), MIDAS GTS NX (Південна Корея), TAGAssoft (США), Rocscience (Канада), PLAXIS (Ірландія) тощо вже мають програмні модулі з тривимірного моделювання стійкості укосів ґрунтових споруд.

Моделювання стійкості схилів в тривимірному варіанті, безперечно, більш правильне і перспективне в порівнянні з двовимірними моделями, а переваги, пов'язані з просторовим аналізом очевидні, а саме:

- в тривимірній постановці поверхня ковзання моделюється (за умови однорідності властивостей ґрунтів) у вигляді сегмента еліпсоїдальної поверхні. Круглоциліндрична поверхня ковзання при розрахунку в двовимірному варіанті не є її аналогом і з точки зору механіки не може вважатися плоскою і, як наслідок, не може коректно, без істотних припущень, вирішуватися в двовимірній постановці;

- для коректного застосування двовимірного варіанта розрахунку стійкості схилів необхідно врахувати велику кількість умов, які необхідно оцінювати при вирішенні завдання, наприклад, такі як однорідність геологічної будови, топографічна однорідність схилу в напрямку його простягання тощо. Але в практиці існує безліч випадків, коли саме ці фактори будуть впливати на стійкість (тектонічний розлом, що перетинає схил під кутом, або зрізання частини схилу при будівництві доріг і трубопроводів). Все це можна врахувати тільки при побудові тривимірної моделі;

- важливою перевагою тривимірної оцінки стійкості схилів є той факт, що такий розрахунок дозволяє прогнозувати розвиток зсувного процесу не тільки по глибині проникнення (в масиві), але і в плані. При цьому може вирішуватися завдання із знаходження найменш стійкої області на зсувному або зсувонебезпечному схилі, рішення якої реалізоване в MIDAS GTS NX. Це дозволяє більш об'єктивно оцінювати ризики, пов'язані з просторовою активізацією зсувного процесу, приймати більш обґрунтовані конструктивні рішення з протизсувного захисту.

**У другому розділі** «Вплив форми ґрунтових укосів на значення коефіцієнта запасу стійкості» описані основні фактори впливу на значення коефіцієнта запасу стійкості укосів ґрунтових споруд.

Вплив форми схилу 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 схилах, в плані – на увігнутих, улоговиноподібних і рівних ділянках. Голова зсувів зазвичай розташовується в місцях перегину профілю, де пологі ділянки схилу змінюються крутими.

За результатами досліджень відзначено, що при постійності фізико-механічних характеристик ґрунтів, вплив на значення коефіцієнта запасу стійкості надає форма і геометрія самого схилу. Зазначене явище було відзначено 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.

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

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 їхню 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 схилі і його брівці. В результаті обстеження будь-яких ушкоджень, які могли б показувати на зрушення схилу, розташованого на території Грецького (Місячного) парку, виявлено не було.

Беручи до уваги те, що 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 представлений на рис. 1.

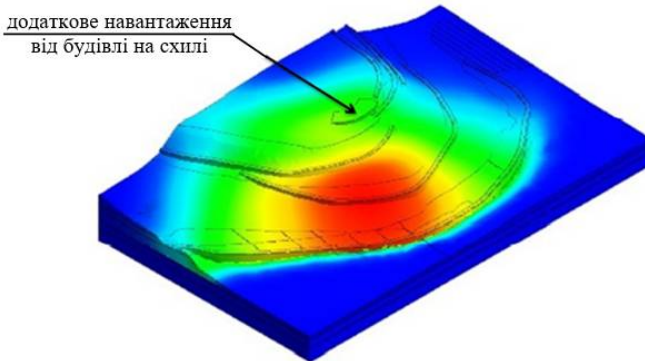


Рис.1. Загальний вигляд тривимірної розрахункової схеми

У розрахунку була врахована топографія схилу, різномірність ґрунтів 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 розрахунку 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. Значення коефіцієнта запасу стійкості по двовимірним схема, з урахуванням просторового ефекту, який запропонований в дисертаційній роботі, склав 1,101.

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 і Janbu. Отримані коефіцієнти запасу стійкості в тривимірній постановці та по двовимірним схема, 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. 2). 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 перепозвання 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 розрізу 1-1 1915кН (із застосуванням запропонованого методу врахування просторового ефекту при розрахунках стійкості ґрунтових укосів або схилів дефіцит сил склав 1620 кН);
- для розрізу 2-2 1896кН (із застосуванням запропонованого методу – 1585кН);
- для розрізу 3-3 1974кН (із застосуванням запропонованого методу – 1625кН).

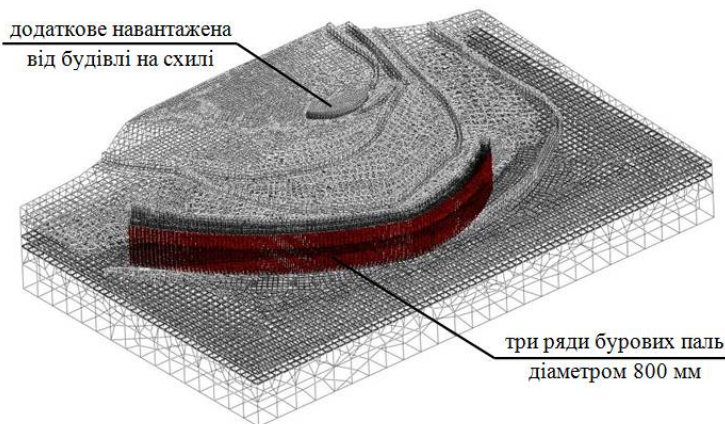


Рис. 2 Загальний вигляд розташування бурових паль протизсувної споруди «Грецького парку»

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 зусиль в 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 бетонної сумішшю марки C25/30 на сульфатостійкому портландцементі з маркою по морозостійкості і водонепроникності F150 і W6 відповідно, з установкою зварних металевих каркасів з поздовжньою арматурою класу A500C і поперечною арматурою класу A240C.

За результатами підбору армування для тривимірної схеми було отримано:

– поздовжня арматура S1 – 12Ø22;

– поперечна арматура SW – Ø12, крок поперечної арматури 150 мм.

Захисний шар бетону для поздовжньої арматури прийнято 50 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 моменту 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 поздовжньої, 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).

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 укусу «Грецького парку».

Таблиця 3

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

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

За результатами підбору армування для двовимірної схеми було отримано:

– поздовжня арматура S1 – 12Ø25;

– поперечна арматура SW – Ø14, крок поперечної арматури 100 мм.

Захисний шар бетону для поздовжньої арматури прийнято 50 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 моменту 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 [46] і Janbu [44] 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:

– зниження глибини закладення паль «h», в ґрунти що не зміщуються, відповідно до зменшення довжини палі і глибини буріння свердловини, скорочення вартості і термінів виконання робіт;

– збільшення граничної відстані «b» між утримуючими елементами (палями), відповідно до зменшення кількості бурових паль і об'ємів матеріалів для їх виготовлення;

– 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 поздовжньої, так і поперечної арматури.

**У третьому розділі** «Розрахунки стійкості однорідних ґрунтових споруд» виконані розрахунки однорідних ґрунтових насипів. Висоти споруд прийняті 8, 10, 12, 14 і 16 м. Що стосується південної території України, а саме Одеси і Одеської області, топографічні і геологічні умови не дозволяють зводити насипи більшої висоти, так як це є економічно недоцільним.

Ширина гребеня насипу прийнята постійною і становить 15,0 м. Закладання укосів прийняті постійними, тобто незалежними від висоти споруди.

При розрахунках стійкості в тривимірній постановці, враховувалися кут нахилу укосів, що примикають до насипу в поздовжньому напрямку « $\alpha$ », ширина споруди в основі «a» і протяжність насипу «b» (рис. 3).

Вихідні дані з геометричними розмірами розрахункових схем для тривимірної задачі представлені в таблиці 5. Кути нахилу сусідніх укосів до насипу в поздовжньому напрямку « $\alpha$ » прийняті  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $35^\circ$  та  $40^\circ$ .

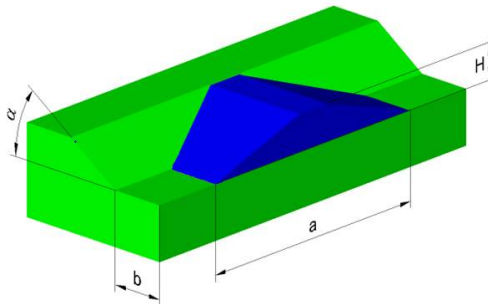


Рис. 3 Параметри вихідних даних

Також в якості вихідних даних були задані фізико-механічні характеристики ґрунтів тіла і основи насипу. Характеристики міцності вибиралися, виходячи з умови забезпечення стійкості укосу насипу, і приймалися такими, щоб коефіцієнт запасу стійкості був більше, але близький до одиниці. Зазначений критерій був прийнятий з умови наочності отриманих результатів розрахунків.

Результатами розрахунків стійкості однорідного ґрунтового насипу є величина коефіцієнта запасу стійкості « $K_C$ » і зона розташування максимальних дотичних напружень, яка вказує місце положення передбачуваної кривої обвалення.

Аналізуючи отримані результати, було відзначено, що значення « $K_C$ » для тривимірних і двовимірних схем відрізняються в залежності від зміни довжини основи створу «b/a» і від кутів нахилу сусідніх укосів до насипу в поздовжньому

напрямку «а». Для аналізу зміни коефіцієнта запасу стійкості були побудовані графіки залежності значення « $K_C$ » (розташовані уздовж вертикальної осі) від зміни кута « $\alpha$ » і відношення протяжності насипу «b» до ширини споруди в основі «a» (розташовані вздовж горизонтальної осі). Приклад графіка, для однорідного ґрунтового насипу висотою  $H = 8,0$  м, представлений на рисунку 4. Значення коефіцієнта запасу стійкості, отриманого при розрахунках двовимірних схем, виділено «товстою» горизонтальною лінією. Аналогічні графіки були побудовані для висот насипів 10, 12, 14 та 16 м.

Таблиця 5

Вихідні дані з геометричними розмірами розрахункових схем для тривимірної задачі

|                       |   |      |      |      |      |      |     |
|-----------------------|---|------|------|------|------|------|-----|
| Висота насипу, м      | Н | 8,0  | 10,0 | 12,0 | 14,0 | 16,0 | b/a |
| Закладання укосів     |   | 2,5  |      |      |      |      |     |
| Ширина споруди, м     | а | 55,0 | 65,0 | 75,0 | 85,0 | 95,0 |     |
| Протяжність насипу, м | b | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0 |
|                       |   | 5,5  | 6,5  | 7,5  | 8,5  | 9,5  | 0,1 |
|                       |   | 11,0 | 13,0 | 15,0 | 17,0 | 19,0 | 0,2 |
|                       |   | 16,5 | 19,5 | 22,5 | 25,5 | 28,5 | 0,3 |
|                       |   | 22,0 | 26,0 | 30,0 | 34,0 | 38,0 | 0,4 |
|                       |   | 27,5 | 32,5 | 37,5 | 42,5 | 47,5 | 0,5 |
|                       |   | 33,0 | 39,0 | 45,0 | 51,0 | 57,0 | 0,6 |
|                       |   | 38,5 | 45,5 | 52,5 | 59,5 | 66,5 | 0,7 |
|                       |   | 44,0 | 52,0 | 60,0 | 68,0 | 76,0 | 0,8 |
|                       |   | 49,5 | 58,5 | 67,5 | 76,5 | 85,5 | 0,9 |
|                       |   | 55,0 | 65,0 | 75,0 | 85,0 | 95,0 | 1,0 |

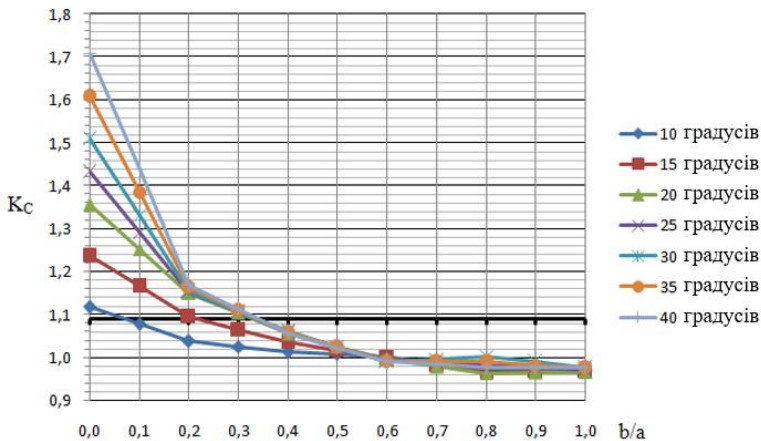


Рис. 4 Графік зміни коефіцієнта запасу стійкості « $K_C$ » для однорідного ґрунтового насипу висотою  $H = 8,0$  м. Значення коефіцієнта запасу стійкості для двовимірної схеми  $K_C = 1,089$

При подальшому розгляді отриманих результатів було визначено процентне відхилення результатів розрахунків стійкості однорідних ґрунтових насипів в тривимірній постановці завдання в залежності від результатів, отриманих за двовимірними схемами.

Аналізуючи представлений графік (рис. 4), відмічено що:

- при відношенні  $b/a = 0$  значення коефіцієнта запасу стійкості « $K_C$ », отриманого в результаті розрахунку тривимірної схеми, збільшується і в значній мірі (за певних умов більш 50%) відрізняється від « $K_C$ », отриманого за двовимірною схемою;

- при визначенні « $K_C$ » в тривимірній схемі, для  $b/a = 0 \div 0,2$ , значний вплив оказує кут нахилу укосів « $\alpha$ », що примикають до насипу в поздовжньому напрямку;

- при відношенні  $b/a = 0,4 \div 1,0$ , значення коефіцієнта запасу стійкості « $K_C$ », отриманого в результаті розрахунку тривимірної схеми, менше « $K_C$ », отриманого за двовимірною схемою;

- при збільшенні відношення  $b/a$ , кут нахилу « $\alpha$ » сусідніх укосів до насипу в поздовжньому напрямку практично не впливає на значення коефіцієнта запасу стійкості однорідного ґрунтового насипу;

- при розрахунках стійкості ґрунтових насипів за двовимірними схемами у вузьких каньйонах, при відношенні  $b/a = 0$ , отримане значення « $K_C$ » дає значний запас стійкості (при певних умовах більше 50%);

- при розрахунках стійкості протяжних ґрунтових насипів за двовимірними схемами, при відношенні  $b/a = 0,4$  і більше, отримане значення « $K_C$ » дає завищений результат (за певних умов більше 14%), що може призвести до порушення цілісності проєктованої споруди.

**У четвертому розділі** «Експериментально-статистична модель врахування просторових ефектів» виконані розрахунково-експериментальні дослідження факторів, що впливають на величину поправочного коефіцієнта « $K_{\Pi}$ », який міг би дозволити враховувати просторову роботу споруди в залежності від її геометричних характеристик. Об'єктом дослідження є числова модель ґрунтового насипу.

В експериментах вивчався вплив трьох чинників на величину поправочного коефіцієнта (рис. 3):

- висота насипу « $H$ », м;

- кут нахилу укосів, що примикають до насипу в поздовжньому напрямку « $\alpha$ », град.;

- відношення довжини насипу « $b$ » до ширини споруди в основі « $a$ ».

У представленій роботі обраний один з традиційних планів технічного експерименту – повнофакторний план  $3^3$ , що одержується при дослідженні впливу кожного з трьох факторів на трьох рівнях. Число дослідів –  $N = 27$ .

Матриця планування і результати експерименту (значення поправочних коефіцієнтів « $K_{\Pi}$ », визначених за тривимірною схемою) наведені в таблиці 6.

Аналіз результатів експерименту проводився за допомогою розділу «Планування експерименту» модуля «Промислова статистика» програмного комплексу «STATISTICA».

В роботі розглядались моделі без урахування взаємодій чинників та з урахуванням взаємодії лінійних членів моделі. Аналізуючи отримані результати відмічено, що вказані моделі недостатньо адекватно описують взаємозв'язок між факторами і залежною змінною, так як коефіцієнти детермінації дорівнюють 0,799 і 0,925 відповідно. Для подальшого аналізу в модель включена взаємодія лінійних і квадратичних членів моделі. Пропонована модель в цілому адекватно описує взаємозв'язок між факторами і залежною змінною, так як коефіцієнт детермінації склав 0,983.

Виключаючи статистично незначущі елементи, була отримана більш проста залежність відображена в таблиці 7. Виключаючи статистично незначущі елементи, була отримана більш проста залежність відображена в таблиці 7.

Таблиця 6

Матриця планування і результати експерименту

| Точка плану | Умови планування |          |     | Значення<br>$K_{\Pi}$ |
|-------------|------------------|----------|-----|-----------------------|
|             | H                | $\alpha$ | b/a |                       |
| 1           | 8,0              | $10^0$   | 0,0 | 1,026                 |
| 2           | 8,0              | $10^0$   | 0,5 | 0,926                 |
| 3           | 8,0              | $10^0$   | 1,0 | 0,892                 |
| 4           | 8,0              | $25^0$   | 0,0 | 1,315                 |
| 5           | 8,0              | $25^0$   | 0,5 | 0,942                 |
| 6           | 8,0              | $25^0$   | 1,0 | 0,891                 |
| 7           | 8,0              | $40^0$   | 0,0 | 1,569                 |
| 8           | 8,0              | $40^0$   | 0,5 | 0,939                 |
| 9           | 8,0              | $40^0$   | 1,0 | 0,897                 |
| 10          | 12,0             | $10^0$   | 0,0 | 1,048                 |
| 11          | 12,0             | $10^0$   | 0,5 | 0,915                 |
| 12          | 12,0             | $10^0$   | 1,0 | 0,867                 |
| 13          | 12,0             | $25^0$   | 0,0 | 1,128                 |
| 14          | 12,0             | $25^0$   | 0,5 | 0,921                 |
| 15          | 12,0             | $25^0$   | 1,0 | 0,863                 |
| 16          | 12,0             | $40^0$   | 0,0 | 1,303                 |
| 17          | 12,0             | $40^0$   | 0,5 | 0,918                 |
| 18          | 12,0             | $40^0$   | 1,0 | 0,854                 |
| 19          | 16,0             | $10^0$   | 0,0 | 1,070                 |
| 20          | 16,0             | $10^0$   | 0,5 | 0,918                 |
| 21          | 16,0             | $10^0$   | 1,0 | 0,860                 |
| 22          | 16,0             | $25^0$   | 0,0 | 1,163                 |
| 23          | 16,0             | $25^0$   | 0,5 | 0,930                 |
| 24          | 16,0             | $25^0$   | 1,0 | 0,883                 |
| 25          | 16,0             | $40^0$   | 0,0 | 1,441                 |
| 26          | 16,0             | $40^0$   | 0,5 | 0,945                 |
| 27          | 16,0             | $40^0$   | 1,0 | 0,860                 |

У таблиці 7 позначено: « $X_1$ » і « $X_1^2$ » – відповідно лінійний і квадратичний члени зміни висоти насипу; « $X_2$ » і « $X_2^2$ » – відповідно лінійний і квадратичний члени зміни кута нахилу укосів, що примикають до насипу в поздовжньому напрямку; « $X_3$ » і « $X_3^2$ » – відповідно лінійний і квадратичний члени зміни відношення протяжності насипу «b» до ширини споруди в основі «a».

Таблиця 7

Результати аналізу експерименту з урахуванням перетворень моделі

| Фактор              | Коефіцієнт детермінації R-кв.=0,95005 |                 |                 |                    |                    |
|---------------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------------|
|                     | Регрес. коеф.                         | Ст.Пом.         | p               | -95, %<br>Дов.Пред | +95, %<br>Дов.Пред |
| Серед/Св.член       | <b>0,928222</b>                       | <b>0,015839</b> | 0,000000        | <b>0,895283</b>    | <b>0,961162</b>    |
| $X_3$               | <b>-0,177556</b>                      | <b>0,011200</b> | 0,000000        | <b>-0,200847</b>   | <b>-0,154264</b>   |
| $X_3^2$             | <b>0,082278</b>                       | <b>0,025044</b> | <b>0,003529</b> | <b>0,030196</b>    | <b>0,134360</b>    |
| $X_1^2 \cdot X_3^2$ | <b>0,061750</b>                       | <b>0,023759</b> | <b>0,016752</b> | <b>0,012341</b>    | <b>0,111159</b>    |
| $X_2 \cdot X_3$     | <b>-0,098083</b>                      | <b>0,013717</b> | 0,000000        | <b>-0,126610</b>   | <b>-0,069557</b>   |
| $X_2 \cdot X_3^2$   | <b>0,096750</b>                       | <b>0,013717</b> | <b>0,000001</b> | <b>0,068223</b>    | <b>0,125277</b>    |

З урахуванням величини коефіцієнта детермінації R-кв = 0,95 можна говорити про адекватність моделі. Модель взаємозв'язку чинників та залежної змінної зі значущими коефіцієнтами має вигляд:

$$K_{\Pi} = 0.9282 - 0.1776 \cdot X_3 + 0.0823 \cdot X_3^2 + 0.0618 \cdot X_1^2 \cdot X_3^2 - 0.0981 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0.0968 \cdot X_2 \cdot X_3^2 \quad (1)$$

Переведення рівняння у вид з натуральними змінними можна здійснити заміною наступних елементів:

$$X_1 = \frac{H - 12}{4} \quad (2) \quad X_2 = \frac{\alpha - 25}{15} \quad (3) \quad X_3 = \frac{b/a - 0.5}{0.5} \quad (4)$$

Величини « $\alpha$ » в залежності (3) підставляються в градуслах, «H» в залежності (2) – в метрах.

Остаточна ЕС-модель з параметрами, вираженими натуральними величинами, матиме вигляд:

$$K_{\Pi} = 1.42 + A \cdot (0.1 \cdot B - 0.2) \cdot (B - 1) + B \cdot 2 \cdot (0.062 \cdot hk + 0.48) - B \cdot (0.124 \cdot hk + 0.97) + 0.062 \cdot hk, \quad (5)$$

де:  $A = \alpha/15$ ;  $B = 2 \cdot b/a$ ;  $hk = (H/4)^2 - (H/4)$ .

**У п'ятому розділі** «Методика врахування просторового ефекту при статичних розрахунках стійкості укосів ґрунтових споруд» запропоновано методику розрахунку стійкості ґрунтового укосу за двовимірними схемами при застосуванні виведеного поправочного коефіцієнта, який дозволяє в достатній мірі оцінити ступінь стійкості розрахункової споруди з урахуванням її геометричних особливостей.

Для розробки методики розрахунку стійкості укосів ґрунтових споруд за двовимірними схемами інженерними методами, з урахуванням їхніх топографічних особливостей, було прийнято рішення про виявлення змінного коефіцієнта, який міг би дозволити враховувати просторову роботу споруди в залежності від її геометричних характеристик.

Для цього були побудовані графіки, які дають можливість визначити величину шуканого коефіцієнта, який можна використовувати для уточнення значення коефіцієнта запасу стійкості, отриманого в результаті розрахунків однорідних ґрунтових спорудах за двовимірними схемами.

Приклад графіка для визначення поправочного коефіцієнта « $K_{\Pi}$ » для висоти насипу 10,0 м представлений на рисунку 5.

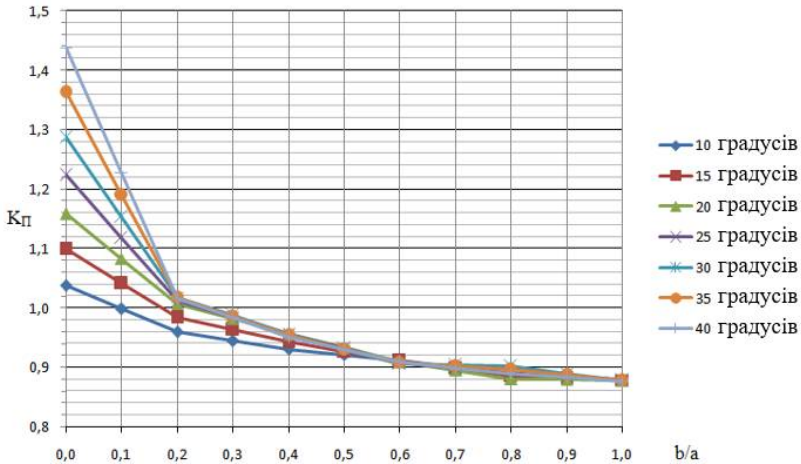


Рис. 5 Графік визначення поправочного коефіцієнта « $K_{\Pi}$ » для однорідного ґрунтового насипу висотою  $H = 10,0$  м

На графіку по горизонтальній осі відкладається значення відношення протяжності насипу « $b$ » до ширини споруди в основі « $a$ », по осі ординат – значення поправочного коефіцієнта « $K_{\Pi}$ ». Значення коефіцієнта « $K_{\Pi}$ » для проміжних значень висот і кутів нахилу « $\alpha$ » можна визначати шляхом лінійної інтерполяції. Також, значення поправочного коефіцієнта « $K_{\Pi}$ » може бути визначено за формулою 5, виведеною в результаті проведення математичного планування експерименту в розділі 4.

Таким чином, при визначенні коефіцієнта запасу стійкості « $K_C$ », отриманого для двовимірної задачі, необхідно його уточнювати в залежності від геометричних характеристик розрахункової споруди (висота, кут нахилу сусідніх укосів до насипу в поздовжньому напрямку, відношення протяжності насипу до ширини споруди в основі), шляхом множення на поправочний коефіцієнт « $K_{\Pi}$ », отриманий в даній роботі дослідним шляхом:

$$K_C^H = K_C \cdot K_{\Pi}, \quad (6)$$

де:  $K_C^H$  – наведене значення коефіцієнта запасу стійкості укосу ґрунтової споруди з урахуванням його просторового ефекту.

Розроблена і запропонована в роботі методика розрахунку стійкості укосів ґрунтових споруд за двовимірними схемами з урахуванням просторового ефекту (висота насипу або схилу, кут нахилу сусідніх укосів до насипу в поздовжньому напрямку, відношення протяжності насипу до ширини споруди в основі) може бути застосована:

- при проектуванні протяжних ґрунтових насипів для автомобільних доріг, залізничних колій тощо;
- при проектуванні ґрунтових гребель, дамб обвалування тощо;
- при розрахунках стійкості ґрунтових схилів як штучної, так і природної будови.

Оцінюючи достовірність запропонованої методики, були виконані тестові розрахунки стійкості укосів з урахуванням різномірності ґрунтів (природна будова).

В якості вихідних даних, прийнято:

- висота схилу – 10 м;
- кут нахилу укосів, що примикають в поздовжньому напрямку –  $10^0$ ;
- ширина споруди в основі, позначена в роботі через «а» – 60 м;
- відношення довжини схилу до його ширини в основі «b/a» – 0, 0,5, 1.

Загальний вигляд розрахункової схеми представлений на рис. 6.

В результаті розрахунків для трьох розрахункових випадків в тривимірній постановці завдання були отримані значення коефіцієнтів запасу стійкості « $K_C$ »:

- при  $b/a = 1,0$  – « $K_C$ » = 1,353;
- при  $b/a = 0,5$  – « $K_C$ » = 1,483;
- при  $b/a = 0,0$  – « $K_C$ » = 1,658.

Значення коефіцієнта запасу стійкості « $K_C$ », отриманого за двовимірною схемою, склало 1,564.

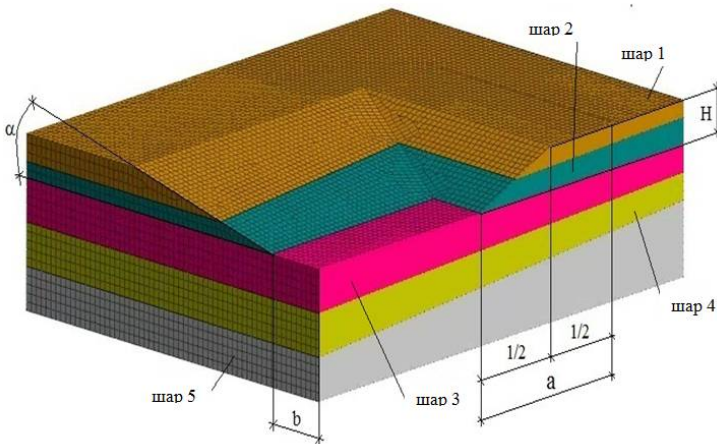


Рис. 6 Параметри вихідних даних

Далі для розглянутої математичної моделі різномірного ґрунтового схилу були визначені наведені значення коефіцієнтів запасу стійкості « $K_C^H$ » по запропонованій формулі (5). Значення поправочних коефіцієнтів « $K_{\Pi}$ » приймалися за графіком рис. 6 і за виведеною формулою (6). Результати розрахунків зведені в таблицю 8.

Таблиця 8

Значення коефіцієнтів « $K_C^H$ » для тестової задачі

| Метод визначення поправочного коефіцієнта | « $K_C^H$ » для висоти укусу $H=10\text{м}$ , кут $\alpha=10^\circ$ |                           |                           |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                                           | $b/a=0,0$                                                           | $b/a=0,5$                 | $b/a=1,0$                 |
| Рисунок 6                                 | $1,564 \cdot 1,038=1,623$                                           | $1,564 \cdot 0,921=1,440$ | $1,564 \cdot 0,880=1,376$ |
| Формула 6                                 | $1,564 \cdot 1,011=1,581$                                           | $1,564 \cdot 0,930=1,455$ | $1,564 \cdot 0,858=1,342$ |

Для аналізу отриманих результатів були побудовані графіки зіставлення значень коефіцієнтів запасу стійкості, отриманих за результатами розрахунків тестового завдання і пропонованої методики (рис. 5).

На графіку (рис. 7) по горизонтальній осі відмічено відношення протяжності схилу до його ширини в основі « $b/a$ », по вертикальній осі – значення коефіцієнтів « $K_C^H$ ». У відсотковому відношенні відхилення отриманих результатів розрахунків від запропонованої методики, склало:

- для  $b/a=1,0$  – 2,6% (за формулою 6) та 1,7% (по рисунку 5);
- для  $b/a=0,5$  – 1,0% (за формулою 6) та 3,0% (по рисунку 5);
- для  $b/a=0,0$  – 2,6% (за формулою 6) та 2,1% (по рисунку 5).

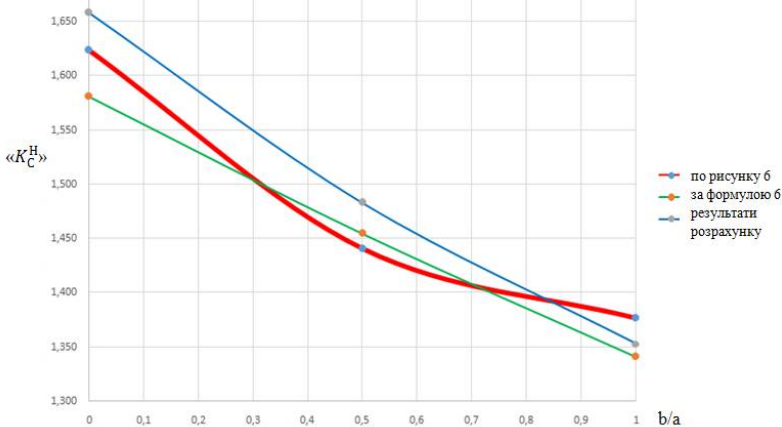


Рис. 7 Зіставлення значень коефіцієнтів запасу стійкості

Запропонована методика розрахунку стійкості укусів ґрунтових споруд за двовимірними схемами при застосовуванні виведеного поправочного коефіцієнта дозволяє в достатній мірі оцінити ступінь стійкості розрахункової споруди з урахуванням її геометричних особливостей. Застосовуючи запропоновану методику

в розрахунках стійкості укосів ґрунтових споруд, в значній мірі можна зменшити трудовитрати, необхідні для створення і розрахунку тривимірних моделей.

Формула (6) для визначення наведеного значення коефіцієнта запасу стійкості може бути застосована для розрахунків стійкості як однорідних, так і різнорідних ґрунтових насипів або схилів, геометричні характеристики яких розглянуті в представленій роботі.

## **ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ**

1. Виявлено вплив форми ґрунтових укосів на значення коефіцієнта запасу стійкості. Виконання розрахунків ґрунтових укосів в тривимірній постановці завдання, з урахуванням форми ґрунтових укосів в просторі, дає результати наближені до реальності, на відміну від результатів, отриманих загальноприйнятими і поширеними інженерними методами за двовимірними схемами.

2. При розрахунках стійкості укосів однорідних ґрунтових споруд з урахуванням їх просторової роботи, в певних умовах, значення коефіцієнта запасу стійкості, отриманого в результаті розрахунку тривимірної схеми, дає значний запас стійкості відносно двовимірних розрахунків (іноді більше 50%). Вказаний фактор може призводити до необґрунтованого зростання вартості проєктованої ґрунтової споруди за рахунок збільшення об'ємів використовуваних матеріалів і відповідно кількості трудових витрат. Також, при розрахунках стійкості протяжних ґрунтових насипів за двовимірними схемами, отримане значення коефіцієнта запасу стійкості може давати завищений результат (за певних умов більше 14%), що може призвести до порушення цілісності проєктованої споруди.

3. Створена експериментально-статистична модель врахування просторових ефектів при двовимірних розрахунках стійкості ґрунтових укосів. Виконано аналіз отриманої ЕС-моделі і перевірка її коректності. В цілому зазначена ЕС-модель достовірно описує залежність поправочного коефіцієнта від факторів протяжності розрахункового схилу або укосу ґрунтової споруди та кута нахилу укосів, що примикають до насипу в поздовжньому напрямку.

4. Розроблено та запропоновано для використання метод врахування просторового ефекту при статичних розрахунках стійкості укосів ґрунтових споруд. Застосовуючи запропонований метод в розрахунках стійкості ґрунтових укосів, в значній мірі можна зменшити трудовитрати, необхідні для створення і розрахунку тривимірних моделей.

5. Розроблений метод було використано при виконанні робочого проєкту інженерного захисту схилу на території Греського (Місячного) парку в межах кордонів вулиць: Військового спуску, Приморського бульвару, вул. Приморської, Потьомкінських сходів м. Одеси; при виконанні утримуючих споруд в районі нового будівництва адміністративної будівлі, допоміжних споруд та інфраструктури для відпочинку, рекреаційно-оздоровчого призначення за адресою: м Одеса, 13 ст. В. Фонтану (район пляжу «Курортний»).

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:*

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Великий Д. И. Влияние пространственной модели откосов грунтовых плотин на результаты расчетов их устойчивости / Д. И. Великий, В. Г. Бааджи, А. Г. Гайсюк, А. А. Матвиенко // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2018, № 71, С.149-153 (індексуються наукометричною базою Index Copernicus). *Особистий внесок здобувача – сформульовано цілі та завдання дослідження, проведення розрахунків.*

2. Великий Д. И. Устойчивость откосов грунтовых плотин с учетом их пространственной работы / Д. И. Великий // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2016, № 64, С.160-164 (індексуються наукометричною базою Index Copernicus).

3. Осадчий В. С. Определение зоны центров окружностей кривых скольжения для однородных грунтовых плотин с учетом сейсмических воздействий / В. С. Осадчий, К. И. Анисимов, Д. И. Великий // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2016, № 63, С.230-234 (індексуються наукометричною базою Index Copernicus). *Особистий внесок здобувача – сформульовано цілі та завдання дослідження, проведення розрахунків.*

4. Дмитриев С. В. Экспериментальные исследования влияния периодических изменений температуры фильтрующей воды на пьезометрические напоры / С. В. Дмитриев, Д. И. Великий, А. С. Бондаренко // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2015, № 60, С.79-85. *Особистий внесок здобувача – проведення експериментальних досліджень, обробка результатів.*

5. Великий Д. И. Влияние различных факторов на значения коэффициента устойчивости и положение центров опасных кривых скольжения при расчетах откосов грунтовых плотин / Д. И. Великий, С. В. Дмитриев // Вісник Одеського національного морського університету, 2015, №2(44), С.90-96. *Особистий внесок здобувача – сформульовано цілі та завдання дослідження, проведення експериментальних досліджень, обробка результатів.*

6. Бондаренко А. В. Сравнительный анализ расчета устойчивости однородных грунтовых плотин для плоской и объемной задач / А. В. Бондаренко, Д. И. Великий, К. В. Егупов, В. П. Слободянюк // Будівельні конструкції: міжвідомчий науково-технічний збірник. – Київ, 2012, № 76, С.320-325. *Особистий внесок здобувача – сформульовано цілі та завдання дослідження, проведення розрахунків, обробка результатів.*

## Стаття у науковому періодичному виданні іншої держави

7. Anisimow K. Krzywa depresji w gruntowych zaporach wodnych przy uwzględnieniu sezonowych zmian temperatury / K. Anisimow, S. Dmitrijew, V. Osadczy, D. Velyky // Inżynieria Morska i Geotechnika. – Drukarnia MISIURO Zbigniew MisioroPL, 2016. – NR 4. – P. 230-233. *Особистий внесок здобувача – сформульовано цілі та завдання дослідження, проведення розрахунків, обробка результатів.*

## *Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації*

8. Анисимов К. И. Вопросы реконструкции дамбы Хаджибейского лимана / К. И. Анисимов, В. Г. Бааджи, Д. И. Великий, А. С. Салтыкова, П. Б. Айсман, В. Д. Шуминский // Збірник тез міжнародної науково-технічної конференції «Гідротехнічне і транспортне будівництво». – Одеса, 2019, – С.3-7.

9. Великий Д. И. Устойчивость откосов грунтовых плотин с учетом их пространственной работы / Д. И. Великий // Збірка тез доповідей міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої 90-річчю з дня народження професора В. К. Єгупова: «Проблеми теорії та практики сейсмостійкого будівництва». – Одеса, 2016, – С.21.

## АНОТАЦІЯ

Великий Д. І. Стійкість ґрунтових споруд з урахуванням просторового ефекту. – Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди». – Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, 2020.

На основі аналізу ряду робіт по двовимірному і тривимірному моделюванню ґрунтових укосів показано, що оцінка стійкості зсувних схилів є складним, відповідальним і маловивченим завданням.

Виконання розрахунків укосів ґрунтових споруд в тривимірній постановці завдання дає результати, наближені до реальності, на відміну від результатів, отриманих загальноприйнятими і поширеними інженерними методами за двовимірними схемами. Однією з важливих переваг просторової оцінки стійкості ґрунтових споруд є те, що такий розрахунок дозволяє прогнозувати розвиток зсувного процесу не тільки по глибині досліджуваного розрізу ґрунтового масиву, але і в плані.

Представлені дослідження передбачають створення методики розрахунку, заснованої на інженерних методах розрахунку, яка зможе враховувати вплив форм рельєфу без використання громіздкого і дорогого програмного забезпечення і значних розрахункових ресурсів. Коригування існуючої методики обумовлено введенням в розрахункову формулу визначення коефіцієнта запасу стійкості поправочного коефіцієнта у вигляді функції, значення якого відповідає параметру, вибраному відносно геоморфологічної ситуації досліджуваної форми рельєфу.

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

## АННОТАЦИЯ

Великий Д. И. Устойчивость грунтовых сооружений с учетом пространственного эффекта. – Квалификационная научная работа на правах рукописи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения». – Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Одесса, 2020.

Определение коэффициента запаса устойчивости может осуществляться как аналитическими, так и графоаналитическими методами. В большинстве случаев расчет устойчивости склонов, откосов грунтовых сооружений и определение коэффициента запаса устойчивости производится для плоских сечений, построенных по линиям, совпадающим с наиболее вероятным направлением смещения оползневого тела.

Начало развития направления по математическому моделированию устойчивости склонов было положено Кулоном в 1773 г., когда им было сформулировано условие прочности фундамента исходя из предельного равновесия призмы обрушения. Первый способ расчета устойчивости склонов, основанный на принципе Кулона, был предложен в 1820 г. Однако спустя почти два века оценка устойчивости склонов по-прежнему остается сложной задачей в геотехнике. В настоящее время существует более 100 методов расчетов устойчивости склонов.

Наиболее распространенные методы, которые применяются в расчетах устойчивости откосов грунтовых сооружений в плоской постановке задачи, являются самыми используемыми из-за их простоты, однако эти методы основаны на принятии некоторых допущений.

На основе анализа ряда работ по двухмерному и трехмерному моделированию откосов грунтовых сооружений показано, что оценка устойчивости оползневых склонов является сложной, ответственной и малоизученной задачей.

Выполнение расчетов откосов грунтовых сооружений в трехмерной постановке задачи, дает результаты, приближенные к реальности, в отличие от результатов, полученных общепринятыми и распространенными инженерными методами по плоским схемам. Это объясняется тем, что объемная постановка задачи учитывает комбинации инженерно-геологических условий всего склона. Трехмерное моделирование грунтовых откосов также позволяет учитывать факторы, оказывающие существенное влияние на устойчивость, которые нельзя учесть при двухмерном моделировании (особенности топографии, наличие подрезки склонов, оврагов, яров, точечных строительных конструкций и т.п.).

Одним из важных преимуществ пространственной оценки устойчивости откосов грунтовых сооружений является то, что такой расчет позволяет прогнозировать развитие оползневого процесса не только по глубине исследуемого разреза грунтового массива, но и в плане.

Учитывая значительные трудозатраты и используемые ресурсы для создания расчетной модели с учетом форм рельефа в трехмерной постановке, можно сделать однозначный вывод о невозможности использования «ручного» счета, вследствие его громоздкости. Значительная стоимость специализированного программного обеспечения и отсутствие при этом недорогих расчетных модулей отечественного производства, также, не способствует широкому распространению в практике геотехнических расчетов устойчивости откосов по трехмерным схемам. Однако, преимуществом перед традиционными методами предельного равновесия, является универсальный подход применительно к различным критериям прочности пород и соблюдение принципов теоретической механики, что позволяет с высокой точностью моделировать разнообразные геомеханические процессы в грунтовом массиве.

В качестве иллюстрационной модели, для расчетов устойчивости, было принято решение рассматривать однородное грунтовое сооружение. При расчетах устойчивости в трехмерной постановке, учитывались угол залегания примыкающих откосов к насыпи в продольном направлении, ширина сооружения в основании и протяженность насыпи. Расчеты устойчивости грунтовой насыпи по двухмерной и трехмерной схемам выполнялись с использованием лицензионной программы Midas GTS NX, при поддержке сотрудников ООО «ГИДРОТЕХПРОЕКТ» г. Харьков.

В результате расчетов устойчивости однородных грунтовых насыпей по двухмерным и трехмерным схемам были получены значения коэффициентов запаса устойчивости « $K_y$ ». Анализируя полученные результаты, было отмечено, что значения « $K_y$ » для трехмерных и двухмерных схем отличаются в зависимости от изменения длины основания створа и от углов наклона примыкающих откосов к насыпи в продольном направлении и при определенных условиях их отличие может составлять более 50%.

Для разработки методики расчета устойчивости грунтовых откосов по двухмерным схемам инженерными методами, с учетом их топографических особенностей, было принято решение о выявлении поправочного коэффициента, который мог бы позволить учитывать пространственную работу сооружения в зависимости от его геометрических характеристик.

Предложенная методика предполагает, что при определении коэффициента запаса устойчивости « $K_y$ », полученного для двумерной задачи, необходимо его уточнять в зависимости от геометрических характеристик расчетного сооружения (высота, угол наклона примыкающих откосов к насыпи в продольном направлении, отношения протяженности насыпи к ширине сооружения в основании), путем умножения на поправочный коэффициент « $K_{\Pi}$ », полученный в данной работе опытным путем.

Ключевые слова: грунтовые сооружения, коэффициент запаса устойчивости, искусственная насыпь, оползневой склон, грунтовый откос, устойчивость, формы рельефа, метод расчета, трехмерная схема, двухмерная схема.

## ABSTRACT

Velikiy D.I. Stability of soil structures taking into account the spatial effect. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript. The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.23.01 «Building structures, buildings and structures». – Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa, 2020.

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 the slopes of soil structures 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. One of the important advantages of spatial assessment of the stability of soil structures is that such a calculation allows to predict the development of the landslide process not only by the depth of the investigated section of the soil mass, but also in plan.

The presented research provides for the creation of a calculation method based on engineering calculation methods, which will be able to take into account the influence of landforms without the use of cumbersome and expensive software and significant calculation resources. The adjustment of the existing method is due to the introduction into the calculation formula for determining the coefficient of stability of the correction factor in the form of a function whose value corresponds to the parameter selected relative to the geomorphological situation of the studied landform.

Key words: ground structures, safety factor, artificial embankment, landslide slope, soil slope, relief forms, calculation method, three-dimensional scheme, two-dimensional scheme.