

**ПРОТИЗСУВНІ ЗАХОДИ ДІЛЯНКИ СХИЛУ ОДЕСЬКОГО УЗБЕРЕЖЖЯ**

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

<sup>1</sup>**Анісімов К.І.**, доцент,  
anisimov@odaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-0447-3927

<sup>1</sup>**Бааджи В.Г.**, асистент,  
baadzhi@odaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-6974-9082

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

<sup>1</sup>*Одеська державна академія будівництва та архітектури*  
вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, 65029, Україна

**Анотація.** В роботі виконані розрахунки стійкості ділянки зсувного схилу Одеського узбережжя. Ділянка розташована в Київському районі м.Одеса та примикає до дитячого оздоровчо-спортивного табору «Вікторія». Територія охоплює прибережну частину плато, терасовий схил і ділянку пляжу. В рельєфі схилу виділяються штучно створені тераси та берми, у підніжжі схилу місцями збережений природний пляж.

Особливості даної ділянки полягають в складних інженерно-геологічних (блокова будова схилу, лесові просадні ґрунти) і гідрогеологічних (кілька водоносних горизонтів, високий рівень підземних вод) умовах. Раніше, до проведення комплексу протизсувних заходів, на цій території відбувалися масштабні глибинні зсуви ковзання та видавлювання. Частково виконані заходи інженерного захисту, що полягали в плануванні поверхні схилу та влаштуванні берегоукріплення, не призвели до повної стабілізації зсувних процесів.

В теперішній час на зсувному схилі відбуваються незатухаючі повільно текучі деформації. Ці деформації пов'язані з блоковою будовою схилу, гідрогеологічними умовами, а також реологічними властивостями меотичних глин. Стабілізація зсувних процесів можлива тільки при комплексному підході в призначенні протизсувних заходів.

Оцінка стійкості схилу та призначення протизсувних заходів були виконані з врахуванням особливостей інженерно-геологічної будови, гідрогеологічних умов, а також результатів натурного обстеження схилу. Розрахунки стійкості схилу виконувались за плоскими схемами методами Бішопа та Ямбу. Також розрахунки проводились у тривимірній постановці методом скінченних елементів в геотехнічному програмному комплексі Midas GTS NX. Поведінка ґрунту в розрахунковій схемі описувалась пружно-пластичною моделлю Мора-Кулона. Ця модель заснована на залежності між швидкістю зміни ефективних напружень і швидкістю деформацій.

Запропоновано комплекс протизсувних заходів, що включає: влаштування поглинаючих свердловин на плато, для зниження рівня ґрунтових вод; влаштування нижнього та верхнього ярусів паль-шпонок з вертикальним дренажем над ними; організоване відведення зливових вод з поверхні схилу; планування та кріплення поверхні схилу.

**Ключові слова:** схил, зсув, розрахункова схема, коефіцієнт запасу стійкості, протизсувні заходи, паля-шпонка, дренаж.

**Вступ.** Зсуви відносяться до одного з найпоширеніших та дуже небезпечних екзогенних геологічних процесів. Вони створюють загрозу руйнування будівель та споруд, пошкодження автомобільних і залізничних шляхів, втрати цінних сільськогосподарських земель, травмування та загибелі людей. Зсуви можуть бути викликані як природними, так і антропогенними факторами. Основними природними причинами і чинниками, що

викликають формування та розвиток зсувних процесів є інженерно-геологічні та гідрогеологічні умови, клімат, абразія, ерозія, рельєф місцевості, сейсмічні впливи. Антропогенний вплив пов'язаний з додатковим навантаженням і динамічним впливом на схили під час будівельних робіт, надмірним обводненням зсувонебезпечних територій, витоків з водонесучих комунікацій.

На території України зсуви поширені на узбережжі Чорного і Азовського морів, берегах р.Дніпро, в Закарпатській, Івано-Франківській, Чернівецькій та інших областях. Площі зсувонебезпечних процесів за останні 30 років зросли в 5 разів. В Одеській області відзначена активізація зсувних процесів на ділянках схилів у містах Одеса та Чорноморськ, селищах Фонтанка, Чорноморка і Санжійка. Значне поширення зсувів на території нашої країни пояснюється її геологічною будовою та геоморфологічними умовами.

Освоєння зсувних та зсувонебезпечних ділянок можливе тільки після аналізу інженерно-геологічних і гідрогеологічних умов, обстеження території схилу та оцінки його стійкості. Отримані, в процесі комплексного вивчення схилу, результати повинні використовуватись при розробці протизсувних заходів. Розроблені протизсувні заходи повинні забезпечувати довготривалу стабілізацію зсувного схилу і нормативний коефіцієнт запасу стійкості в залежності від класу наслідків (відповідальності) об'єктів, що захищаються.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Вивченням і описом зсувів Одеського узбережжя займалась велика кількість вчених. За весь період вивчення зсувів одеського регіону було опубліковано більше 100 наукових робіт. Аналізу причин формування зсувів і розробці заходів зі стабілізації зсувних процесів присвячені роботи І.Ф. Синцова, О.К. Алексєєва, М.Ф. Бесчастного, І.Я. Яцько, А.М. Дранникова, Л.Б. Розовського, І.П. Зелінського, В.М. Воскобойнікова і багатьох інших авторів.

Ряд наукових праць направлений на встановлення закономірностей формування зсувів та оцінку ролі факторів, що впливають на розвиток зсувних процесів [1-3]. В роботі [1] дана загальна характеристика протизсувних заходів Одеського узбережжя. На основі даних багаторічних спостережень за роботою протизсувних споруд показано, що сучасна геодинаміка зсувних схилів визначається сполученням і взаємним зв'язком різних факторів, серед яких найбільше значення має мікроблокова будова зсувних накопичень [1, 2]. Методами лабораторного фізичного і математичного моделювання виявлений механізм формування зон розуцільнення в основному деформуємому горизонті зсувів випору. Описаний ефект зниження напорів меотичного водоносного горизонту, який приводить до зменшення швидкостей зсувних деформацій, що передують стадії основного зміщення. Доведена практична доцільність режимних спостережень за п'єзометричними рівнями меотичного водоносного горизонту в зв'язку з прогнозом зсувів [3].

В роботах [4, 5] розглядаються питання розрахунків стійкості зсувів з врахуванням пружно-пластичних властивостей ґрунтів, які моделюються за теорією течії зі зміцненням, при статичних навантаженнях на схил. Цей підхід дозволяє в повній мірі відображати реальні властивості ґрунтів. Робота [6] присвячена розвитку методів розрахунку схилів та зсувів, а також математичному моделюванню зсувних процесів при сейсмічних впливах.

В роботі [7], на основі аналізу результатів розрахунків реальних схилів м.Одеса, відмічений вплив форми схилу на величину коефіцієнта запасу стійкості. Автором розроблений метод розрахунку стійкості ґрунтових споруд і природних схилів за двовимірними схемами інженерними методами, з врахуванням їх геометричних особливостей.

Незважаючи на велику кількість існуючих методів розрахунків стійкості схилів і укосів, на сьогоднішній день немає єдиного підходу в питаннях вибору розрахункової схеми. Вибір методу розрахунку стійкості конкретного схилу залежить від інженерно-геологічних умов ділянки і типу зсувних деформацій.

Основні вимоги щодо вибору заходів інженерного захисту територій, будівель і споруд від зсувних та обвальних процесів, а також положення розрахунку протизсувних і протиобвальних споруд наведені в нормативних документах [8, 9].

**Мета дослідження.** Метою роботи є розрахунок стійкості ділянки зсувного схилу Одеського узбережжя та розробка комплексу протизсувних заходів для забезпечення загальної стійкості схилу.

**Методи досліджень.** Розрахунки стійкості схилу проводились чисельними методами. Оцінка стійкості в плоскій постановці виконана за методами Бішопа та Янбу за фіксованими кривими ковзання. Розрахунки напружено-деформованого стану схилу за методом скінчених елементів, з визначенням коефіцієнту запасу стійкості методом редукції, виконані в тривимірній постановці.

**Результати дослідження.** Ділянка зсувного схилу розташована в Київському районі м.Одеса та примикає до дитячого оздоровчо-спортивного табору «Вікторія». Територія охоплює прибровочну частину плато, терасовий схил і ділянку пляжу. Відмітки поверхні на пляжі становлять 0,0÷2,0 м, в прибровочній частині плато 40÷41 м. Ширина приморського схилу, від брівки плато до урізу, складає 130÷150 м. Сучасний рельєф древнього зсувного схилу сформований в результаті проведених протизсувних заходів в 1970÷1980рр., в складі яких були виконані часткова зрізка та планування поверхні схилу. В рельєфі схилу виділяються штучно створені тераси та берми, у підніжжі схилу місцями збережений природний пляж.

Схил в верхній частині представляє собою укіс з нахилом поверхні 0,30÷0,45, у підніжжі якого спланована берма шириною 15÷20 м на абсолютних позначках 22,5÷32,5 м. Берма закінчується крутим укосом з насипних ґрунтів, висотою близько 10 м. Нижче, на відмітках поверхні 9,5÷13 м, розташована тераса шириною 60÷80 м, яка знижується у бік моря. Тераса частково забудована легкими будівлями старих баз відпочинку і індивідуальними будинками. В південній частині ділянки розташована дренажна штольня №11. Близьче до моря (в приурізовій зоні) відсипана ще одна тераса шириною 10÷15 м, в підніжжі якої влаштоване берегоукріплення у вигляді кам'яної начерки.

Інженерно-геологічна будова ділянки приведена за даними аналізу вишукувань минулих років, проведених бурових робіт та досліджень фізико-механічних властивостей ґрунтів. План схилу з розташуванням інженерно-геологічних розрізів наведений на рис. 1. Інженерно-геологічна будова схилу показана на характерному розрізі (рис. 2), який знаходиться в центральній частині ділянки схилу. За даними інженерно-геологічних досліджень на ділянці схилу залягають наступні інженерно-геологічні елементи:

ПЕ-0 – насипний шар; ПЕ-2 – суглинок сірий, текучої консистенції; ПЕ-3 – суглинок лесовидний просідаючий, легкий, напівтвердої консистенції; ПЕ-4, 4а – супісок лесовидний просідаючий, напівтвердої консистенції; ПЕ-5, 5а – суглинок лесовидний просідаючий, напівтвердої консистенції; ПЕ-6, 6а – суглинок лесовидний просідаючий, м'якопластичної та текучепластичної консистенції; ПЕ-7, 7а – суглинок лесовидний, напівтвердої консистенції; ПЕ-8, 8а – суглинок лесовидний важкий, м'якопластичної консистенції; ПЕ-9, 9а – суглинок лесовидний важкий, напівтвердої та твердої консистенції; ПЕ-10, 10а – глина легка, твердої консистенції, з включенням карбонатів та гіпсу; ПЕ-11, 11а – вапняк тріщинуватий дуже низької міцності; ПЕ-12, 12а – глина легка, твердої консистенції; ПЕ-13, 13а – суглинок важкий, напівтвердої консистенції, з прошарками глини та супіску; ПЕ-14 – супісок сірий, з прошарками піску пилуватого; ПЕ-15 – глина важка, твердої консистенції; лігніт – глина темно-сіра, напівтвердої консистенції, з прошарками супіску пластичного.

На зсувному схилі залягають ґрунти, аналогічні породам, що розвинуті на плато, зміщені та деформовані внаслідок декількох циклів зсувних процесів. Загальна потужність зсувних накоплень в верхній частині схилу досягає 9÷18 м, в нижній частині схилу 15÷35 м. Зсувні ґрунти не витримані по потужності та простиланню, залягають у вигляді блоків.

Гідрогеологічні умови на плато характеризуються наявністю водоносних горизонтів в лесовидних суглинках (ПЕ-6 та ПЕ-8), вапняках (ПЕ-11), та меотичних відкладеннях (прошарки супіску та суглинка). Верхні водоносні горизонти безнапірні, живляться за рахунок інфільтрації атмосферних опадів; нижній горизонт є напірним, напір від 2 до 10 м.

В верхній частині схилу, ґрунтові води відмічені як в корінних лесовидних суглинках (ПЕ-8), так і в зсувних накопиченнях (ПЕ-6а, 7а). Горизонт утворився за рахунок

виклинювання на схилі підземних вод, що розвинуті на плато. В середній та нижній частині схилу водовмісними є насипні ґрунти (ІГЕ-0), лесовидні суглинки (ІГЕ-2, 4а, 6а, 7а) та вапняк (ІГЕ-11а), відносним водопором служать глини (ІГЕ-10а, 12а). Горизонт безнапірний, живиться за рахунок атмосферних опадів і дренажу на схилі водоносних горизонтів, що розвинуті на плато.



Рис. 1. План схилу з розташуванням інженерно-геологічних розрізів

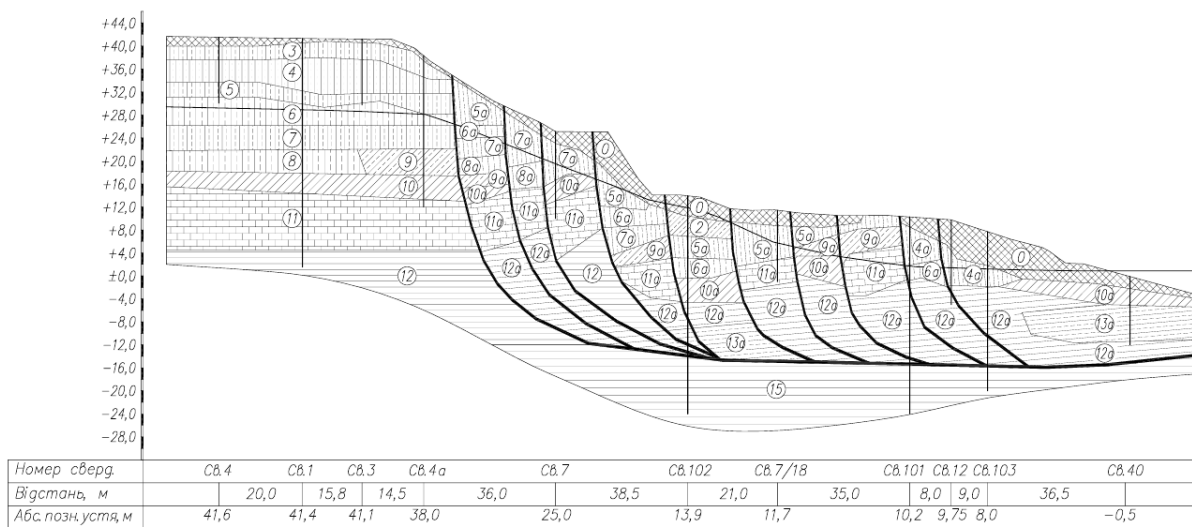


Рис. 2. Розрахунковий інженерно-геологічний розріз 2-2

Перед початком розрахунків стійкості схилу було виконане натурне обстеження схилу. В процесі обстеження фіксувались видимі деформації на поверхні схилу і існуючих спорудах, виходи ґрунтових вод на поверхню та інші ознаки інженерно-геологічних процесів. В прибровочній частині плато, уздовж огороження бази «Вікторія», відмічені ділянки нахилу та видавлення бетонної основи, простежується неглибока (до 20 см) неширока западина. Схил густо засаджений деревами та чагарниками. Рельєф укосу місцями змінений в результаті забудови, існують ділянки, на яких схил підрізаний. На розташованих на схилі будинках та заборах відмічені тріщини.

В нижній частині укосу, на окремих ділянках, відмічаються невисокі (1÷2 м) стінки зриву, у підніжжі місцями спостерігається виклинювання ґрунтових вод на поверхню. Насипні ґрунти рихлі, повільно осипаються, на їх поверхні є заколи та промоїни.

На нижній терасі вздовж бетонної дороги плити лежать нерівно, при русі автомашин по ним відчувається коливання. В декількох місцях цієї дороги утворились озерця та заболочені ділянки. Вода струмочками стікає вбік моря, фільтруючись в ґрунти.

Приурізана частина схилу в північній частині була спланована під час будівництва берегозахисної споруди (контр-банкету) та бетонної набережної, що захищена кам'яною начеркою зі сторони моря. Лінія урізу зміщена вбік моря на 25-35 м. Деформацій на цій території не спостерігається.

Південна частина менш захищена, кріплення цієї ділянки виконувалось силами окремих забудовників. В штольні №11 спостерігаються деформації тубінгів та лотків. В місці скидання дренажної води у море, бетонний лоток зламаний. Також деформована (видавлена) та частково зруйнована підпірна стінка. На цій ділянці пляж майже відсутній, під час штормів стінка піддається силовій дії вітрових хвиль.

Таким чином, за результатами обстеження можна зробити висновок, що виконані протизсувні заходи (планування поверхні схилу та берегоукріплення) не призвели до повної стабілізації зсувних процесів. На зсувному схилі відбуваються незатухаючі повільно текучі деформації, що пов'язані з блоковою будовою схилу, гідрогеологічними умовами, а також реологічними властивостями меотичних глин. Стабілізація зсувних процесів можлива тільки при комплексному підході в призначенні протизсувних заходів.

В якості вихідних даних, для розрахунків стійкості схилу, були прийняті дані інженерно-геологічних вишукувань, а також результати натурального обстеження плато, схилу і прилеглої території. Перехід від опису природних інженерно-геологічних умов до розрахункової схеми був виконаний шляхом схематизації меж ПГЕ та потужності шарів ґрунту порушеної структури.

Схил, який розглядається, відноситься до зсувного [9]. Клас наслідків (відповідальності) споруди прийнятий СС2. Нормативний коефіцієнт запасу стійкості при основному сполученні навантажень складає 1,30, а при аварійному – 1,25. Навантаження і впливи, прийняті для розрахунків стійкості схилу, відповідають вимогам нормативних документів [9, 10].

Розрахунки стійкості схилу виконані в плоскій постановці, методами Янбу [11] та Бішопа [12] за фіксованими кривими ковзання. Ці методи відносяться до групи методів відсіків, що засновані на аналізі граничної рівноваги. Зсувне тіло розбивається вертикальними відсіками на окремі стовпчики, кожен з яких вважається абсолютно твердим тілом і спирається на дугу, яка апроксимується прямою лінією.

За методом Янбу для визначення коефіцієнта запасу стійкості використовується рівняння рівноваги горизонтальних проекцій сил. При цьому рівняння рівноваги моментів не виконується. Коефіцієнт запасу стійкості  $k_{st}$  розраховується за залежністю (1):

$$k_{st} = \frac{\sum (c_i \cdot l_i + N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i) \cdot \cos \alpha_i}{\sum N_i \cdot \sin \alpha_i}, \quad (1)$$

де  $c_i$  – питоме зчеплення в основі виділеного відсіку, кН/м<sup>2</sup>;

$l_i$  – довжина площини ковзання виділеного відсіку, м;

$\varphi_i$  – кут внутрішнього тертя ґрунту в основі виділеного відсіку, град;

$\alpha_i$  – кут площини ковзання виділеного відсіку, град;

$N_i$  – сила, що визначається за формулою (2).

$$N_i = \frac{k_{st} \cdot G_i - c_i \cdot l_i \cdot \sin \alpha_i}{k_{st} \cdot \cos \alpha_i + \sin \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i}, \quad (2)$$

де  $G_i$  – вага виділеного відсіку, кН.

Метод Бішопа заснований на рівновазі моментів. Коефіцієнт запасу стійкості  $k_{st}$  визначається як відношення моменту утримуючих сил до моменту зсувних сил щодо центру обертання за формулою (3):

$$k_{st} = \frac{\sum \left( \frac{c_i \cdot b_i + G_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i}{\cos \alpha_i + \frac{\sin \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i}{k_{st}}} \right)}{\sum G_i \cdot \sin \alpha_i}, \quad (3)$$

де  $c_i$  – питоме зчеплення в основі виділеного відсіку, кН/м<sup>2</sup>;

$b_i$  – ширина виділеного відсіку, м;

$G_i$  – вага виділеного відсіку, кН;

$\varphi_i$  – кут внутрішнього тертя ґрунту в основі виділеного відсіку, град;

$\alpha_i$  – кут площини ковзання виділеного відсіку, град.

В розрахункових схемах враховувались фізико-механічні характеристики ґрунтів, сили гідродинамічного впливу ґрунтового потоку, сейсмічний вплив інтенсивністю 7 балів. Результати розрахунків загальної стійкості схилу за трьома розрахунковими створами представлені в таблиці 1. Загальний вид зсувного тіла для розрізу 2-2 наведений на рис. 3.

Таблиця 1 – Значення мінімальних коефіцієнтів загальної стійкості

| Інженерно-геологічний розріз | Розрахункові значення коефіцієнтів запасу стійкості, $k_{st}$ |            |                                |            |
|------------------------------|---|------------|--------------------------------|------------|
|                              | основне поєднання навантажень                                 |            | аварійне поєднання навантажень |            |
|                              | метод Бішопа  | метод Янбу | метод Бішопа                   | метод Янбу |
| 1-1                          | 1,145   | 1,159      | 0,963                          | 0,979      |
| 2-2                          | 1,038   | 1,057      | 0,896                          | 0,912      |
| 3-3                          | 1,161   | 1,175      | 0,973                          | 0,986      |

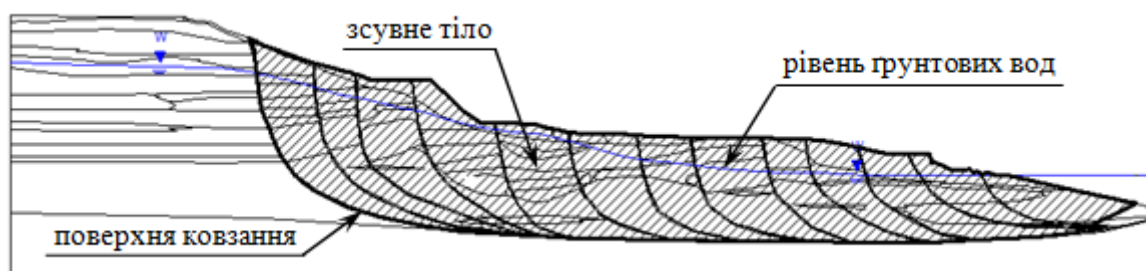


Рис. 3. Загальний вид зсувного тіла (розрахунковий розріз 2-2)

За отриманими результатами розрахунків стійкості схилу відмічено, що загальна стійкість схилу не забезпечена для всіх інженерно-геологічних розрізів. Мінімальний коефіцієнт запасу стійкості при основному поєднанні навантажень дорівнює  $k_{st} = 1,038$  (розріз 2-2), що менше нормативного значення  $k_{sn} = 1,30$ . Коефіцієнт запасу стійкості для аварійного поєднання навантажень складає  $k_{st} = 0,896$ , при нормативному значенні  $k_{sn} = 1,25$ . Ґрунтовий масив знаходиться в стані нестійкої рівноваги. Вплив природних або техногенних факторів може призвести не тільки до локальних деформацій, а й до зрушення всієї зсувної товщі.

Враховуючи складність інженерно-геологічної будови ділянки схилу та незатухаючі повільно текучі деформації ґрунтового масиву, розрахунки стійкості виконувались також в тривимірній постановці. Розрахунки в тривимірній постановці дають більш точні результати. Це пояснюється тим, що при побудові розрахункової схеми, враховуються комбінації інженерно-геологічних умов всього схилу, особливості топографії, наявність підрізування схилу, ярів, існуючих будівель та споруд. Важливою перевагою просторової оцінки стійкості схилів є те, що такий розрахунок дозволяє прогнозувати розвиток зсувного процесу не тільки по довжині інженерно-геологічного розрізу ґрунтового масиву, але і в плані [7].

Оцінка стійкості схилу в тривимірній постановці виконана в ліцензійному програмному комплексі Midas GTS NX. Тривимірний розрахунковий масив створено за трьома інженерно-геологічними розрізами. Розрахунки напружено-деформованого стану схилу виконувались методом скінчених елементів, з визначенням коефіцієнту запасу стійкості методом редукції. Поведінка ґрунту в розрахунковій схемі описувалась пружно-пластичною моделлю Мора-Кулона. В розрахунках була врахована топографія схилу, різномірність ґрунтів, зміна рівня ґрунтових вод по всій довжині схилу, прийняті протизсувні заходи. Загальний вид тривимірної розрахункової схеми існуючого схилу представлений на рис. 4.

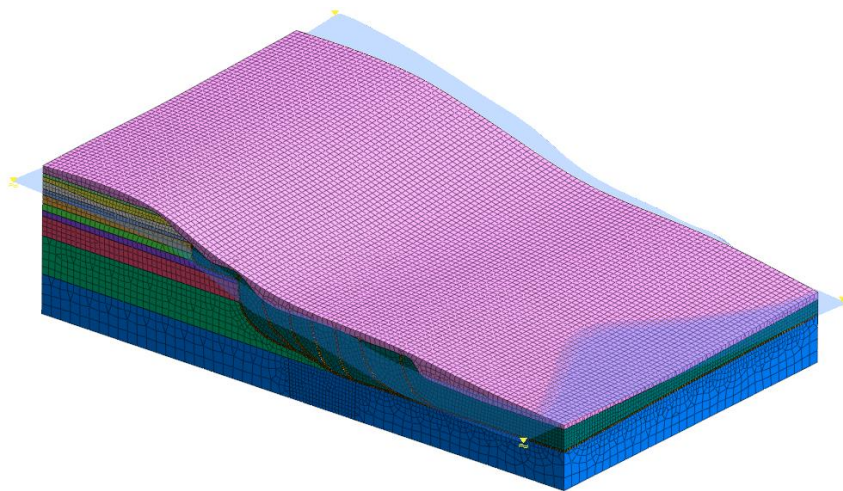


Рис. 4. Загальний вид тривимірної розрахункової схеми схилу (природний стан)

В результаті розрахунку напружено-деформованого стану схилу, були отримані зони максимальних дотичних напружень (рис. 5) по ґрунту порушеної структури (міцнісні характеристики ґрунту визначені, як «плашка по плашці») і значення коефіцієнта запасу стійкості, отриманого методом редукції.

Розрахунковий коефіцієнт запасу стійкості схилу при основному поєднанні навантажень становить  $k_{st} = 1,014$ , при нормативному значенні  $k_{sn} = 1,30$ . Загальна стійкість схилу не забезпечена, схил знаходиться в стані нестійкої рівноваги.



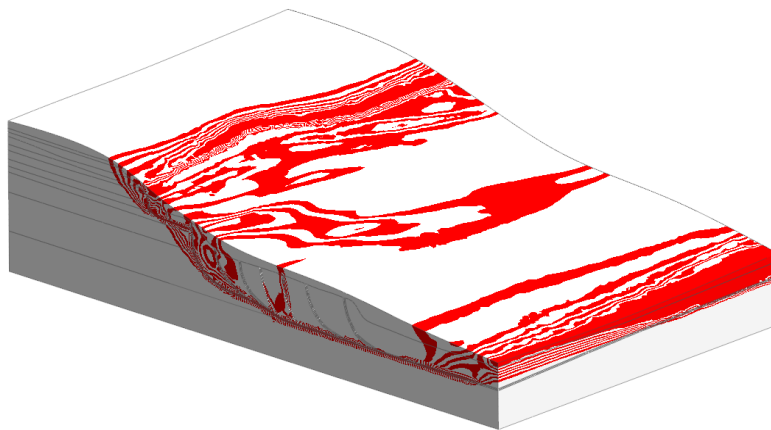


Рис. 5. Зони максимальних дотичних напружень схилу (природний стан)

З ціллю стабілізації зсувних процесів на ділянці схилу пропонується комплекс протизсувних заходів, що включає: влаштування поглинаючих свердловин; влаштування верхнього та нижнього ярусів паль-шпонок з вертикальним дренажем над ними; організоване відведення зливових вод з поверхні схилу; планування та кріплення поверхні схилу.

В роботі запропоновано влаштування на плато дренажної системи, що включає 14 поглинаючих свердловин (рис. 6). Поглинаючі свердловини мають діаметр прийомної частини 800 мм, яка заповнюється дренажним матеріалом. Крок свердловин дорівнює 14 м. Приемна частина свердловин розташована в четвертинних лесових ґрунтах (ІГЕ-3÷ІГЕ-6). Потужність шарів, які перетинаються свердловинами, становить 15,5÷16,0 м.

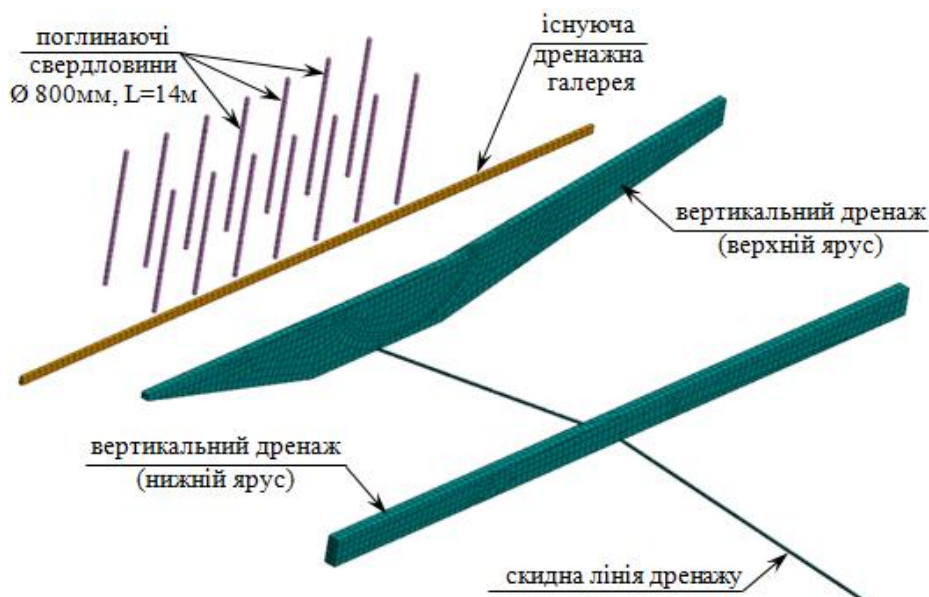


Рис. 6. Загальний вид дренажної системи

Скидання фільтраційних вод здійснюється в шар ІГЕ-11 (вапняк тріщинуватий) для якого коефіцієнт фільтрації в розрахунковій схемі прийнятий 30 м/добу. Призначення дренажної системи полягає в переведенні вод четвертинних відкладень в понтичний ярус, що представлений вапняками. В понтичному горизонті підземні води перехоплюються існуючою дренажною галереєю, що розташована уздовж бровки схилу. Відведення води з галереї здійснюється за допомогою штольні №1 у море.

На бермах схилу передбачено влаштування верхнього і нижнього ярусів утримуючих конструкцій (рис. 7, 8). Нижній ярус утримуючої споруди представлений двома рядами паль-шпонок Ø 1020 мм. Позначка забою паль (-23,6 м) визначалась виходячи з положення лінії



ковзання зсуву з фізико-механічними характеристиками ґрунту порушеної структури, а також внутрішніх зусиль, що виникають в елементах на цій позначці. Відмітка верху паль-шпонок визначалась з умови неможливості «переповзання» ґрунту над спорудою, і становить -2,6 м. На верхньому ярусі також передбачено влаштування двох рядів паль-шпонок. Позначка забою паль верхнього ярусу змінюється від -17,5 м до +3,5 м. Довжина паль-шпонок постійна і складає 21,0 м. Палі-шпонки обох ярусів розташовуються кроком 2,0 м в шаховому порядку, відстань між рядами також складає 2,0 м. Поверху паль виконана зворотна засипка свердловин крупним піском для влаштування вертикального дренажу.

Вертикальний дренаж представляє собою систему свердловин  $\varnothing 1020$  мм, що заповнені дренажним матеріалом (крупним піском). На зовнішній поверхні свердловин, по периметру, розміщується захисний шар з геотекстиля. Свердловини між собою об'єднані горизонтальною дренажною трубою  $\varnothing 250$  мм в обмотці з геотекстиля. Установка горизонтальної дрени виконується методом горизонтального спрямованого буріння [13].

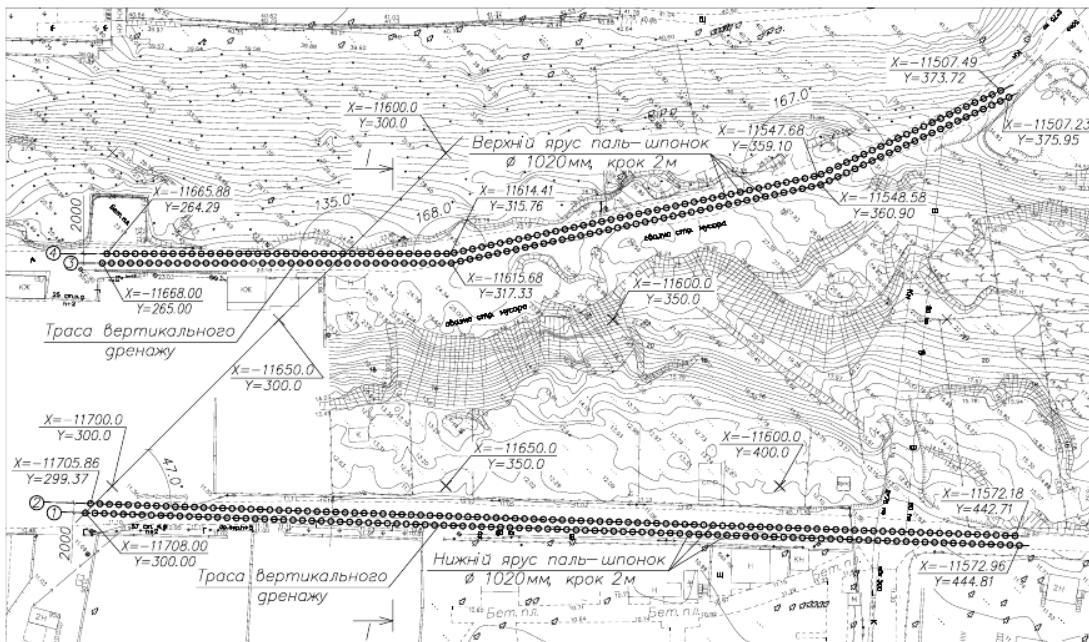


Рис. 7. План розташування утримуючих паль-шпонок

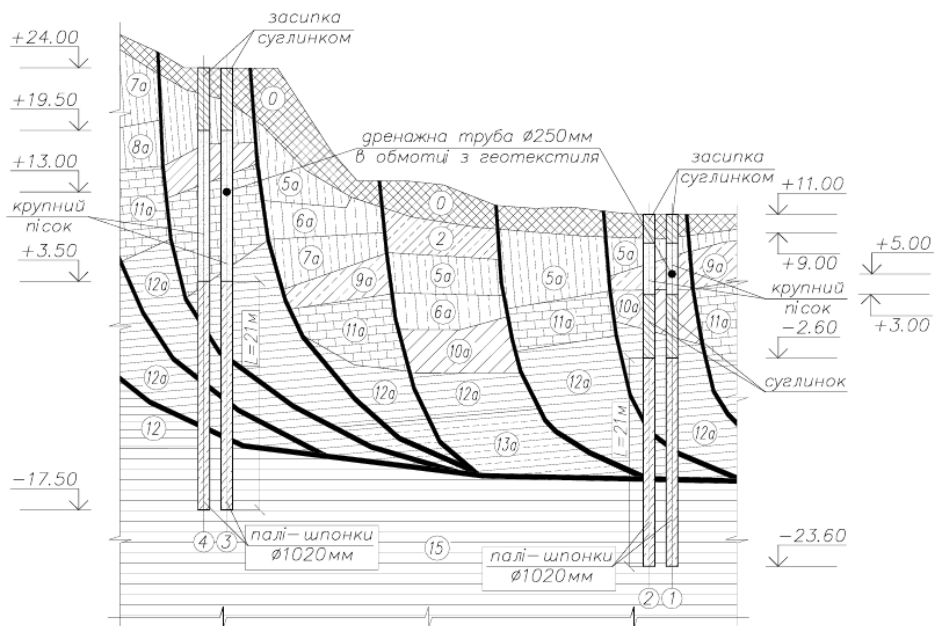


Рис. 8. Розріз I-I

На схилі, що розглядається, можливе застосування тільки такої конструкції вертикального дренажу. Влаштування будь-якої іншої системи дренажу, що пов'язана з виконанням земляних робіт при створенні траншеї, призведе до зростання зсувної небезпеки.

Фільтраційні розрахунки проводились з урахуванням трьох рівнів підземних вод. Перші два знаходяться в четвертинних відкладеннях, третій на підшві понтичного ярусу. Результатом фільтраційних розрахунків є положення кривих депресій на плато та в зсувних накопиченнях (рис. 9а, б).

Таким чином, в результаті влаштування системи дренажу (поглинаючих свердловин на плато і вертикального дренажу над палями-шпонками на схилі), спостерігається значний спад кривої депресії на плато та зсувних накопиченнях. На плато зниження рівня ґрунтових вод досягає 4 м, в зсувних накопиченнях рівень води падає до 2,0÷2,5 м. По мірі руху фільтраційного потоку до моря, дія дренажу буде зменшуватись за рахунок бічного притоку води з обох сторін не дренаваного схилу. Зниження рівня ґрунтових вод на плато призведе до зниження лінії депресії у зсувних накопиченнях на схилі, що підвищить ступінь його стійкості.

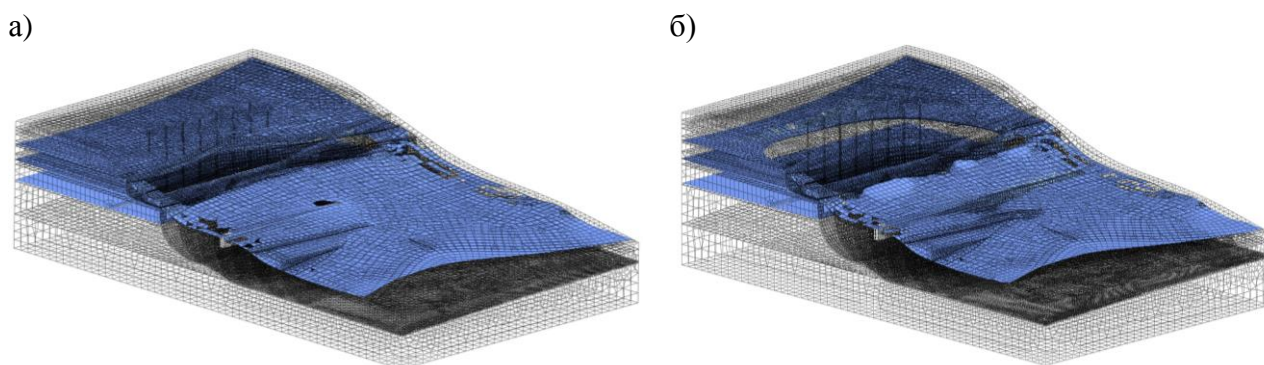


Рис. 9. Положення рівнів ґрунтових вод:

а – природний рівень ґрунтових вод; б – рівень ґрунтових вод після влаштування системи дренажу

Захист схилу від ерозійних процесів здійснюється шляхом організованого відведення зливових і талих вод, а також кріплення поверхні схилу. перехоплення і організоване відведення зливових вод з поверхні схилу здійснюється шляхом влаштування нових та реконструкції існуючих лотків. Лінія існуючого лотка, що розташована по вул. Вітрова продовжується до підпірної стінки для перехоплення води з верхньої частини схилу. Друга лінія лотків розташована у підніжжя схилу. Скидання води з лотків здійснюється у море.

Поверхня схилу кріпиться георешіткою типу ГР-30/10. Кріплення встановлюється по шару гравійно-піщаної суміші товщиною 50 мм і геотекстиля щільністю не менше 120 г/м<sup>2</sup>. Секції георешітки заповнюються родючим ґрунтом, з подальшим посівом багаторічних трав. В нижній частині укосу, в якості упорної частини, використовується матрац Рено розмірами 6,0×2,0×0,17 м.

Розрахунки стійкості схилу в тривимірній постановці також були проведені з урахуванням запропонованого комплексу протизсувних заходів. Мінімальний розрахунковий коефіцієнт запасу стійкості схилу при основному поєднанні навантажень становить  $k_{st}=1,315$ , при нормативному значенні  $k_{sn}=1,30$ . Коефіцієнт запасу стійкості при аварійному поєднанні навантажень складає  $k_{st}=1,268$ , при нормативному значенні  $k_{sn}=1,25$ . Аналізуючи результати розрахунків, можна зробити висновок, що загальна стійкість схилу забезпечена. Прийнятий комплекс протизсувних заходів в значній мірі збільшує загальну стійкість схилу.

**Висновки.** За результатами натурального обстеження та виконаних розрахунків стійкості зсувного схилу зроблені наступні висновки:

1. Загальна стійкість схилу для розрізу 1-1, при основному сполученні навантажень, не забезпечена з мінімальним коефіцієнтом запасу стійкості  $k_{st} = 1,145$ , при нормативному значенні  $k_{sn} = 1,30$ . Коефіцієнт запасу стійкості для аварійного сполучення навантажень складає  $k_{st} = 0,963$ , при нормативному значенні  $k_{sn} = 1,25$ .

2. Загальна стійкість схилу для розрізу 2-2, при основному сполученні навантажень, не забезпечена з мінімальним коефіцієнтом запасу стійкості  $k_{st} = 1,038$ , при нормативному значенні  $k_{sn} = 1,30$ . Коефіцієнт запасу стійкості для аварійного сполучення навантажень складає  $k_{st} = 0,896$ , при нормативному значенні  $k_{sn} = 1,25$ .

3. Загальна стійкість схилу для розрізу 3-3, при основному сполученні навантажень, не забезпечена з мінімальним коефіцієнтом запасу стійкості  $k_{st} = 1,161$ , при нормативному значенні  $k_{sn} = 1,30$ . Коефіцієнт запасу стійкості для аварійного сполучення навантажень складає  $k_{st} = 0,973$ , при нормативному значенні  $k_{sn} = 1,25$ .

4. Загальна стійкість схилу в тривимірній постановці, при основному сполученні навантажень, не забезпечена з мінімальним коефіцієнтом запасу стійкості  $k_{st} = 1,014$ , при нормативному значенні  $k_{sn} = 1,30$ .

5. Отримані результати свідчать про те, що схил знаходиться в стані нестійкої рівноваги. Вплив природних або техногенних факторів може призвести не тільки до локальних деформацій, а й до зрушення всієї зсувної товщі. Для забезпечення нормативної стійкості схилу необхідно передбачити комплекс протизсувних заходів.

6. Після обробки результатів натурального обстеження схилу було відмічено, що на зсувному схилі відбуваються незатухаючі повільно текучі деформації, що пов'язані з блоковою будовою схилу, гідрогеологічними умовами, а також реологічними властивостями меотичних глин.

7. З ціллю стабілізації зсувних процесів, запропоновано комплекс протизсувних заходів, що включає: влаштування поглинаючих свердловин; влаштування верхнього та нижнього ярусів паль-шпонок з вертикальним дренажем над ними; організоване відведення зливових вод з поверхні схилу; планування та кріплення поверхні схилу.

8. Влаштування системи дренажу приведе до зниження рівня ґрунтових вод на плато та у зсувних накопиченнях на схилі, що підвищить ступінь його стійкості.

9. Загальна стійкість схилу (в тривимірній постановці), з урахуванням запропонованого комплексу протизсувних заходів, забезпечена. Мінімальний розрахунковий коефіцієнт запасу стійкості схилу при основному поєднанні навантажень становить  $k_{st} = 1,315$ , при аварійному поєднанні навантажень  $k_{st} = 1,268$ . Прийнятий комплекс протизсувних заходів в значній мірі збільшує загальну стійкість схилу.

### Література

1. Черкез Є.А., Козлова Т.В., Шмуратко В.І. Інженерна геодинаміка зсувних схилів Одеського узбережжя після здійснення протизсувних заходів. *Вісник Одеського національного університету. Серія географ. та геол. наук.* 2013. Т.18, Вип. 1(17). С. 15-24.

2. Черкез Є.А., Чуйко О.Е., Орлов В.Ф. Кінематичні особливості геодформаційних процесів території порту Южний. *Вісник Одеського національного університету. Серія географ. та геол. наук.* 2006. Т.11, Вип. 3. С. 240-250.

3. Черкез Є.А., Драгомирецька О.В., Біч Г.М. Гідрогеомеханічні особливості формування зсувів випору північно-західного узбережжя Чорного моря. *Вісник Одеського національного університету. Серія геологічні науки.* 2003. Т.8, Вип. 5. С. 180-187.

4. Гришин В.А., Дорофєєв В.С., Мартинов Г.А. Розрахунок схилів Одеського узбережжя. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури.* 2010. Вип. 38. С. 184-194.

5. Гришин В.А., Дорофєєв В.С. Розрахунок протизсувних споруд: монографія. Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2009. 215 с.

6. Гришин В.А., Снісаренко В.І. Одеські схили і зсуви: монографія. Київ: МП "Леся", 2008. 300 с.
7. Великий Д.І. Стійкість ґрунтових споруд з урахуванням просторового ефекту: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Одеса, 2021. 171 с.
8. ДСТУ-Н В.1.1-37:2016. Настанова щодо інженерного захисту територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. [Чинний від 01.04.2016]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 94 с.
9. ДБН В 1.1-46:2017. Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення. [Чинні від 01.11.2017]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2017. 43 с.
10. ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво у сейсмічних районах України. [Чинні від 01.10.2014] Київ: Мінрегіонбуд України, 2014. 110с.
11. Janbu N. Slope stability computation. *Embankment–Dam Engineering*. Casagtande volume. 1973. P. 47-86.
12. Bishop A.W. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Géotechnique*. 1955. № 5. P. 7-17.
13. Дренажна система на зсувних схилах : пат. 153788 Україна : МПК E02B 11/00 (2023.01). № u 202203445 ; заявл. 19.09.2022 ; опубл. 30.08.2023, Бюл. № 35.

### References

- [1] Ye.A. Cherkez, T.V. Kozlova, V.I. Shmuratko, "Inzhenerna heodynamika zsuвnykh skhylyv Odeskoho uzberzhzhia pislia zdiisnennia protyzsuвnykh zakhodiv", *Visnyk Odeskoho natsionalnoho universytetu. Seriiа heohraf. ta heol. nauk*. T.18, vol. 1(17), pp. 15-24, 2013.
- [2] Ye.A. Cherkez, O.E. Chuiko, V.F. Orlov, "Kinematychni osoblyvosti heodeformatsiinykh protsesiv terytorii portu Yuzhnyi", *Visnyk Odeskoho natsionalnoho universytetu. Seriiа heohraf. ta heol. nauk.* T.11, vol. 3, pp. 240-250, 2006.
- [3] Ye.A. Cherkez, O.V. Drahomyretska, H.M. Bich, "Hidroheomekhanichni osoblyvosti formuvannia zsuвiv vyporu pivnichno-zakhidnoho uzberzhzhia Chornoho moria", *Visnyk Odeskoho natsionalnoho universytetu. Seriiа heolohichni nauky*. T.8, vol. 5, pp. 180-187, 2003.
- [4] V.A. Hryshyn, V.S. Dorofieiev, H.A. Martynov, "Rozrakhunok skhylyv Odeskoho uzberzhzhia", *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, vol. 38, pp. 184-194, 2010.
- [5] V.A. Hryshyn, V.S. Dorofieiev, *Rozrakhunok protyzsuвnykh sporud: monohrafiia*. Odesa: Zovnishreklamservis, 2009.
- [6] V.A. Hryshyn, V.I. Snisarenko, *Odeski skhyly i zsuvy: monohrafiia*. Kyiv: MP "Lesia", 2008.
- [7] D.I. Velykiy, *Stijkist ґруntovih sporud z urahuvannyam prostorovogo efektu: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.23.01*. Odesa, 2021.
- [8] DSTU-N V.1.1-37:2016. Nastanova shodo inzhenernogo zahistu teritorij, budivel i sporud vid zsuвiv ta obvaliv. Kiyiv: DP «UkrNDNC», 2017.
- [9] DBN V 1.1-46:2017. Inzhenernij zahist teritorij, budivel i sporud vid zsuвiv ta obvaliv. Osnovni polozhennya. Kiyiv: Minregionbud Ukrayini, 2017.
- [10] DBN V.1.1-12:2014. Budivnictvo u sejsmichnih rajonah Ukrayini. Kiyiv: Minregionbud Ukrayini, 2014.
- [11] N. Janbu, *Slope stability computation. Embankment–Dam Engineering*. Casagtande volume. 1973. P. 47-86.
- [12] A.W. Bishop, "The use of the slip circle in the stability analysis of slopes", *Géotechnique*, no. 5, pp. 7-17, 1955.
- [13] Drenazhna systema na zsuвnykh skhylyakh : pat. 153788 Ukraina : MPK E02V 11/00 (2023.01). № u 202203445 ; zaiavl. 19.09.2022 ; opubl. 30.08.2023, Biul. № 35.

**ANTI-LANDSLIDE MEASURES OF THE SECTION OF THE SLOPE  
OF THE ODESSA COAST**

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

<sup>1</sup>**Anisimov K.I.**, Assistant Professor,  
anisimov@odaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-0447-3927

<sup>1</sup>**Baadzhi V.G.**, Assistant,  
baadzhi@odaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-6974-9082

<sup>1</sup>**Velykyi D.I.**, PhD,  
denislusuj@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1452-6742

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

**Abstract.** Calculations of the stability of the section of the landslide slope of the Odesa coast were performed in the work. The site is located in the Kyiv district of Odessa and is adjacent to the children's health and sports camp "Viktorija". The territory covers the coastal part of the plateau, the terraced slope and the beach area. Artificially created terraces and berms stand out in the relief of the slope, at the foot of the slope in some places a preserved natural beach.

The specifics of this area are complex engineering-geological (block structure of the slope, loess subsidence soils) and hydrogeological (several aquifers, high level of groundwater) conditions. Previously, before the implementation of a complex of anti-slide measures, large-scale deep sliding and squeezing landslides took place in this area. The partially implemented engineering protection measures, which consisted in the planning of the slope surface and the arrangement of shore fortifications, did not lead to a complete stabilization of the landslide processes.

At the present time, undamped, slow-flowing deformations occur on the landslide slope. These deformations are related to the blocky structure of the slope, hydrogeological conditions, as well as rheological properties of meotic clays. Stabilization of landslide processes is possible only with a comprehensive approach in the appointment of anti-slide measures.

The assessment of the stability of the slope and the appointment of anti-slide measures were carried out taking into account the features of the engineering and geological structure, hydrogeological conditions, as well as the results of the field survey of the slope. Calculations of the stability of the slope were carried out according to flat schemes by the methods of Bishop and Janbu. Calculations were also carried out in a three-dimensional setting using the finite element method in the Midas GTS NX geotechnical software complex. The Mohr-Coulomb elastic-plastic model described the behavior of the soil in the calculation scheme.

The proposed set of anti-slide measures, which includes: installation of absorption wells on the plateau, to lower the groundwater level; arrangement of the lower and upper tiers of key piles with vertical drainage above them; organized removal of stormwater from the surface of the slope; planning and fastening of the slope surface.

**Keywords:** slope, landslide, calculation scheme, coefficient of stability reserve, anti-slide measures, pile-key, drainage.

Стаття надійшла до редакції 28.05.2024