УДК 624.15 DOI: 10.31650/2786-6696-2022-1-108-116

ОЦІНКА СТІЙКОСТІ ДІЛЯНКИ СХИЛУ ОДЕСЬКОГО УЗБЕРЕЖЖЯ

[1]**Осадчий В.С.,** к.т.н., доцент,
ovs1455@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8153-8635
[1]**Бааджи В.Г.,** асистент,
baadzhi@ogasa.org.ua, ORCID: 0000-0002-6974-9082
[1]*Одеська державна академія будівництва та архітектури*
вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, 65029, Україна

Анотація. В даний час спостерігається скорочення майданчиків, зручних для будівництва об'єктів. У зв'язку з цим, все частіше постає питання про освоєння нових територій, які раніше вважалися непридатними або економічно невигідними для будівництва. Дуже часто доводиться зводити будівлі та споруди на схилах або поблизу них. Освоєння зсувних та зсувонебезпечних схилів вимагає комплексного вивчення, результати якого повинні використовуватись при виборі заходів інженерного захисту територій, а також проектуванні і будівництві на схилах. Основним завданням інженерів, при виконанні проектно-вишукувальних робіт на зсувонебезпечних територіях, є оцінка стійкості схилу та величини зсувного тиску.

У статті виконані розрахунки стійкості ділянки зсувонебезпечного схилу Одеського узбережжя з ціллю подальшого будівельного освоєння. Схил, що розглядається, розташований на Французькому бульварі, в районі санаторію імені Чкалова. Особливості ділянки полягають у складних інженерно-геологічних умовах (лесові ґрунти, просадні властивості ґрунтів, кілька водоносних горизонтів). Встановлено, що раніше на цій ділянці відбувалися глибокі блокові зсуви видавлювання. Після проведення протизсувних заходів, які полягали в будівництві морських берегоукріплювальних та дренажних споруд, відмічено підвищення стійкості схилу. Незважаючи на виконані заходи, відзначається розмив пляжу з частковим руйнуванням берегозахисних споруд, що може призвести до активізації абразії і негативно вплинути на стійкість всього схилу.

Розрахунки стійкості схилу виконані у двовимірній та тривимірній постановках. За плоскими схемами розрахунки виконані в програмному комплексі «Slide» методами Бішопа та Янбу. Оцінка стійкості схилу у тривимірній постановці виконана методом скінченних елементів із застосуванням розрахункової програми Midas GTS NX і складається з визначення напружено-деформованого стану ґрунтового масиву та коефіцієнту запасу стійкості. На основі отриманих результатів розрахунку дана оцінка стійкості схилу та запропоновані варіанти протизсувних (утримуючих) споруд.

Ключові слова: зсув, схил, розрахункова схема, коефіцієнт запасу стійкості, протизсувні споруди, бурова паля, барета.

Вступ. На території України зафіксовано близько 23 тис. зсувів і з кожним роком їх кількість зростає. Зсуви характерні для узбережжя Чорного і Азовського морів (Одеська, Миколаївська, Донецька, Запорізька області), а також Харківської, Закарпатської, Львівської, Івано-Франківської областей. До основних природних чинників, що викликають розвиток та поширення зсувних процесів відносяться: інженерно-геологічні умови схилу, гідрогеологічні умови, абразія, рельєф місцевості, клімат, ерозія. Крім природних факторів, які впливають на стійкість зсувних та зсувонебезпечних схилів, значний вплив на існуючі зсувні процеси та утворення нових зсувів мають техногенні фактори.

Одеська область займає перше місце в Україні як за загальною кількістю зсувів, так і за кількістю активних зсувів. В області зафіксовано 5836 зсувів, загальною площею 66,3 км^2, у межах забудованих територій знаходяться 156 зсувів [1]. Площа зсувонебезпечних ділянок

становить майже 20% території області. Великі за площею і небезпечні зсуви розвиваються на узбережжі Чорного моря та схилах лиманів. В останні роки відзначено підвищення активізації старих та виникнення нових зсувів на ділянках схилів у с. Фонтанка Лиманського району, м. Чорноморськ Овідіопольського району, м. Одеса (16-та станція Великого Фонтану, с. Чорноморка, Аркадія, Французький бульвар).

В даний час все частіше для будівництва вибираються майданчики, що розташовані на схилах або поблизу них. Схили Одеського узбережжя з відносно сприятливими інженерно-геологічними умовами практично забудовані. Подальше будівництво на схилах пов'язане з вибором майданчиків зі складними інженерно-геологічними умовами, що вимагають спеціальної інженерної підготовки щодо запобігання або стабілізації зсувів у процесі будівництва різних об'єктів та їх подальшої експлуатації.

Під час будівництва на схилі або біля нього може виникати техногенний зсув в результаті зміни напружено-деформованого стану і міцністних властивостей ґрунтів, які складають схил. Активізація зсувів має руйнівний, а іноді катастрофічний характер, що створює постійну загрозу виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру, а також небезпеку для здоров'я та життя людей. Таким чином, питання вивчення зсувних процесів, оцінки стійкості схилів, проектування та будівництва протизсувних споруд є актуальними, оскільки економічні збитки.

Аналіз досліджень та публікацій. Зсувні процеси на схилах Одеського узбережжя спостерігаються з моменту заснування міста. Перші дослідження Одеських зсувів належать французькому інженеру Жюсту Гаюї.

Вивченню і опису зсувів Одеського узбережжя, аналізу причин і чинників їх формування присвячені роботи І.Ф. Синцова. Він висунув теорію походження Одеських зсувів, багато положень якої залишаються актуальними і у наш час [2]. Причини утворення і заходи із стабілізації зсувів розглянуті у роботах О.К. Алексєєва, М.Ф. Бесчастного, І.Я. Яцько, А.М. Дранникова, Л.Б. Розовського, І.П. Зелінського, В.М. Воскобойнікова [3-6] і багатьох інших авторів.

Методи моделювання зсувів для вирішення завдань про напружений стан порід і стійкість зсувних схилів і укосів складної геологічної будови були розглянуті у роботі [7]. Проблеми моделювання напруженого стану та оцінки стійкості зсувних схилів, а також інженерно-геологічної ефективності заходів в галузі інженерного захисту територій висвітлюються в роботі [8].

Роботи [9, 10] присвячені розвитку методів розрахунку схилів та зсувів, а також математичному моделюванню зсувних процесів при сейсмічних впливах. У роботі [11] розглядається новий метод розрахунку схилів з врахуванням пружно-пластичних властивостей ґрунтів, які моделюються за теорією течії зі зміцненням, при статичних навантаженням на схил.

В одній з останніх робіт [12], на основі аналізу результатів розрахунків реальних схилів у м. Одеса (на території Грецького парку, на площі Думській, на Французькому бульварі та ін.), відмічений вплив форми схилу на величину його коефіцієнта запасу стійкості. Автором розроблений метод розрахунку стійкості ґрунтових споруд і природних схилів за двовимірними схемами інженерними методами, з врахуванням їх просторового ефекту. Запропонований метод розрахунку стійкості за двовимірними схемами при застосовуванні виведеного поправочного коефіцієнта дозволяє оцінити ступінь стійкості схилу з урахуванням його геометричних особливостей.

Метою роботи є оцінка стійкості ділянки зсувонебезпечного схилу Одеського узбережжя для визначення можливості подальшого будівельного освоєння.

Методи досліджень. Розрахунки стійкості ділянки схилу проводились чисельними методами. Оцінка стійкості у двовимірній постановці виконана методами Бішопа та Янбу за фіксованими кривими ковзання. Також були виконані розрахунки напружено-деформованого стану (НДС) схилу за методом скінчених елементів (МСЕ), з визначенням коефіцієнту запасу стійкості методом редукції у тривимірній постановці.

Результати дослідження. Ділянка схилу, що розглядається, розташована на Французькому бульварі, в межах ІІІ зсувного амфітеатру, що охоплює територію узбережжя від мису біля північного кордону санаторію «Чкалова» до гідрометеорологічної станції (район санаторію «Росія») та ділянкою плато, що примикає до нього. Позначки поверхні плато складають 44,50-47,30 м.

Геологічний розріз схилу представлений комплексом деплясивних та детрузивних четвертинних та неогенових відкладень. Зсувне тіло розбите на блоки, складені лесовидними ґрунтами, глинами, вапняками. У рельєфі схилу ці блоки утворюють щаблі та горби, розділені западинами та тріщинами.

За даними інженерно-геологічних досліджень на ділянці схилу виділені наступні інженерно-геологічні елементи (ІГЕ) [13]:

ІГЕ-2 – суглинок лесовидний, легкий, твердої консистенції; ІГЕ-3 – супісок лесовий, палевий, твердої консистенції; ІГЕ-3а – суглинок лесовий, твердої консистенції (зсувні накопичення); ІГЕ-4 – суглинок лесовидний, тяжкий, твердої консистенції; ІГЕ-4а – суглинок лесовидний, бурий, твердої консистенції (зсувні накопичення); ІГЕ-5 – суглинок (супісок) лесовий, легкий, твердої консистенції; ІГЕ-5а – суглинок лесовий, палевий, твердої консистенції (зсувні накопичення); ІГЕ-6 – суглинок тяжкий, напівтвердої консистенції із включеннями гіпсу; ІГЕ-6а – суглинок тяжкий, твердої консистенції (зсувні накопичення); ІГЕ-7 – глина легка, твердої консистенції; ІГЕ-7а – глина легка, твердої консистенції (зсувні накопичення); ІГЕ-8 – вапняк-черепашник, в покрівлі «плитчастий», перекристалізований; ІГЕ-9 – глина сіра, з лінзами супіску, легка, твердої консистенції; ІГЕ-9а – глина сіра з лінзами супіску, легка, напівтвердої консистенції (зсувні накопичення); ІГЕ-10 – супісок сірий, пластичної консистенції; ІГЕ-10а – супісок сірий, пластичної консистенції (зсувні накопичення).

Лесовидні суглинки (ІГЕ-2 і ІГЕ-4) мають просадні властивості. Ґрунти, що складають зсувний схил (ІГЕ-3а÷ІГЕ-5а) характеризуються як просідаючі до рівня ґрунтових вод (РГВ).

Гідрогелогічні умови майданчика характеризуються розвитком трьох водоносних горизонтів. Перший від поверхні безнапірний водоносний горизонт відзначений на глибині 14,3÷15,5 м (абс. позначки 29,80÷31,80 м). Другий водоносний горизонт, який залягає на абсолютних позначках 5,35÷8,10 м є також безнапірним. Третій напірний водоносний горизонт залягає на глибинах 0,6÷25,2 м (абс. позначка -1,4÷9,55 м).

Раніше на цій ділянці відбувалися глибокі блокові зсуви видавлювання з деформацією поверхні меотичних глин та поверхнею зсуву, що розташована нижче за сучасний рівень моря. У рельєфі поверхні схилу простежуються зсувні ступені, які розділені глибокими тріщинами. Зсувні зміщення першого порядку на даній ділянці узбережжя були відзначені в 1856, 1858 і 1963 роках. Після цього, в період з 1966р. по 1972р., для підвищення стійкості схилу були проведені протизсувні заходи, що полягали в будівництві морських берегоукріплювальних споруд (хвилеломів, траверс, бун, підпірних та хвилевідбійних стінок), підземних і надземних дренажних споруд схилів (галерей, штолень, свердловин-фільтрів, водовідвідних канав), намиві пляжів,. В даний час відзначається активна абразійна діяльність моря, яка негативно впливає на загальну стійкість схилу.

У якості вихідних даних для розрахунків стійкості, прийняті дані інженерно-геологічних вишукувань [13]. Інженерно-геологічна будова схилу показана для розрізу 1-1 (рис. 1), який відноситься до найбільш небезпечної частини схилу. Перехід від опису природних інженерно-геологічних умов до розрахункової схеми був виконаний шляхом схематизації меж ІГЕ та потужності шарів ґрунту порушеної структури.

Схил, який розглядається, відноситься до зсувонебезпечного [14]. Клас наслідків (відповідальності) споруди прийнятий СС2. Нормативний коефіцієнт запасу стійкості при основному сполученні навантажень прийнятий рівним 1,20, а при аварійному – 1,15.

Навантаження і впливи, прийняті для розрахунків стійкості схилу, відповідають вимогам нормативних документів ДБН В.1.1-46:2017 [14] та ДБН В.1.1-12:2014 [15].

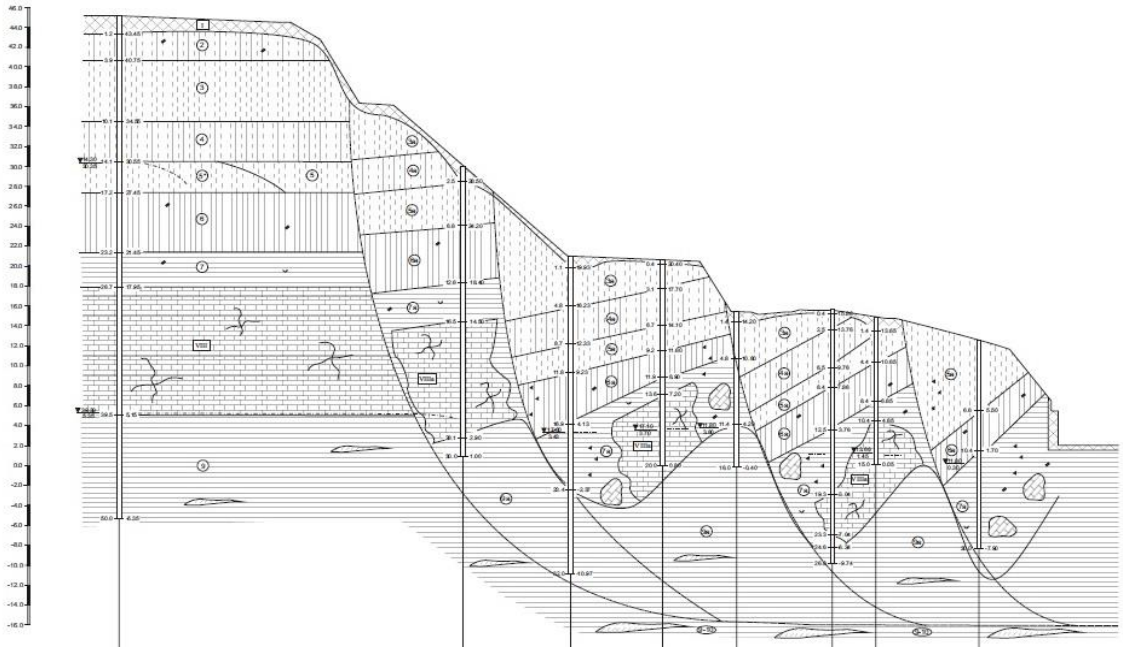

Рис. 1. Розрахунковий інженерно-геологічний розріз 1-1

Розрахунки стійкості схилу виконані у двовимірній (плоскій) постановці, методами Бішопа [16] та Янбу [17] за фіксованими кривими ковзання, в програмному комплексі «Slide», версія 6.0. В розрахунковій схемі враховувались фізико-механічні характеристики ґрунтів, сили гідродинамічного впливу ґрунтового потоку, сейсмічний вплив інтенсивністю 7 балів. Розрахунок за фіксованими площинами ковзання передбачає, що ця поверхня ковзання (положення і обрис) вже встановлена хоча б на частині її простягання. На невідомій частині поверхня ковзання встановлюється методом підбору. В умовах плоскої задачі ця криволінійна поверхня ковзання з деяким наближенням може бути замінена в площині креслення тією чи іншою сукупністю прямих ліній – ліній ковзання. Результати розрахунку загальної стійкості схилу за трьома розрахунковими створами представлені на рис. 2, а значення коефіцієнтів запасу стійкості зведені в таблицю 1.

Таблиця 1 – Значення мінімальних коефіцієнтів загальної стійкості

№ інженерно-геологічного розрізу	Розрахункові значення коефіцієнтів запасу стійкості, k_{st}			
	основне сполучення навантажень		аварійне сполучення навантажень	
	метод Бішопа	метод Янбу	метод Бішопа	метод Янбу
1-1	1,09	1,12	0,97	0,99
2-2	1,10	1,13	0,99	1,01
3-3	1,38	1,41	1,19	1,21

За отриманими результатами розрахунків стійкості схилу відмічено, що загальна стійкість схилу забезпечена лише для розрізу 3-3. Мінімальний коефіцієнт запасу стійкості для основного сполучення навантажень складає k_{st} =1,38, що більше нормативного значення k_{sn} =1,20 (для класу наслідків СС2). Коефіцієнт запасу стійкості для аварійного сполучення навантажень складає k_{st} =1,19, при нормативному значенні k_{sn} =1,15. Отримані коефіцієнти запасу стійкості для розрізів 1-1 та 2-2 свідчать про те, що нормативна стійкість схилу не забезпечена. Ґрунтовий масив знаходиться в стані нестійкої рівноваги та при впливі природних або техногенних факторів можуть активізуватись зсувні деформації.

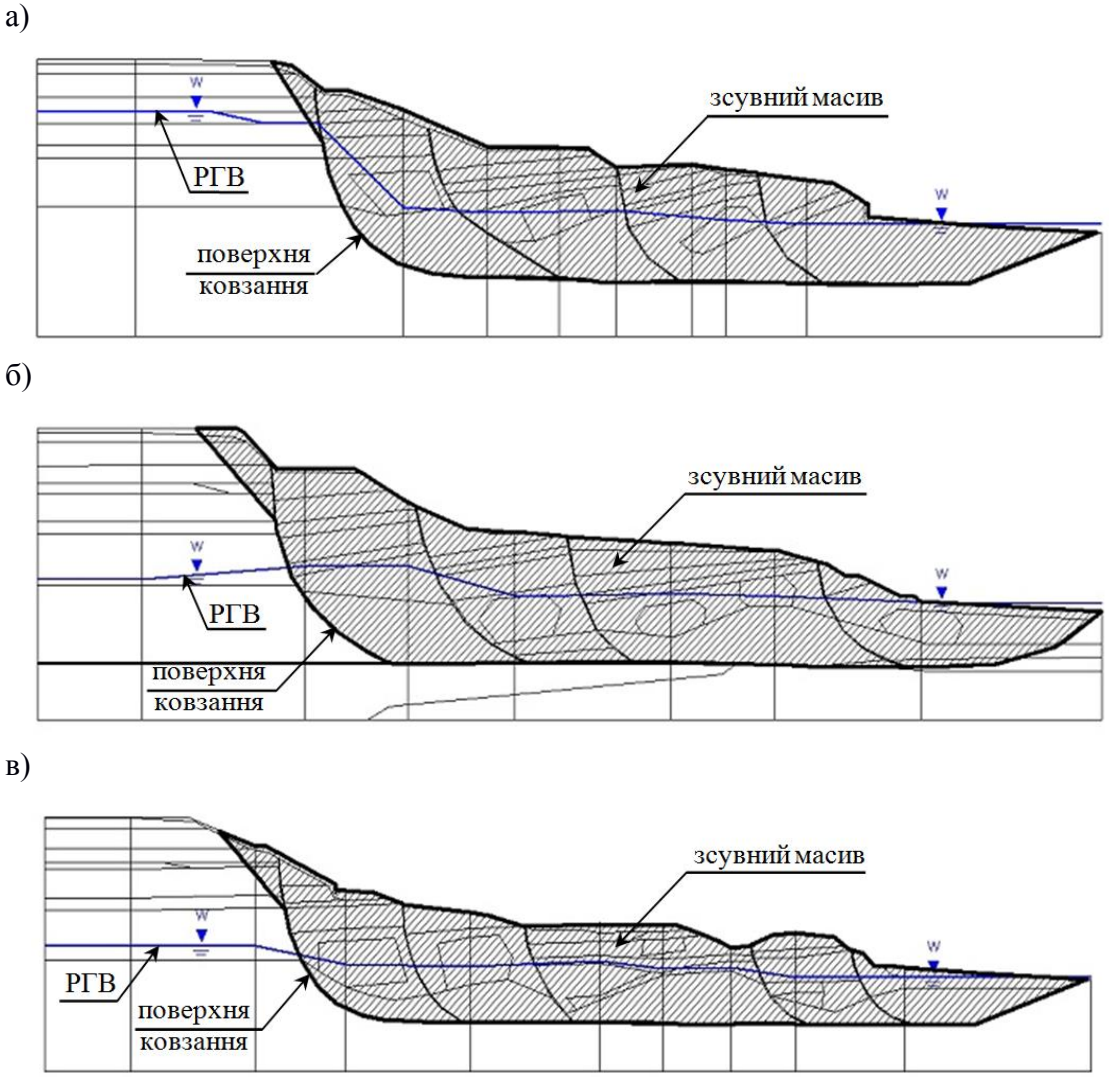

Рис. 2. Загальний вигляд зсувного тіла:
а – розрахунковий розріз 1-1; б – розрахунковий розріз 2-2;
в – розрахунковий розріз 3-3

Враховуючи складність інженерно-геологічної будови ділянки схилу, розрахунки стійкості виконувались також в тривимірній постановці. Розрахунки в тривимірній постановці дають результати, наближені до реальності, на відміну від результатів, отриманих загальноприйнятими і поширеними інженерними методами за двовимірними схемами. Це пояснюється тим, що тривимірна постановка завдання враховує комбінації інженерно-геологічних умов всього схилу та дозволяє враховувати фактори, що істотно впливають на стійкість (особливості топографії; наявність підрізування схилу, ярів, точкових будівельних конструкцій тощо). Однією з важливих переваг просторової оцінки стійкості укосів є те, що такий розрахунок дозволяє прогнозувати розвиток зсувного процесу не тільки по глибині досліджуваного розрізу ґрунтового масиву, але і в плані [12].

Оцінка стійкості схилу у тривимірній постановці виконана із застосуванням розрахункової програми Midas GTS NX. Розрахунки НДС схилу виконувалися методом МСЕ, з визначенням коефіцієнту запасу стійкості методом редукції по моделі Мора-Кулона. В основі методу редукції лежить послідовне пропорційне одночасне зниження (збільшення) міцності (питомого зчеплення і тангенса кута внутрішнього тертя ґрунту) і перерахунок НДС масиву.

Тривимірна розрахункова схема створена за трьома інженерно-геологічними розрізами (1-1, 2-2, 3-3) [13]. В розрахунку була врахована топографія схилу, різнорідність ґрунтів, визначених в межах проведення геологічних вишукувань, зміна рівня ґрунтових вод по всій

довжині схилу. Загальний вигляд тривимірної розрахункової схеми існуючого схилу представлений на рис. 3.

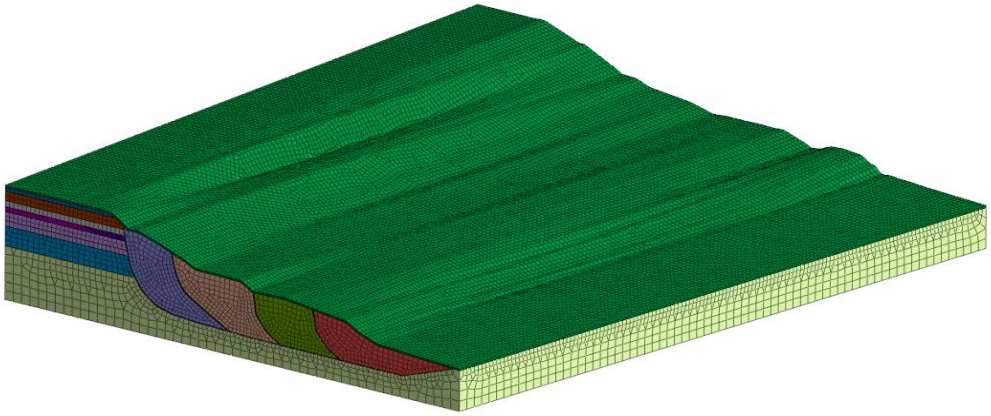

Рис. 3. Загальний вигляд тривимірної розрахункової схеми схилу

В результаті розрахунку НДС схилу, були виявлені зони максимальних дотичних напружень (рис. 4) по ґрунту порушеної структури (міцністні характеристики ґрунту визначені, як «плашка по плашці») і значення коефіцієнта запасу стійкості, отриманого методом редукції.

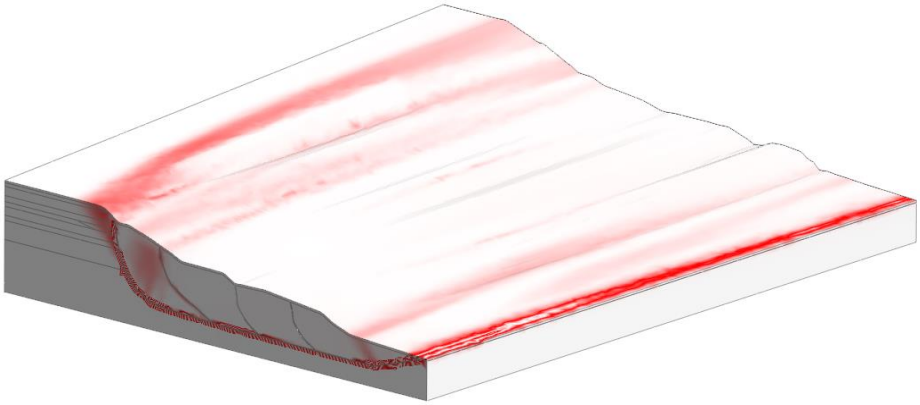

Рис. 4. Зони максимальних дотичних напружень схилу

Розрахунковий коефіцієнт запасу стійкості схилу при основному сполученні навантажень становить k_{st} =1,17, при нормативному значенні k_{sn} =1,20. Загальна стійкість розглянутого схилу не забезпечена, схил знаходиться в стані нестійкої рівноваги. При впливі природних або техногенних факторів можуть активізуватись зсувні деформації.

З ціллю забезпечення нормативної стійкості схилу необхідно передбачити влаштування протизсувних (утримуючих) споруд. В якості протизсувних споруд можуть бути застосовані утримуючі пальові конструкції з кількох рядів залізобетонних бурових паль з ростверком, паль-шпонок або контрфорсні конструкції (поздовжні стіни, барети).

Висновки. За результатами аналізу інженерно-геологічних і гідрогеологічних умов схилу, а також оцінки результатів розрахунків стійкості зроблені наступні висновки:

1. Загальна стійкість схилу для розрізу 1-1, при основному сполученні навантажень, не забезпечена з мінімальним коефіцієнтом запасу стійкості k_{st} =1,09, при нормативному значенні k_{sn} =1,20. Коефіцієнт запасу стійкості для аварійного сполучення навантажень складає k_{st} =0,97, при нормативному значенні k_{sn} =1,15.

2. Загальна стійкість схилу для розрізу 2-2, при основному сполученні навантажень, не забезпечена з мінімальним коефіцієнтом запасу стійкості k_{st} =1,10, при нормативному значенні k_{sn} =1,20. Коефіцієнт запасу стійкості для аварійного сполучення навантажень складає k_{st} =0,99, при нормативному значенні k_{sn} =1,15.

3. Загальна стійкість схилу для розрізу 3-3, при основному сполученні навантажень, забезпечена з мінімальним коефіцієнтом запасу стійкості k_{st} =1,38, при нормативному значенні k_{sn} =1,20. Коефіцієнт запасу стійкості для аварійного сполучення навантажень складає k_{st} =1,19, при нормативному значенні k_{sn} =1,15.

4. Загальна стійкість схилу в тривимірній постановці, при основному сполученні навантажень, не забезпечена з мінімальним коефіцієнтом запасу стійкості k_{st}=1,17, при нормативному значенні k_{sn} =1,20.

5. Отримані результати свідчать про те, що схил знаходиться в стані нестійкої рівноваги. При впливі природних або техногенних факторів можуть активізуватись зсувні деформації. Для забезпечення нормативної стійкості схилу необхідно влаштувати протизсувні споруди.

6. Оскільки під поверхнею ковзання залягає досить міцний підстилаючий шар (ІГЕ 9), в якості протизсувних споруд можуть бути застосовані утримуючі пальові конструкції з кількох рядів залізобетонних бурових паль з ростверком або паль-шпонок. В якості альтернативного варіанту конструкції утримуючої споруди можуть розглядатись пальово-контрфорсні конструкції (поздовжні стіни або барети). При цьому запропоновані конструкції можуть поєднуватись з фундаментами будівель та споруд.

7. Вибір типу протизсувних споруд, їх розташування на схилі, кількість, конструктивні розміри залежать від величини зсувного тиску та виконується за результатами розрахунків стійкості схилу.

8. З метою уточнення стану схилу (зсувний або зсувонебезпечний) необхідно виконати зсувну зйомку, встановити марки та ґрунтові репера на схилі та проводити моніторинг даної території.

9. Враховуючи складність геологічної будови схилу та утворення раніше на цій ділянці глибоких блокових зсувів видавлювання, для будівельного освоєння схилу та інженерної підготовки території необхідно виконати візуальне обстеження, моніторинг ділянки схилу і додаткові інженерно-геологічні вишукування під конкретні будівельні майданчики.

10. Після уточнення інженерно-геологічних умов має бути створена тривимірна розрахункова схема з урахуванням результатів виконаної оцінки стійкості, візуального обстеження, моніторингу ділянки схилу та конструкції будівлі, яка проектується.

11. Необхідно виконати планувальні роботи поверхні схилу та влаштувати дренажні пристрої для зниження рівня ґрунтових вод в зсувних накопиченнях, що збільшить загальну стійкість схилу.

Література

1. Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів за даними моніторингу ЕГП. К.: Державна служба геології та надр України, Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України». 2020. Вип. XVII. 104 с.

2. Синцов И.Ф. Об Одесских оползнях и о причинах их происхождения. *Записки Новороссийского общества естествоиспытателей*. Одесса, Т. XXII, Вып. I, 1898. С. 187-241.

3. Дранников А.М. Генеральная схема противооползневых мероприятий побережья г. Одессы. Одесский облисполком. Бюро проектирования противооползневых мероприятий. Одесса, 1940. 190 с.

4. Труды Одесского государственного университета им. И.И. Мечникова. Материалы по изучению Одесских оползней. Одесса, Т. 150, Вып. 7, 1960. 159 с.

5. Яцько І.Я. Зсувні явища на одеському узбережжі Чорного моря. *Вісник метеорології та гідрології*. 1938. № 3-4. С. 43-60.

6. Зелинский И.П., Корженевский Б.А., Черкез Е.А. и др. Оползни северо-западного побережья Черного моря: их изучение и прогноз: монография. Київ: Наукова думка, 1993. 227 с.

7. Зелинский И.П. Теоретические и методические основы моделирования оползней: автореф. дис. … докт. геол.-мин. наук. Москва, 1979. 43 с.

8. Черкез Е.А. Оползни северо-западного побережья Черного моря: моделирование, прогноз устойчивости склонов и оценка эффективности противооползневых мероприятий:

автореф. дис. … докт. геол.-мин. наук: 04.00.07. Одесса, 1994. 36 с.

9. Гришин В.А., Снисаренко В.И. Одесские склоны и оползни: монография. Киев: МП "Леся", 2008. 300 с.

10. Гришин В.А., Гришин А.В. Математическое моделирование оползневых процессов при сейсмических воздействиях. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2014. Вип. 55. С. 79-85.

11. Гришин В.А., Дорофеев В.С., Мартынов Г.А. Расчет склонов одесского побережья. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2010. Вип. 38. С. 184-194.

12. Великий Д.І. Стійкість ґрунтових споруд з урахуванням просторового ефекту: дис. … канд. техн. наук: 05.23.01. Одеса, 2021. 171 с.

13. Заключение об инженерно-геологических изысканиях для расчета устойчивости склона по объекту «Строительство многопрофильного курортного комплекса с апарт-отелем по адресу: г.Одесса, Французский бульвар, 85, 85/1», Одесса, 2019. 35 с.

14. ДБН В 1.1-46:2017. Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2017. 43 с.

15. ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво у сейсмічних районах України. Київ: Мінрегіонбуд України, 2014. 110 с.

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

17. Janbu N. Slope stability computation. *Embankment–Dam Engineering*. Casagtande volume. 1973. P. 47-86.

References

[1] *Informatsiyniy shchorichnik shchodo aktivizatsiï nebezpechnikh ekzogennikh geologichnikh protsesiv za danimi monitoringu EGP*, K., Derzhavna sluzhba geologiï ta nadr Ukraïni, Derzhavne naukovo-virobniche pidpriємstvo «Derzhavniy informatsiyniy geologichniy fond Ukraïni», vol. XVII, 2020.

[2] I.F. Sintsov, "Ob Odesskih opolznyah i o prichinah ih proishozhdeniya", *Zapiski Novorossijskogo obshestva estestvoispytatelej*. Odessa, T. XXII, vol. I, 1898, pp. 187-241.

[3] A.M. Drannikov, *Generalnaya skhema protivoopolznevykh meropriyatiy poberezhia g. Odessy*. Odesskiy oblispolkom. Byuro proyektirovaniya protivoopolznevykh meropriyatiy, Odessa, 1940.

[4] *Trudy Odesskogo gosudarstvennogo universiteta im. I.I. Mechnikova*, Materialy po izucheniyu Odesskikh opolzney, Odessa, T. 150, vol. 7, 1960.

[5] I.Ya. Yats'ko, "Zsuvni yavyshcha na odeskomu uzberezhzhi Chomoho moray", *Visnik meteorologiï ta gidrologiï*, no. 3-4, pp. 43-60, 1938.

[6] I.P. Zelinskii, B.A. Korzhenevsky, E.A. Cherkez i dr., *Opolzni severo-zapadnogo poberezhia Chernogo morya: ikh izucheniye i prognoz*: monografiya. Kiïv: Naukova dumka, 1993.

[7] I.P. Zelinskii, "Teoreticheskiye i metodicheskiye osnovy modelirovaniya opolzney", avtoref. dis. … dokt. geol.-min. nauk, Moskva, 1979.

[8] E.A. Cherkez, "Opolzni severo-zapadnogo poberezhia Chernogo morya: modelirovaniye. prognoz ustoychivosti sklonov i otsenka effektivnosti protivoopolznevykh meropriyatiy", avtoref. dis. … dokt. geol.-min. nauk: 04.00.07, Odes'ka derzhavna akademiya budivnictva ta arhitekturi, 1994.

[9] V.A. Grishin, V.I. Snisarenko, *Odesskiye sklony i opolzni*: monografiya. Kiïv: MP "Lesya", 2008.

[10] V.A. Grishin, A.V. Grishin, "Matematicheskoye modelirovaniye opolznevykh protsessov pri seysmicheskikh vozdeystviyakh", *Visnyk Odes'koyi Derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta* arkhitektury, vol. 55, pp. 79-85, 2014.

[11] V.A. Grishin, V.S. Dorofeev, A.G. Martynov, "Raschet sklonov odesskoho poberezhia", *Visnyk Odes'koyi Derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury*, vol. 38, pp. 184-194, 2010.

[12] D.I. Velykiy, "Stijkist gruntovih sporud z urahuvannyam prostorovogo efektu", dis. … kand. tehn. nauk: 05.23.01, Odes'ka derzhavna akademiya budivnictva ta arhitekturi, 2021.
[13] Zaklyuchenie ob inzhenerno-geologicheskih izyskaniyah dlya rascheta ustojchivosti sklona po obektu «Stroitelstvo mnogoprofilnogo kurortnogo kompleksa s apart-otelem po adresu: g. Odessa, Francuzskij bulvar, 85, 85/1», Odessa, 2019.
[14] DBN V 1.1-46:2017. Inzhenernij zahist teritorij, budivel i sporud vid zsuviv ta obvaliv. Osnovni polozhennya. Kiyiv: Minregionbud Ukrayini, 2017.
[15] DBN V.1.1-12:2014. Budivnictvo u sejsmichnih rajonah Ukrayini. Kiyiv: Minregionbud Ukrayini, 2014.
[16] A.W. Bishop, "The use of the slip circle in the stability analysis of slopes", *Géotechnique*. no. 5, pp. 7-17, 1955.
[17] N. Janbu, "Slope stability computation", *Embankment–Dam Engineering*, Casagtande volume, 1973, pp. 47-86.

ASSESSMENT OF THE STABILITY OF THE SLOPE SECTION OF THE ODESSA COAST

[1]**Osadchy V.S.,** PhD., Assistant Professor,
ovs1455@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8153-8635
[1]**Baadzhi V.G.,** Assistant,
baadzhi@ogasa.org.ua, ORCID: 0000-0002-6974-9082
[1]*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*
4, Didrichson street, Odessa, 65029, Ukraine

Abstract. Currently, there is a reduction in sites convenient for the construction of facilities. In this regard, the question of the development of new territories that were previously considered unsuitable or economically unprofitable for construction is increasingly being raised. Very often it is necessary to build buildings and structures on or near slopes. The development of landslide and landslide-prone slopes requires a comprehensive study, the results of which should be used in the selection of measures for the engineering protection of territories, as well as design and construction on slopes. The main task of engineers, when performing design and survey work in landslide-prone areas, is to assess the stability of the slope and the magnitude of the landslide pressure.

The article calculates the stability of the landslide-prone slope of the Odessa coast for the purpose of further construction development. The slope in question is located on the Franzysky Boulevard, in the area of the Chkalov resort. The site features are in complex engineering and geological conditions (loess soils, collapsing properties of soils, several water-bearing layers). It has been established that deep block landslides of extrusion occurred earlier in this area. After landslide control measures consisting in construction of marine cost protection and drainage structures, an increase in slope stability was observed. Despite the measures taken, there is a beach erosion with partial destruction of coast protection structures, which can lead to increased abrasion and negatively affect the stability of the entire slope.

Slope stability calculations are performed in two-dimensional and three-dimensional formulation. According to the flat schemes, calculations were performed in the Slide software package using Bishop and Janbu methods. The slope stability assessment in a three-dimensional formulation was performed by the finite element method using the Midas GTS NX calculation program and consists of determining the stress-strain state of the soil mass and the stability margin factor. Based on the calculation results obtained, the slope stability is assessed and options for landslide control (retaining) structures are proposed.

Keywords: landslide, slope, design scheme, stability margin factor, control landslide structures, boring pile, barrette.

Стаття надійшла до редакції 18.06.2022