

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗ ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНИХ СИТУАЦІЙ В УРОЧИЩІ ТОНЕЛЬНА БАЛКА М. ДНІПРОПЕТРОВСЬКА

О.С. Ковров, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», Україна

Робота присвячена прогнозу екзогенних геологічних процесів (ЕГП), що мають місце в урочищі Тонельна балка м. Дніпропетровська. Визначено коефіцієнт запасу стійкості для схилів балки з урахуванням геологічного профілю за допомогою програми скінченно-елементного аналізу SCAD Soft «Откос». Оцінено вплив вологонасичення ґрунтового масиву на стійкість схилу для прогнозу зсувонебезпечних ситуацій.

Вступ. Розвиток господарського комплексу України відбувається в умовах нарощування техногенної дестабілізації геологічного середовища, наслідком якої є подальше збільшення кількості кризових явищ в екологічних системах, у тому числі активізація небезпечних екзогенних геологічних процесів (ЕГП), практично на всій території держави. У таких містах, як Дніпропетровськ забудова території, витік води із водогінних комунікацій, розвиток мережі доріг призводить до стрімкого підйому рівнів ґрунтових вод та погіршення їх розвантаження. На сьогоднішній день Дніпропетровськ - одне із самих зсувонебезпечних міст в Україні. Місто побудоване на пагорбах з розгалуженою мережею балок та ярів з дуже складними в геологічному відношенні ґрунтами. Третина території міста - це просадні лесові суглинки. Вони не представляють ніякої небезпеки, коли перебувають у сухому стані. Але у випадку недостатнього дренажу або підтоплення з каналізаційних мереж або зливових колекторів лесові ґрунти насичуються вологою, їх пластичні властивості зростають а опір зсуву зменшується, що призводить до утворення зсувних ділянок.

Стан питання. Розвиток зсувних процесів пов'язаний останнім часом переважно з людської діяльністю, а саме з нерациональною забудовою, частковим або повним засміченням балок і будівництвом в них різних об'єктів, порушенням роботи систем водопроводу й каналізації, а також неконтрольованим розміщенням промислових і побутових відходів. Усі ці фактори спричиняють обводнення лесових суглинків та утворення зсувонебезпечних територій. За результатами аерофотозйомок на території Дніпропетровської області було виділено 382 зсувних ділянок загальною площею близько 20,835 км². З них 133 припадає на місто Дніпропетровськ порівняно з 17 зсувними ділянками зафіксованими у 80-х роках минулого століття. Усього у зсувонебезпечних зонах міста розташовано понад 500 житлових будинків і близько 50 промислових підприємств [1].

Формулювання цілей. Вірогідний прогноз виникнення зсувонебезпечних ситуацій та своєчасне виконання упереджувальних заходів з інженерного захисту територій від ЕГП є важливою складовою техногенної та екологічної безпеки населення.

Метою роботи є оцінка впливу гідрогеологічних характеристик ґрунтів на стійкість природних схилів для прогнозу зсувонебезпечних ситуацій. Для її виконання поставлені наступні задачі:

1. Визначити коефіцієнт запасу стійкості для схилів балки Тонельна м. Дніпропетровська з урахуванням геологічного профілю за допомогою програми SCAD Soft «Откос»;
2. Оцінити вплив вологонасичення ґрунтового масиву на стійкість схилу для прогнозу зсувонебезпечних ситуацій.

Викладення матеріалу досліджень. Розрахунок стійкості природних схилів і техногенних укосів є однією з найважливіших інженерно-геологічних задач, рішення якої орієнтоване на своєчасне попередження зсувонебезпечних ситуацій, що виникають внаслідок природних процесів та антропогенної діяльності. Сучасна активізація зсувів, що розвиваються на схилах різного генезису, досить часто пов'язана з розвитком супутніх процесів – ерозійного та абра-

зійного, які підсилюють розвиток основного процесу. Серед домінуючих природних чинників активізації необхідно виділити гідрологічні (підняття рівнів та зміна витрат води в поверхневих водотоках, рівні води та хвильовий режим морів, озер, інших водойм, ерозійна та абразійна дія поверхневих вод і відповідний підмив та розмив язикових частин зсувів), метеорологічні (атмосферні опади, температура тощо), гідрогеологічні (рівні, хімічний склад, умови живлення та дренажу підземних вод).

Урочище Тонельна балка розташоване на південному сході м. Дніпропетровська між житловими масивами Перемога, Тополя й Сокіл. Назва балки походить від залізничного тунелю, що прорізає один з міських пагорбів (рис. 1). На разі балка є місцем відпочинку, лісопарковою зоною, а також містить об'єкти будівництва різних форм власності, зокрема Центр активного відпочинку «Лавина». На окремих ділянках урочища спостерігаються інтенсивні зсувні процеси, що спричиняє занепокоєність міської влади та населення, і викликає необхідність виконання відповідної інженерної оцінки техногенної безпеки схилів. Ситуація ускладнюється розташованим у нижній частині балки резервуару системи питного водопостачання.

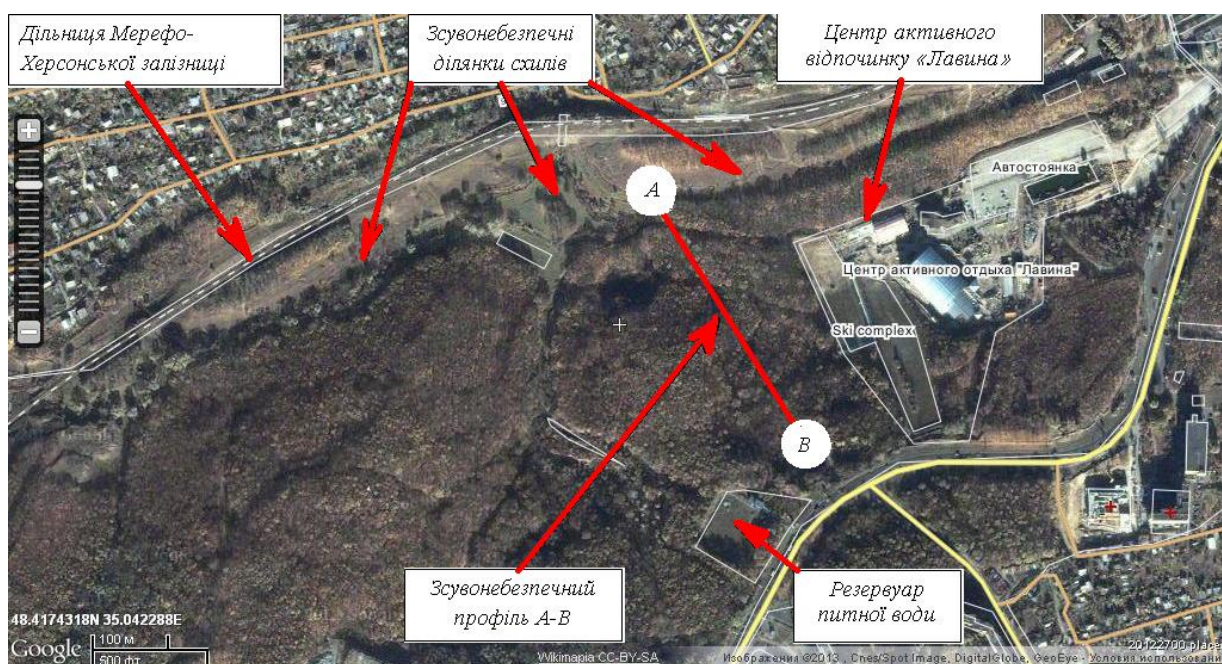


Рис. 1 – Розташування урочища Тонельна балка м. Дніпропетровська (за даними ресурсу <http://wikimapia.org>)

Для рішення проблеми стійкості природних і техногенних схилів розроблені численні методи в рамках теорії граничної рівноваги. Як механізм втрати стійкості приймається механізм ковзання масиву, що зсувається щодо нерухомої частини укосу по поверхні ковзання. При цьому, опір зрушенню по поверхні ковзання розраховується для статичних умов. Уздовж всієї поверхні ковзання дотримується критерій руйнування ґрунту прийнятий у вигляді закону Кулона-Мора:

$$\tau = C + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

де τ - дотичне напруження, σ_n - нормальне напруження, C – зчеплення ґрунту, φ - кут внутрішнього тертя.

Реальна напруга, що зрушує, одержуваним розрахунком, зіставляється із граничним опором зрушенню, і результат цього порівняння виражається у вигляді коефіцієнта запасу стій-

кості (КЗС), який є співвідношенням сил, що утримують масив ґрунту, і сил, що його зрушують.

В основі алгоритму розрахунку, реалізованого в програмі «Откос» версії 1.5 компанії SCAD Soft, лежить методика, запропонована в роботах В.Г. Федоровського й С.В. Курило [2]. Крім того, у програмі реалізовано декілька класичних методів аналізу стійкості укосів: Фелленіуса, Бішопа (спрощений), Спенсера, Корпуса інженерів (метод №1), Лоув Карафайт, Янбу (спрощений) та Янбу (коректований). Опис цих стандартних методів наведено в більшості книг, присвячених проблемі стійкості укосів.

Розрахунок стійкості схилу й пошук найбільш імовірної поверхні ковзання здійснюється при заданих інтервалах його початку й кінця. Так для зсувної ділянки схилу задаються геометричні точки r_1 та r_2 , що визначають інтервал ділянки початку зсуву, і аналогічні точки r_3 та r_4 для ділянки кінця зсуву. Незалежно від напрямку схилу повинні дотримуватися наступні правила завдання значень r : $r_4 > r_1$, $r_2 \geq r_1$, $r_4 > r_3$. (рис. 2). Так, для обраного зсувонебезпечного профілю об'єкта маємо такі дані: $r_1 = 20$ м, $r_2 = 35$ м, $r_3 = 75$ м, $r_4 = 100$ м.

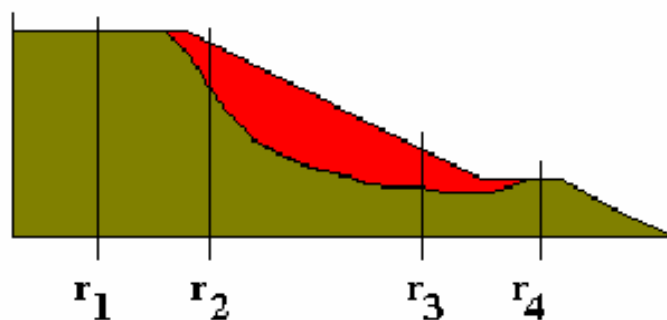


Рис. 2 – Геометричний профіль схилу в програмі «Откос»

Напрямок схилу та його геометричний профіль задається набором свердловин, які визначають границі та фізико-механічні властивості кожного інженерно-геологічного шару. В програмі «Откос» є можливість задавати горизонти ґрунтових вод (від 0 до 3), враховувати зовнішні навантаження та сейсмічні впливи.

Визначення коефіцієнту запасу стійкості складається з двох етапів – уточнення початкового наближення та розрахунок коефіцієнту запасу стійкості схилу з побудовою поверхні ковзання [3].

Для визначення стійкості схилу Тонельної балки за обраним профілем в програмі SCAD Soft «Откос» побудовано геометричний профіль укосу та задано відповідні фізико-механічні властивості ґрунтів, що складають схил (табл. 2).

Таблиця 2 - Фізико-механічні властивості інженерно-геологічних шарів

Назви інженерно-геологічних шарів	Кут внутрішнього тертя φ , град	Питоме зчеплення C , кПа	Питома вага сухого ґрунту P , кН/м ³	Питома вага у водонасиченому стані P_w , кН/м ³
Ґрунт	38	25.212	15.696	16.873
Суглинок жовто-бурий	26	34.924	17.168	18.148
Суглинок червоно-бурий	24	37.278	17.658	18.835
Пісок	33	21.582	16.677	19.228
Глина	18	981	20.601	21.582

В результаті обчислення стійкості схилу без урахування водонасичення ґрунтів отримано значення $KЗС$ за методами Федоровського-Курило (1,671), Фелленіуса (1,656), Бішопа (1,761) та Спенсера (1,764). На рис. 3 зображено результати моделювання стійкості схилу за розрахунковим методом Федоровського-Курило. Крива ковзання має круглоциліндричний профіль з висотою відриву $H_{90}=5$ м та виходом у нижній частині схилу на рівні підосви уступу. Результати моделювання за іншими методами дають аналогічну круглоциліндричну поверхню ковзання з вертикальною зоною відриву.

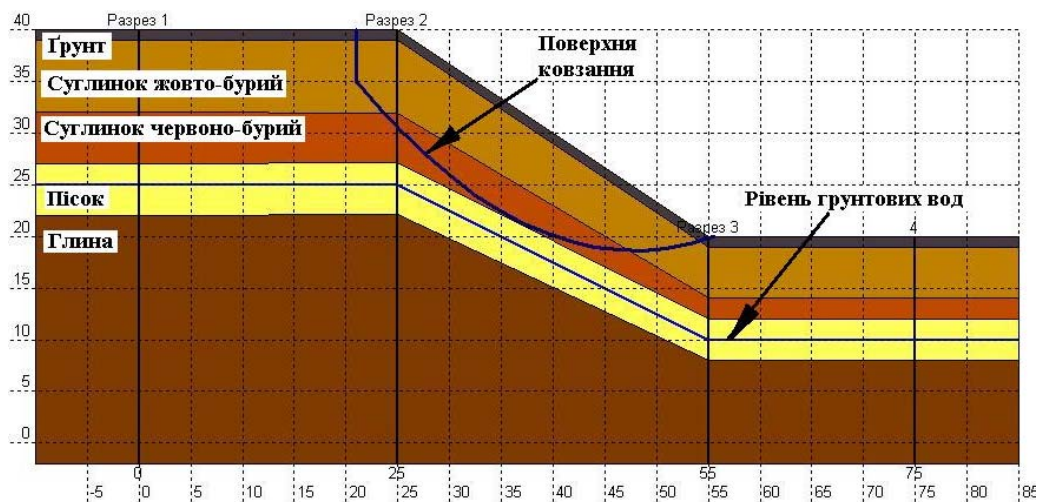


Рис. 3 – Моделювання стійкості схилу за розрахунковим методом Федоровського-Курило ($KЗУ=1,671$)

За вихідних умов схил з усередненим кутом нахилу $\alpha = 30^\circ$ знаходиться у стійкому стані. Але погіршення гідрологічного режиму території, зокрема підйом ґрунтових вод, може призвести до активізації зсувних процесів.

Використовуючи залежності фізико-механічних властивостей суглинків від їх водонасичення [4], можливо визначити коефіцієнт запасу стійкості для зсувонебезпечних схилів з урахуванням їх обводнення за наступними рівняннями:

$$\varphi = -0,06W_0^2 + 0,12W_0 + 39,86, \quad (2)$$

$$C = 0,07W_0^2 - 3,87W_0 + 58,78, \quad (3)$$

де φ – кут внутрішнього тертя, град; C – зчеплення ґрунту, кПа.

У табл. 3 наведено значення зчеплення та куту внутрішнього тертя ґрунтів в залежності від вологонасичення.

Таблиця 3 – Залежність фізико-механічних властивостей ґрунтів від вологонасичення

Вологонасичення ґрунту W , %	Зчеплення C , кПа	Кут внутрішнього тертя φ , град.
10	27.08	35.06
12	22.42	32.66
14	18.32	29.78
16	14.78	26.42
18	11.8	22.58
21	8.38	15.92

Використовуючи отримані результати розрахунків фізико-механічних властивостей ґрунтів, обчислюємо відповідні значення КЗС для водонасиченого ґрунтового масиву.

На рис. 4 представлено результати стійкості схилу за умов водонасичення у діапазоні $W = 10 \dots 21\%$. За умов критичних значень вологонасичення $W = 18 \dots 19\%$, $KЗС = 1$, що відповідає стадії руйнування схилу. Тому для забезпечення стійкості схилу вологість порід не повинна перевищувати отриманих значень. Залежності, отримані за методами Фелленіуса, Спенсера та Бішопа мають лінійний вигляд, при чому останні два практично співпадають за значеннями. Поліномна крива, отримана за методом Федоровського-Курило, відрізняється від вищезазначених лінійних залежностей лише до значень $W = 14\%$, але при подальшому зростанні вологонасичення ґрунту значення КЗС практично співпадають.

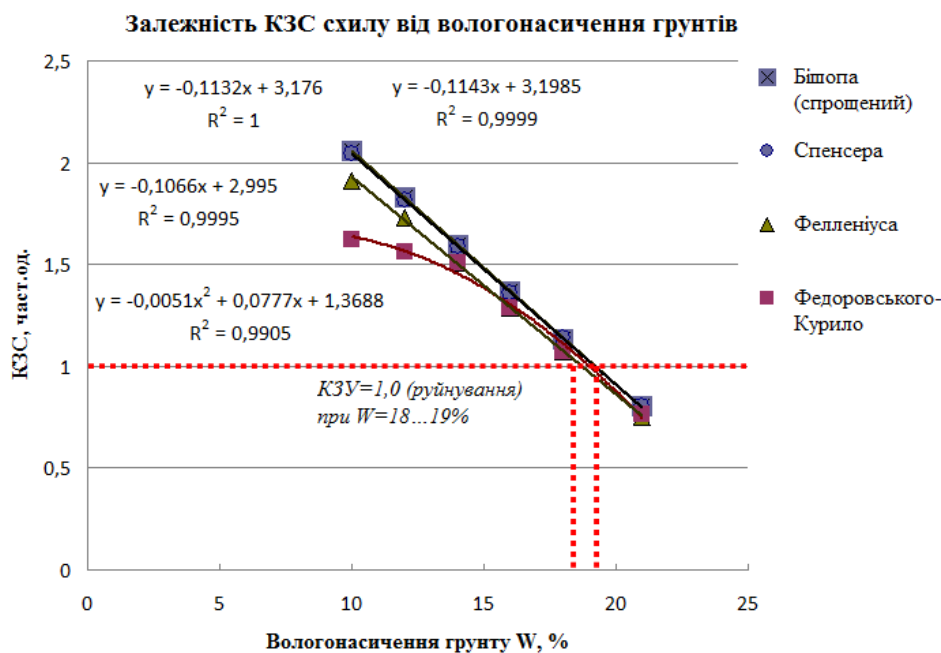


Рис. 4 – Залежність КЗС від вологонасичення ґрунту

Висновки. Зсуви мають значне поширення на території України, що зумовлено геологічною будовою та геоморфологічними умовами, наявністю деформуючих горизонтів. На разі їх кількість перевищує 22 900 і постійно зростає під впливом природних і техногенних факторів. Активна господарська діяльність, відсутність належних інженерних та екологічних заходів щодо освоєння територій спричиняє активне поширення зсувів на території населених пунктів, що створює загрозу безпеці життєдіяльності населення, інфраструктурі та території в цілому.

В роботі виконано серію розрахунків коефіцієнту запасу стійкості схилів балки Тонельна м. Дніпропетровськ при різному вологонасиченні лесових ґрунтів за допомогою програмного пакету SCAD Soft «Откос». За умов вологонасичення лесових ґрунтів $W = 18 \dots 19\%$, $KЗС = 1$, що відповідає стадії руйнування схилу. Враховуючи геоморфологічні особливості об'єкта, згідно з ДБН В.1.1-3-97 [5] необхідно здійснювати ефективні інженерні заходи щодо захисту від зсувних процесів.

Список літератури

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2011 році [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua/content/nasdopovid2011.html>. - К: Міністерство надзвичайних ситуацій України, 2012. – 218 с.
2. В.Г. Федоровский, С.В. Курилло. Метод расчета устойчивости откосов и склонов // Геоэкология, 1997, №6.- С. 95-106.

3. Перельмутер М.А., Федоровский В.Г. Руководство пользователя к программе «Откос». Анализ устойчивости откосов и склонов. - Версия 1.5. М: SCAD Soft, 2007. – 15 с.
4. Деревягина Н. И. Исследование влияния физического состояния лессовых грунтов на их механические свойства в условиях объемно-напряженного состояния / Матер. VII Междунар. Науч. Конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «География, геоэкология, геология: опыт научных исследований» / Под ред. проф. Л.И. Зеленской. - Днепропетровск: ІМА-прес, 2010.- Вып. 7.- С.72-74.
5. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от оползней и обвалов. Основные положения: ДБН В.1.1-3-97. – К.: Госстрой Украины, 1998.