

ОЦІНКА СТІЙКОСТІ СХИЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ 3D МОДЕЛЮВАННЯ

Демчишин М.Г., Кріль Т.В.

Інститут геологічних наук НАН України
м. Київ, Україна

АНОТАЦІЯ: Розглянуто умови формування осередків зсувів на схилах урбанізованих територій. Показано недосконалість розрахунків рівноваги ділянок територій з певним нахилом при використанні коефіцієнта стійкості схилу. Даються розрахунки та оцінка стійкості зсувонебезпечних територій в 3D системі з урахуванням геометричних параметрів області і об'ємів зрушених ґрунтів.

АННОТАЦИЯ: Рассмотрены условия формирования очагов оползней на склонах урбанизированных территорий. Показано несовершенство расчетов равновесия участков территорий с определенным наклоном с использованием коэффициента устойчивости склона. Даются расчеты и оценка устойчивости оползнеопасных территорий в 3D системе с учетом геометрических параметров области и объемов смещенных пород.

ABSTRACT: Conditions of forming of landslip focus on slopes of the urbanised territories are considered. Imperfection of balance calculations of sites of territories with a certain inclination at the use of factor of a slope stability is shown. Calculations and an estimation of stability a landslip of dangerous territories in 3D are given to system taking into account geometrical parametres of area and volumes of the displaced soils.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: схил, зсув, стійкість, гранична рівновага, деформації, зміщення.

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Відхилення денної поверхні від еквіпотенціального рівня геоїда визначає розманітність форм рельєфу, своєрідність ландшафтів, надає

виразності краєвидам, разом з тим створює значні обмеження для використання таких ділянок під забудову. У межах літосфери нашої планети строго горизонтальні ділянки зустрічаються більше як виключення, переважають схили різного ступеня крутості. У табл. 1 наведено дані за розподілом площ з різними нахилами для Євразії в цілому та України, що подаються в різних діапазонах кутів нахилу [1, 8, 9].

Таблиця 1
Порівняльна характеристика різної крутості схилів Євразії в цілому та України

Євразія [1]			Україна [8]		
Кут нахилу, °	Площа, тис. км ²	% до загальної площі	Кут нахилу, °	Площа, тис. км ²	% до загальної площі
до 1	5400	10	0-1,5	471,2	78
1-10	32100	61	1,5-3	102,3	17
10-20	10600	19	3-6	5,4	0,9
20-35	4200	8	12-20	10,9	1,8
>35	1100	2	>20	1,2	0,2

Нормативні документи з містобудування [7] відносять території з певним нахилом (схили) до малосприятливих і несприятливих для будівництва, проте, з об'єктивних причин, останнім часом їх необхідно ширше використовувати в цілях урбанізації з врахуванням функціонального зонування міських територій. При цьому потрібно досить надійно оцінювати і прогнозувати ризики, пов'язані з використанням схилів певної крутості й геологічної будови, що визначаються розвитком небезпечних геологічних процесів – зміщенням ґрунтів на схилах, переважно у великих об'ємах, виникненням надзвичайних ситуацій, аварій і катастроф.

При проектуванні забудови схилів в більшості випадків користуються визначенням співвідношення утримуючих та зрушуючих сил на схилах, що виникають на окремих ділянках, тобто так званим коефіцієнтом стійкості схилу, який залежить від різних факторів [2, 4, 5], в тому числі і сезонних змін (рис. 1).

Використання коефіцієнта стійкості призводить до втрати просторового уявлення площ та об'ємів, в яких розвивається зсувний процес. Останнє ускладнює вибір необхідних заходів інженерної підготовки території для укріплення схилу та забезпечення стійкості об'єктів, оскільки сама величина коефіцієнта стійкості не є постійною, як показано на рис. 1.

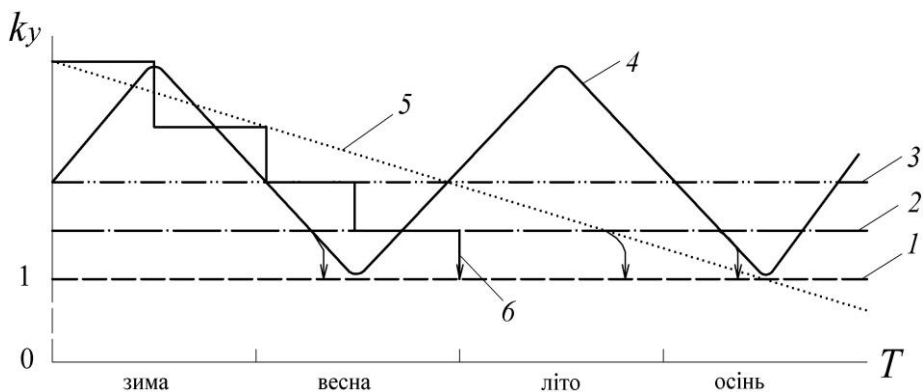


Рис. 1. Графік змін коефіцієнта стійкості схилу: 1 – лінія граничної рівноваги; 2 – межа чутливості; 3 – межа безпеки; 4 – сезонні зміни; 5 – незворотні зміни; 6 – градуйовані зміни за раптової втрати стійкості

В існуючих до цього часу схемах і комп'ютерних програмах розрахунки коефіцієнта стійкості проводяться у двовимірних варіантах, що призводить до неврахування просторового характеру розвитку процесів, веде до значних помилок в оцінці стійкості схилу і не задовольняє потреб проектування інженерної підготовки для схилів та інженерного захисту об'єктів на схилах.

Розрахунки показують, що положення та орієнтація ослабленої поверхні у присхиловому масиві в значній мірі впливають на значення коефіцієнта стійкості, при цьому зменшення кута внутрішнього тертя впливає більше ніж зниження зчеплення [5, 6]. При оцінці зміни стійкості схилу з урахуванням тривимірного характеру деформування та зміщення ґрунтів на схилі ситуація буде більш складною.

Важливим є визначення схилів, на яких можливі процеси зрушення та деформацій, об'ємів породного матеріалу (ґрунтів), що можуть бути охоплені цими процесами, величин і швидкості зміщень, руйнівної енергії.

Для прогнозу зміщень порід на схилах в об'ємах і зі швидкостями руйнівного (катастрофічного) характеру, запобігання збитків від таких зміщень, своєчасного вжиття заходів щодо усунення основних причин, що призводять до зсувів, необхідно проводити постійні візуальні й інструментальні спостереження на схилах. Передусім на схилах з вираженими в рельєфі зсувними формами і на схилах, для яких такі форми відсутні, але на яких поширені пухкі породи, є умови для виникнення в масивах ослаблених поверхонь і зон, що визначають можливості розвитку зсувів.

ФОРМУВАННЯ ЗСУВНИХ ОСЕРЕДКІВ НА СХИЛАХ

Пухкі піщано-глинисті ґрунти на схилах з нахилом до 10% ($5^{\circ}40'$) практично не зазнають переміщень в об'ємах і з швидкостями, що можуть становити загрозу для об'єктів та людей. При нахилах поверхні від 10 до 20% ($5^{\circ}40' \dots 11^{\circ}20'$) можливі деформації і зміщення глинистих ґрунтів при зміні їх консистенції внаслідок зволоження від твердої до пластичної і текучо-пластичної [2, 5, 6]. Такі зміни відбуваються через зволоження з поверхні атмосферними водами, техногенними витокami або в результаті підйому рівня ґрунтових вод, які розвантажуються на схилі (рис. 2).

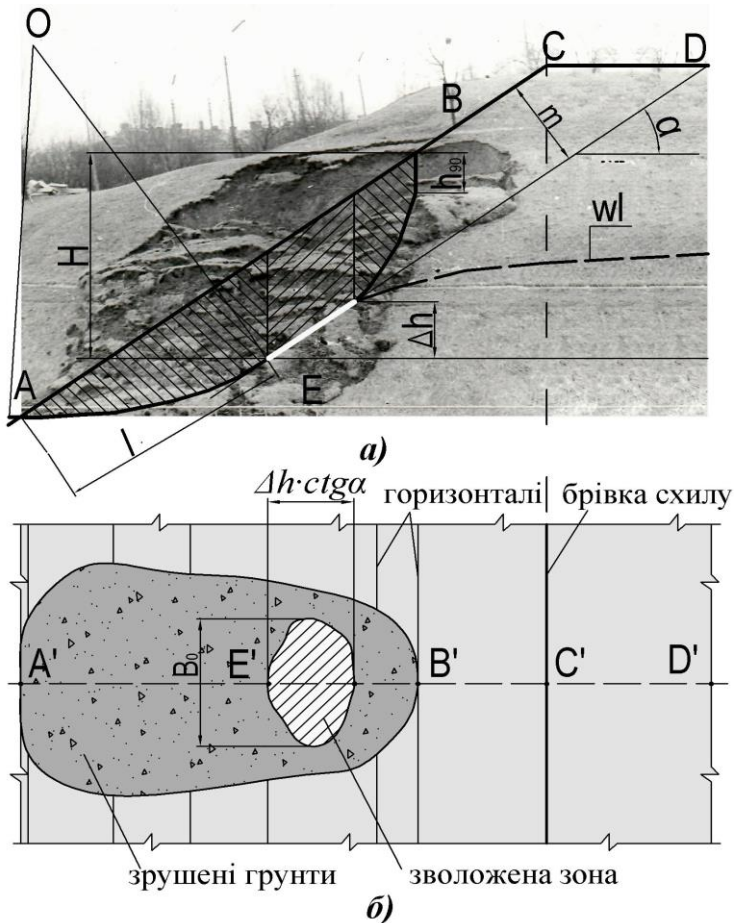


Рис. 2. Формування ослаблених зон і утворення зрушень при піднятті рівня ґрунтових вод (а), схил в плані (б)

Якщо сучасні або давні форми рельєфу схилів не вказують на прояв зсувних зміщень, прогноз можливих деформацій ґрунтових мас виконується тільки на основі вставлення закономірностей їх розвитку або при проведенні інструментальних геодезичних спостережень.

З цією метою на схилі створюється геометрична мережа опорних знаків, а також знаків спостереження [3, 5]. На схили значної протяжності та з постійним кутом нахилу накладається геометрично правильна (квадратна або прямокутна) мережа знаків з орієнтацією основних осей X і Y у напрямку за падінням та простяганням схилу. Інтервали між спостереженнями приймаються залежно від швидкості зміщення пунктів і точності інструментальних вимірювань.

Аналіз спостережень здійснюється на плані (масштаб 1:500, 1:1000), де наносяться положення спостережних знаків, приведені до горизонту, та на профілях, де відображені траєкторії руху точок (рис. 2).

Паралельні і концентричні траєкторії руху пунктів поверхні, що сходяться, рівні абсолютні величини векторів зміщень окремих точок денної поверхні схилу свідчать про формування загальної поверхні ковзання з одним глибоким осередком зсуву. Хаотична орієнтація траєкторій руху пунктів і їх розбіжності в абсолютних величинах свідчать про неглибоке проникнення деформацій в прихилоний масив і про присутність окремих, часто незв'язаних між собою осередків зміщень.

ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМІВ ҐРУНТІВ, ОХОПЛЕНИХ ЗМІЩЕННЯМИ НА СХИЛАХ

Об'єми ґрунтів, які можуть перейти в рухомий стан, можуть бути визначені, якщо відомі деформації поверхні схилу (рис. 3). Нами запропонований найпростіший спосіб для переходу до об'ємного завдання. Він здійснюється через поверхню, на якій відмічаються зміни, які передували зсувам.

Маса ґрунтів – основна рушійна сила, яка ініціює розвиток зміщень. Зсув порід починається після зменшення міцності порід по контуру маси, в якому сили зрушення перевищують утримуючі сили при заданих морфометричних параметрах схилу. Очевидно, що збільшення зрушуючих сил із збільшенням маси відбувається швидше, ніж збільшення площ опорного зрушення. При певних параметрах схилу і встановленому положенні в масиві ослаблених поверхонь в рух переходить так званий «критичний об'єм».

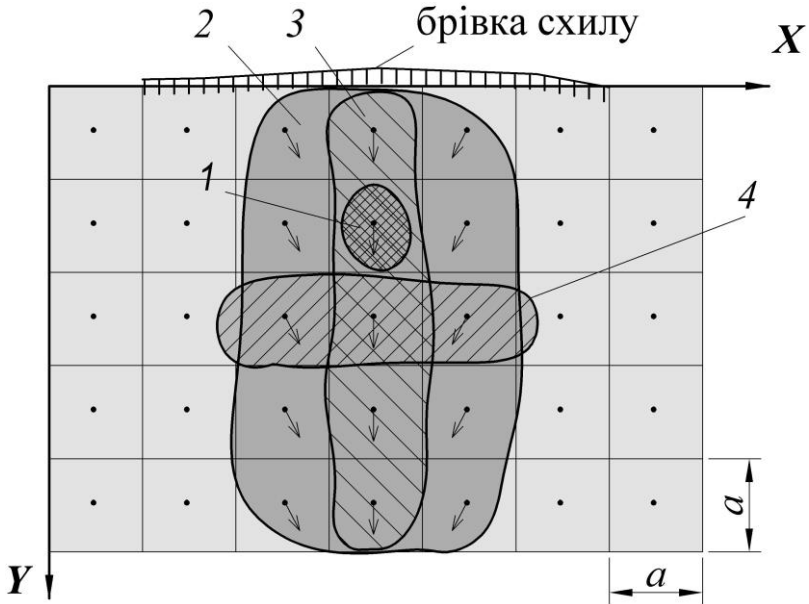


Рис. 3. Схема прояву деформацій поверхні схилу за спостереженнями зміщення знаків: 1 – контур зміщення при деформації одного знаку; 2 – зміщення більшого об'єму; 3 – неглибокі зміщення глетчерного типу (зсув-потік); 4 – неглибокі зміщення вздовж схилу

Об'єми порід, які переходять в рух, оцінюються в простих випадках при розвиненій квадратній мережі знаків спостереження (сторона квадрата дорівнює a , нахил схилу оцінюється кутом α), за кількістю знаків, що перейшли в рух. Максимальний об'єм порід, охоплених деформаціями, при одному рухомому знаку буде:

$$V = \frac{\pi \cdot a^3}{12 \cos^3 \alpha}.$$

Визначення площ і об'ємів порід, які переходять в рух по схилу, у разі зафіксованих зсувів n сусідніх знаків проводиться залежно від положення знаків на лініях, рівновіддалених від осей X або Y. При виведених з початкового положення n знаках з однаковими координатами максимальний об'єм порід обчислюється за формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot a^3 \cdot n}{12 \cdot \cos^3 \alpha}.$$

З урахуванням геометричних параметрів схилу, його конфігурації в плані і з урахуванням геологічної будови, а також площ, визначених при геодезичних спостереженнях, визначають об'єм порід зміщених по схилу:

$$V = \frac{S \cdot c}{\gamma \cdot (\sin \alpha - \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi)}$$

де S – площа охоплених зміщеннями ґрунтів,

c – зчеплення,

γ – щільність ґрунту,

φ – кут внутрішнього тертя,

α – кут нахилу схилу.

ВИСНОВКИ

При використанні територій з нахилом поверхні, що перевищує 10% (5°40'), масиви яких включають пухкі піщано-глинисті ґрунти необхідно приймати до уваги ризику виникнення деформацій і зміщень зсувного типу. Оцінка стану таких ділянок потребує визначення площ, на яких можуть розвиватись зміщення, об'єми породного матеріалу, що можуть бути охоплені деформаціями і зміщенням, швидкості і шлях зміщення, руйнівна енергія, що виділяється при цьому. Визначати площу і об'єми зміщень пропонується на основі інструментальних геодезичних спостережень, які проводяться на системі марок (реперів), закладених за певною схемою.

Площа і характер зміщення порід в певний період, формування поверхонь зміщення (ковзання), маси, що зміщуються (можуть зміщуватися), визначаються за характером зміщення марок з врахуванням геологічної будови присхилового масиву, гідрогеологічних умов, техногенних впливів.

Виникнення гравітаційних процесів в межах схилів на урбанізованих територіях спричиняє пошкодження, деформації і руйнування інженерних об'єктів, будівель і споруд. Іноді вони мають вкрай тяжкий характер.

Ризик втрат при виникненні зсувів повинен бути оцінений, як вже для забудованих територій, так і для таких, де планується нове будівництво.

Небезпека зсувів оцінюється по-різному для місць поселень, розміщених на узбережжі, річкових долинах, на гірських схилах. Для оцінки ризику і ухвалення рішення про захист замість розрахунків коефіцієнта стійкості необхідно вирішити 3D завдання, де перш за все визначити область і об'єми ґрунтів, залучених в рух на схилах, що одночасно з цим дає можливість визначити величини зрушуючих сил, руйнівну енергію процесу, площі, на які він може поширюватись.

ЛІТЕРАТУРА

1. Воскресенський С.С. Динамическая геоморфология. Формирование склонов / Воскресенський С.С. – М.: МГУ, 1971. – 222 с.
2. Demchyshyn M., Kril T. Instability of different genetic slope types / 7th European Congress on Regional GEOscientific Cartography and Information System. Bologna, Italy, June 12th-15th 2012. – V. 1. P. 78-79.
3. Демчишин М.Г. Спостереження передзсувних деформацій і прогноз стійкості схилів / Демчишин М.Г., Колтунов І.І. // Геологічний журнал. – 2005, – №3. – С. 23-29.
4. Demchyshyn M.G. Landslide triggering events and slopes stability. Proceeding of the 8th International IAEG Congress. Balkema. Rotterdam, 2000. - pp. 3987-3992.
5. Демчишин М.Г. Современная динамика склонов на территории Украины / Демчишин М.Г. – Киев: Наук. думка, 1992. – 256 с.
6. Кріль Т.В. Техногенні динамічні впливи на геологічне середовище міста (на прикладі м. Києва) / Кріль Т.В. - К.: Наукова думка, 2015. – 160 с.
7. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень : ДБН 360-92. – [Чинний від 2007-01-02]. – К.: Мінбуд України, 2006. – 84 с. – (Будівельні норми України).
8. Статистичний довідник «Україна за 50 років» (1917-1967). - К.: Політвидав УРСР, 1967. – 17 с.
9. Указания по выявлению, учету и оценке территорий, подверженных оползневому и абразионно-эрозионным процессам в населенных пунктах Украинской ССР. Киев, 1977. – 54 с.

REFERENCES

1. Voskresensky S.S., 1971. Dynamic geomorphology. Forming of slopes. Moscow: Izd-vo MGU, 222 p. (in Russian).
2. Demchyshyn M. Instability of different genetic slope types / M. Demchyshyn, T. Kril // 7th European Congress on Regional GEOscientific Cartography and Information System. Bologna, Italy, June 12th-15th 2012 – V. 1. P. 78-79.
3. Demchyshyn M.G., Koltunov I.I., 2005 Supervision of deformations of pre-change and prognosis of firmness of slopes. Geolog. J., №3, p. 23-29 (in Ukrainian).
4. Demchyshyn M.G. Landslide triggering events and slopes stability. Proceeding of the 8th International IAEG Congress. Balkema. Rotterdam, 2000, pp. 3987-3992.
5. Demchyshyn M.G., 1992. The current dynamics of slopes on the territory of Ukraine (engineering and geological aspects). Kyiv : Naukova Dumka, 255 p. (in Russian).

6. Kril T.V. Technogenic dynamic influences on the geological environment of city (on an example of Kyiv). Kyiv: Naukova Dumka, 2015. – 160 p. (in Ukrainian).
7. Town-planning. Planning and building of city and rural settlements, 2006 : DBN 360-92. [Operating from 2007-01-02]. Kyiv: Minregionbud Ukraine, 84 p. (Derzh. budiv. norms of Ukraine) (in Ukrainian).
8. Statistical reference book is «Ukraine for 50 years» (1917-1967). 1967. - Kyiv: Polityvdav Ukrainian Soviet Socialist Republic , 17 p. (in Ukrainian).
9. Instructions on revealing, the account and an estimation of the territories subject landslip and abrasion-erosive processes in settlements of the Ukrainian Soviet Socialist Republic. 1977, Kyiv, 54 p. (in Russian).

Стаття надійшла до редакції 11.07.2016 р.