

ВПЛИВ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ НА СТІЙКІСТЬ ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНИХ СХИЛІВ

Розглянуто вплив зелених насаджень з вертикальною кореневою системою на стійкість ґрунтових масивів. Встановлено граничну криву для визначення стійкості схилу.

Постановка проблеми. Одним з найбільш небезпечних явищ на території сучасних міст є зсуви, які являють собою зміщення мас порід вниз по схилу під дією сили тяжіння. При підвищенні вологовмісту ґрунту на зсувонебезпечних ділянках [1, 2] відбувається збільшення його питомої ваги внаслідок заповнення водою пор, в яких раніше знаходилось повітря, і збільшується гідродинамічний тиск на масу ґрунту, що сповзає. Найчастіше зсуви спостерігаються, коли схил навантажений пухким матеріалом (тоді сили тяжіння переважають сили зв'язності ґрунту) або підвищується вологовміст ґрунту (в цьому випадку вода заповнює пори і порушує зчеплення між частками ґрунту). В результаті зсуви призводять до руйнування житлових будинків і загрожують цілим населеним пунктам, сільськогосподарським угіддям, створюють небезпеку при експлуатації кар'єрів та видобутку корисних копалин, пошкоджують комунікації, тунелі, трубопроводи, телефонні та електричні мережі, загрожують греблям, можуть сприяти повеням, утворювати тимчасові озера. Зсуви можуть бути як наслідком природних процесів [13], так і результатом діяльності людини. До природних факторів, які можуть викликати зсуви, відносять: вивітрювання порід, перенасичення їх атмосферними опадами або підземними водами, сейсмічні поштовхи, зміну або зміщення рослинного шару, перетин порід тріщинами. Відкриті кругоспадні тріщини стали, наприклад, причиною зсуву [4] поблизу греблі Шодан в Баських Альпах (Франція) та зриву гребню в горах Тертл, Альберта (Канада), внаслідок якого 90 млн т вапняку змістилось вниз по схилу, заваливши 2135 м залізниці і викликавши багато руйнувань та людських жертв. Антропогенними факторами є: спорудження будівель на схилах, перенасичення порід вологою внаслідок підтіканих з застарілих колекторів, вибухові роботи, підтоплення території, підрізка схилів при будівництві доріг, прокладання трубопроводів, вібрація та дія транспортних і будівельних машин, тобто будь-яка будівельна і господарча діяльність, що проводиться без врахування геологічних умов місцевості. Як приклад можна навести зсув [4] у Гетеборзі (Швеція), який потягнув за собою недавно побудовану набережну; зсув у Аберфені (Південний Уельс), що наклав житлові будинки і школу, при цьому загинуло 116 дітей і 28 дорослих, причиною зсуву були вугільні відвали.

В Україні зсуви поширені в містах, розташованих на схилах, берегах річок та біля морських портів, зсуви є характерними, в першу чергу, для Києва, Севастополя, Одеси, Чернівців.

В Києві, наприклад, нараховується понад 100 зсувних ділянок загальною площею понад 400 га. У стані активного розвитку знаходяться 14 зсувів. Станом на 01.01.2001 р. на території України зафіксовано [5] 19990 зсувів загальною площею близько 2290,1 км². Ураженість зсувами для деяких регіонів України сягає: в Закарпатській області – 6,8 % території, Івано-Франківській – 1,8 %, Чернівецькій – 2 %, в Гірничому Криму – 0,16 %. На рівнинній частині території України зсуви поширені в середній і нижній течії басейну р. Дніпро та його лівих приток (Київська, Черкаська, Полтавська, Кіровоградська, Дніпропетровська, Запорізька та Херсонська області). У причорноморських районах зсуви пов'язані з вузькою смугою узбережжя Чорного та Азовського морів (райони міст Одеса, Маріуполь, Бердянськ та ін.). Підтоплення лесових ґрунтів обумовлює виникнення зсувних процесів [3] у Дніпропетровську, Запоріжжі, Лисичанську Луганської обл. та інших містах. У Лисичанську [6] налічується 25 великих циркоподібних зсувів площею до 15 тис. м² і об'ємом 20 — 30 тис. м³. У Чернівцях виявлено 64 зсувні ділянки, внаслідок активізації яких зруйновано близько 30 житлових будинків, завдано шкоди чотирьом промисловим підприємствам.

Таким чином, зсувні процеси є досить небезпечним явищем, нехтування яким може призвести до важких наслідків. Зсуви в тій чи іншій мірі розповсюджені в усіх областях України, тому запобігання та зменшення їх руйнівної сили є актуальною проблемою в умовах міського ландшафту. Як видно з наведеної нижче таблиці [5], найбільш проблемними в цьому плані є області з гірським рельєфом місцевості (Закарпатська, Івано-Франківська) та ті, що розташовані поблизу значних водних ресурсів.

Таблиця

Поширення зсувів на території деяких областей України [5]

Регіони України	Загальна кількість зсувів	Площа зсувів, км ²
-----------------	---------------------------	-------------------------------

Закарпатська	72000	918,70
Чернівецька	1622	661,40
Івано-Франківська	573	253,30
Полтавська	810	84,723
Одеська	5481	51,193
Львівська	870	41,600
АР Крим	1336	56,100
Дніпропетровська	314	34,00
Харківська	730	48,321
Київська	794	23,800

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні відомо досить багато протизсувних заходів. Для захисту інженерних будівель від зсувів вдаються до зміни рельєфу схилу з метою підвищення його стійкості; штучного заниження рівня підземних вод за допомогою водовідведення; будівництва споруд, які підтримують укіс; насадження рослинності з вертикальною кореневою системою, берегозахисних заходів проти підмиву схилів та ін. Для застосування того чи іншого протизсувного заходу необхідно, в першу чергу, визначити природу зсуву, в іншому випадку не буде досягнуто очікуваного ефекту. Крім того, протизсувні заходи вимагають значних підготовчих робіт, відповідних матеріальних розрахунків та часто значних матеріальних і фінансових витрат.

Взагалі можна відокремити такі групи досліджень: роботи, в яких розглядається вплив сповзання ґрунтових масивів на деформації будівель; роботи з дослідження деформацій будівель і споруд при сповзання ґрунтових масивів [7, 8]; окремі роботи [9–11] стосуються розробки методів прогнозування і моделювання умов стійкості ґрунтових мас та їх руху при зсувах. Окрему групу складають роботи з дослідження протизсувних конструкцій – їх структур, зусиль, які в них виникають при тиску ґрунтових масивів та умов застосування [12–14].

Наприклад, в роботі [14] наведено заходи з запобігання зсувів в Криму, де активних зсувних ділянок на автомобільних дорогах нараховують більше 100. Ці заходи були впроваджені вже на стадії будівництва автомобільних доріг Сімферополь–Алушта, Алушта–Ялта і Ялта–Севастополь. Це, в першу чергу, водовідведення, будівництво систем лотків, дренажів, укріплення схилів масивними стінами, банкетами і ґрунтовими контрфорсами, обладнання камінно-щебневих фільтрів. Однак і названі заходи не дозволяли повністю уникнути зсувних явищ. Тому вперше у вітчизняній практиці стали застосовувати буронабивні палі для будівництва зсувозахисних споруд. Впровадженню пальних споруд сприяли [14]: індустріальність технологічного процесу виготовлення паль, обмежені розміри будівельного майданчика, які виключали небезпечні для схилу завантаження в процесі здійснення робіт, збереження режиму ґрунтових вод, мінімізація негативних дій на навколишнє середовище, а також особливості інженерно-геологічної будови схилів Кримських гір.

Виділення невирішених раніше частин проблеми. Як видно з наведеного вище, на сьогодні більшість досліджень з забезпечення стійкості зсувонебезпечного схилу приділяють увагу інженерним заходам і практично не розглядається вплив рослинного шару. При цьому враховуються, як правило, структурний склад, вологовміст ґрунту, форма поверхні ковзання, вплив гідростатичного та гідродинамічного тисків. В багатьох випадках саме знищення рослинного шару при незмінних інших факторах (геометрія зсувного схилу, вологовміст ґрунту, відсутність поблизу схилу будівельних та вибухових робіт) стає причиною появи на раніше стійких ділянках зсувів, які в містах можуть призвести до значних матеріальних збитків, руйнувань і навіть людських жертв. Очевидно, що вплив зелених насаджень в забезпеченні стійкості схилу буде залежати від багатьох чинників: геометрії площини зсуву, типу кореневої системи, віку рослин, частоти їх розташування в ґрунті, довжини і висоти схилу. Далі запропоновано забезпечення стійкості зсувонебезпечного схилу за допомогою рослинного шару в залежності від розмірів схилу при інших незмінних умовах.

Метою даної статті є встановлення впливу рослинного шару з вертикальною кореневою системою на стійкість зсувонебезпечного схилу.

Основний матеріал дослідження. Розглянемо плоску задачу, коли смуги ґрунту шириною dy не мають внутрішнього тертя, а рушійна сила T викликана силою тяжіння (рис. 1).

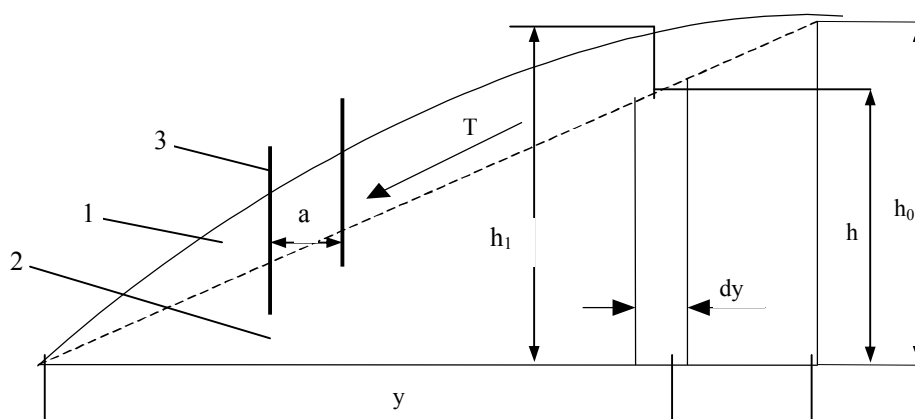


Рис. 1. До розрахунку несучої здатності рослинного шару зсувонебезпечного зсуву:
 1 – рухомий шар ґрунту; 2 – нерухомий шар ґрунту;
 3 – вертикальна коренева система

Тоді сила, яка діє на елемент ґрунту dy , визначається []:

$$dG = ch(y) \cdot 1dy, \quad (1)$$

де c — густина ґрунту; h — висота шару ґрунту; β — кут нахилу площини зсуву до горизонталі.

Нехай верхня границя схилу описується кривою другого порядку. Розмістивши початок координат в точці O (рис. 1), отримуємо рівняння кривої:

$$h = h(y) = -k(y - y_0)^2 + h_0, \quad (2)$$

де h_0 — висота найвищої точки схилу; y_0 — координата найвищої точки схилу по горизонталі.

Ордината площини зсуву для довільної точки з координатою y :

$$h = y \operatorname{tg} \beta, \quad (3)$$

де y — координата розташування смуги ґрунту товщиною dy .

Таким чином, зусилля зсуву для елементарного об'єму ґрунту буде мати вигляд:

$$dT = c \sin \beta (h(y) - h_1(y)) = c \sin \beta (-k(y - y_0)^2 + h_0 - ay). \quad (4)$$

Зусилля зсуву, яке діє на всю рухому частину ґрунту:

$$T = c \sin \beta \int_0^{y_0} (-k(y - y_0)^2 + h_0 - ay) dy, \quad (5)$$

де y_0 — координата найвищої правої точки схилу.

Розглянемо зусилля, яке витримує рослинний шар ґрунту. Очевидно, що доцільно використовувати рослини з вертикальною кореневою системою, глибина проникнення якої в ґрунт в засушливих районах може сягати 6–10 м. Для випадку, що розглядається, прийнемо глибину проникнення кореневої системи в ґрунт рівною 2,5 м, що є характерним для лісостепової зони [15].

Розташуємо кореневі системи на відстані на відстані 5 м одна від одної. Тоді для тих систем, які проходять через площину зсуву, є можливість розрахувати їхню несучу здатність на зріз. Кількість таких корневих систем буде становити:

$$N_1 = N_0 - N', \quad (6)$$

де N_0 — кількість корневих систем, розташованих на поверхні схилу; N' — кількість корневих систем, які не перетинають площу схилу, для них (рис. 1):

$$h - h_1 > L_k, \quad (7)$$

де h_1 — висота схилу при вході кореневої системи в ґрунт; h — висота поверхні зсуву в точці входження кореневої системи в ґрунт; L_k — довжина кореневої системи.

Для тих корневих систем, які перетинають площину зсуву і утримують схил, знаходимо діаметр кореню при перетині його площиною зсуву. При цьому зробимо такі припущення:

- корінь має форму конуса з кутом при вершині $\gamma \approx 0,01$ рад.
- зрізання кореню при зсуві здійснюється по площині, перпендикулярній осі конуса;
- границя міцності кореню на зріз в будь-якому його поперечному перерізі є сталою величиною.

Тоді площа поперечного перерізу кореневої системи S_k , яка опирається зсуву, дорівнює:

$$S_k = (L_k - (h_1 - h)) \sin \gamma. \quad (8)$$

За допомогою розрахунків, виконаних в програмному продукті Mathcad було визначено кореневі системи, які не задовольняють вимогам (7) і розраховано їхню несучу здатність. Результати розрахунків

представлено на рис. 1. Точка К відповідає висоті схилу, при якій його стійкість забезпечується тільки рослинним шаром. Точка L характеризує відсутність опору рослинного шару процесам зсуву.

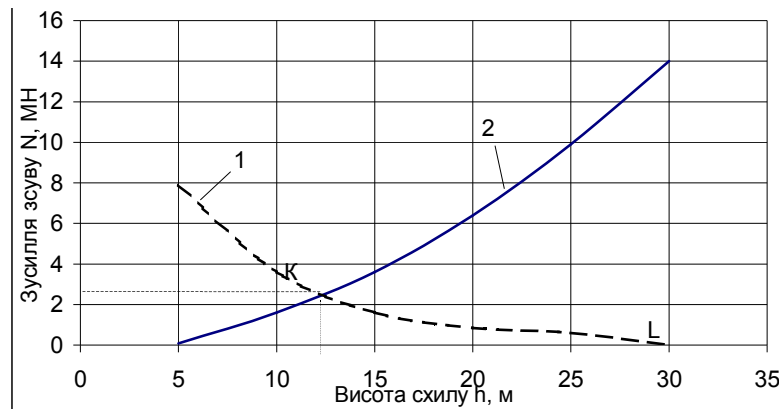


Рис. 2. Вплив висоти схилу на несучу здатність рослинного шару (гр. 1) і зусилля зсуву (гр. 2)

На рис. 3 за результатами проведених розрахунків представлено області стійкості та можливого зсуву схилу, що обумовлені впливом його розмірів на несучу здатність рослинного шару. Область А відповідає тим розмірам, при яких стійкість схилу забезпечується рослинним шаром, область характеризується розмірами схилу, при яких зусилля зсуву перевищує несучу здатність кореневої системи. Тут стійкість схилу внутрішнім тертям в ґрунті, зв'язністю його часток та інженерними заходами. Для розмірів схилу, які відповідають області В, характерною є відсутність впливу рослинного шару на стійкість схилу. Вона забезпечується виключно за рахунок зв'язності часток, внутрішнього тертя та завдяки інженерними заходами. Як видно, при збільшенні довжини стійкого схилу в 5 разів його висота зростає тільки в 1,7 рази. Таким чином, можна говорити про сталість несучої здатності рослинного шару.

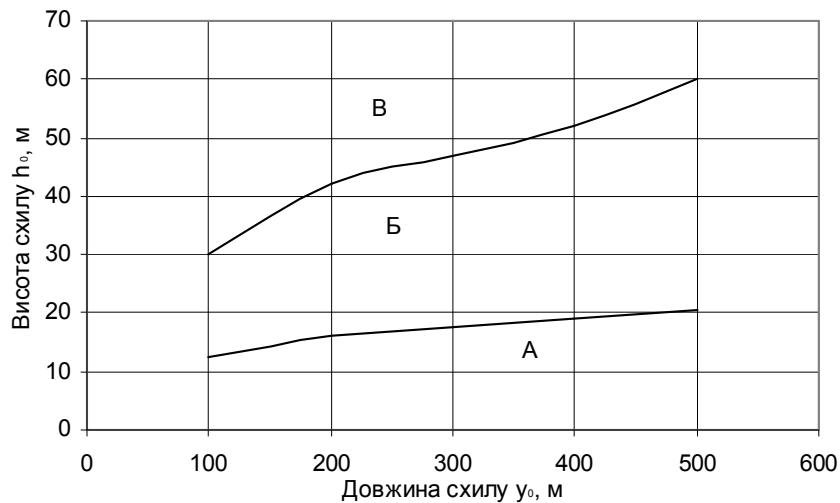


Рис. 3. До визначення впливу рослинного шару на стійкість зсувонебезпечного зсуву:
 А – область забезпечення стійкості схилу; Б – область можливого зсуву;
 В – несуча здатність рослинного шару відсутня

Висновки. В результаті проведених досліджень встановлено несучу здатність рослинного шару зсуву та її залежність від розмірів схилу. Розгляд плоскої задачі дозволив встановити граничну висоту схилу, до якої його стійкість забезпечується тільки рослинним шаром. Для уточнення отриманих результатів вважаємо доцільним провести подальші дослідження, в ході яких:

- 1) врахувати вплив маси рослинного шару;
- 2) розглянути круглоциліндричну форму поверхні сповзання ґрунтового масиву;
- 3) розглянути просторову задачу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. – Л.: Стройиздат, 1988. — 415 с.
2. Маслов Н.Н., Котов М.Ф. Инженерная геология. – М.: Издательство литературы по строительству, 1971. — 344 с.
3. Экология города / Под ред. Ф.В. Стольберга. – К.: Либра, 2000. – 464 с.
4. Андерсон Дж.Г.К., Тригг К.Ф. Интересные случаи из практики инженерной геологии. – М.: Недра. – 224 с.
5. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2000 році. – К.: Видавництво Раєвського, 2001. – 184 с.
6. Свинко Й.М. Сивий М.Я. Геологія: Підручник. – К.: Либідь, 2003. – 480 с.
7. Уличкин Г.М. Оползание откоса с фундаментом промышленного здания // Основания, фундаменты и механика грунтов. – № 6. – 1989. – С. 6–7.
8. Кушнер С.Г. Деформация емкостного сооружения под воздействием нагрузки от планировочной насыпи // Основания, фундаменты и механика грунтов. – № 2. – 1989. — С. 11–12.
9. Кугель М. Розробка методів прогнозування і попередження зсувів в укосах на підроблюваних територіях: Автореф.дис...к.т.н.: 05.15.09 / Ін-т гідромеханіки. НАН України. — К., 2002. — 16 с.
10. Зеркаль С.В. Математическое моделирование движения оползней-потоков методом частиц: Автореф.дис...к.ф.-м.н.: 05.13. – М., 2002. – 15 с.
11. Красильников Н.А. Расчеты устойчивости грунтовых откосов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – № 6. — 1995. — С. 15–18.
12. Назарова Н.В., Ставницер Л.Р., Швец В.Б. Особенности использования противооползневых конструкций в виде продольных удерживающих стен // Основания, фундаменты и механика грунтов. – № 5. — 1995. — С. 17–21.
13. Гинзбург Л.К., Коваль В.Е., Лапки В.Б., Васковская В.С. Распределение усилий между рядами свай противооползневой конструкции // Основания, фундаменты и механика грунтов. – № 2. — 1990. — С. 7–11.
14. Грицюк Л.В., Грицюк А.Л. Противооползневые мероприятия на автомобильных дорогах Крыма // Будівництво України. – № 3. — 2000.
15. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. – М.: Лесная промышленность. — 1989. — 296 с.

ШОСТАЧУК Андрій Миколайович — доцент кафедри автомобілів та механіки технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- механічні властивості деревини;
- механіка деформівного твердого тіла;
- стійкість будівель;
- реологія ґрунтів.

Подано 28.09.2006