

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.127-026.564:519.85

В. Д. ПЕТРЕНКО¹, О. Л. ТЮТЬКІН², О. І. ДУБІНЧИК^{3*}, В. Р. КІЛЬДЄСВ⁴

¹ Кафедра «Тунелі, основи та фундаменти», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (050) 708 50 69, ел. пошта retrenko1937@mail.ru, ORCID 0000-0003-2201-3593

² Кафедра «Тунелі, основи та фундаменти», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, ел. пошта tutkin@mail.ru, ORCID 0000-0003-4921-4758

^{3*} Кафедра «Тунелі, основи та фундаменти», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 53, ел. пошта olya.dubinchik.62@mail.ru, ORCID 0000-0003-4059-2357

⁴ студент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 53

ОЦІНКА СТІЙКОСТІ ПРИРОДНИХ СХИЛІВ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В ПРОГРАМІ «ОТКОС»

Мета. Визначення і порівняння параметру стійкості зсувного схилу різними методами в програмі «ОТКОС». **Методика.** Для досягнення поставленої мети розглянуті і проаналізовані фактори, які впливають на стійкість природного укосу ділянки, приуроченої до парку Зелений Гай в м. Дніпропетровську. **Результати.** Визначені розраховані параметри стійкості зсуву: коефіцієнт запасу стійкості, координата початку поверхні ковзання, глибина заколу, координата закінчення поверхні ковзання. **Наукова новизна.** Отримана можливість прогнозування поведінки природних схилів та штучних укосів в процесі їх розвитку та господарської діяльності. **Практична значимість.** Визначивши параметри стійкості схилу можна вирішувати питання про вибір місця розташування споруд та проектування заходів щодо захисту території від процесів зсувів на схилах.

Ключові слова: природний схил; зсувна ділянка; інженерно-геологічний розріз; стійкість порід схилів; математичне моделювання; програма «ОТКОС»; коефіцієнт запасу стійкості

Вступ

Зсуви є геологічним процесом і виникають в якій-небудь ділянці схилу або укосу унаслідок порушення рівноваги порід, викликаного:

- збільшенням крутизни схилу в результаті підмиву водою;
- ослабленням міцності порід при вивітрюванні або перезволоженні опадами і підземними водами;
- дією сейсмічних поштовхів;
- будівельною і господарською діяльністю, що проводиться без урахування інженерно-геологічних умов місцевості.

Оцінка стійкості та міцності схилів на сучасному науковому рівні неможлива без вивчення порід, що складають схили, і обумовлена дуже великим числом різноманітних чинників. Тільки детальне виявлення залежності величини напружень і положення зон

концентрації від морфології, крутизни і висоти схилів, геологічної будови і властивостей порід, що складають схили, від різноманітних зовнішніх дій, як природних, так і техногенних надасть можливість упевненого рішення питання оцінки стійкості природних схилів і штучних укосів і дозволить прогнозувати їх поведінку як в ході їх природного розвитку, так і у разі проведення в межах схилів будівельних робіт або при господарському їх освоєнні.

Математичне моделювання міцності та стійкості порід схилів необхідно виконувати на всіх стадіях інженерно-геологічних досліджень для вирішення таких питань як вибір місця розташування споруд, визначення характеру і ступеню їх впливу на перерозподіл напружень в породах схилів, проектування комплексу заходів щодо захисту територій і споруд від несприятливих наслідків процесів зсувів на схилах.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

На території України загальна площа зсувів становить 2 135,17 км² [1]. В активному стані перебуває 1777 одиниць площею 93,73 км².

Зсуви переважно охоплюють незначні площі, але їх прояви здатні до швидких деформа-

цій та руйнувань об'єктів господарської діяльності. У зонах зсувів знаходяться 1 638 об'єктів господарської діяльності.

Поширення зсувів на території України наведено на рис. 1.



Рис. 1. Поширення зсувів на території України

Площі зсувних та схильних до зсувоутворення ділянок в Придніпров'ї, наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Площі зсувних та схильних до зсувоутворення ділянок в Придніпров'ї [1]

Назва області	Кількість зсувів			Площа зсувів, км ²	
	загальна	активних	на забудованій території	загальна	активних
Дніпропетровська	382	12	165	20,84	0,4380
Запорізька	205	103	24	3,60	1,9430
Кіровоградська	140	12	18	3,04	0,2200
Київська	814	32	67	23,75	0,7700
Полтавська	824	4	116	63,90	0,0014
Черкаська	1033	161	281	33,99	4,6100

За результатами аерофотозйомок за 2014 рік на території Дніпропетровської області було визначено 382 зсувні ділянки, 12 із них – активні (див. табл. 1). Близько тридцяти ділянок відноситься саме до міста Дніпропетровська, причому генезис зсувоутворення свідчить про катастрофічно швидке зростання об'ємів, оскі-

льки в 80-х роках минулого століття було зафіксовано лише 17 таких ділянок. Усього у зсувонебезпечних зонах міста розташовано понад 500 житлових будинків і близько 50 промислових підприємств [1]. Такі дані свідчать про гостру актуальність задачі визначення міцності та стійкості зсувонебезпечних схилів.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Мета

Основним завданням дослідження є визначення оцінки стійкості зсувних схилів різними методами математичного моделювання з врахуванням морфології, крутизни, висоти схилів, геологічної будови і властивостей порід, що складають схили, а також аналіз отриманих результатів.

Методика

Для математичного моделювання стійкості схилу обрано реальний схил, що приурочений до парку Зелений Гай. Він розташований між вулицями Криворізька (південна межа), Леоніда Стромцева (північна межа) та рядом будинків на проспекті Олександра Поля (східна межа) і Макарова (західна межа) Чечелівського району м. Дніпропетровська. Парк позначений пониженням рельєфу площею 1×2 км з відносним перевищенням до 45 м, і є ерозійним врізом водотоку, який розпочинається на вулиці Титова і розвиває своє русло паралельно проспекту Олександра Поля. Ерозійна мережа

струмків водотоку розвиває відкладення, які легко руйнуються, утворивши яри на обох схилах парку.

Зсувна ділянка приурочена до частини вулиці Криворізька, яка поєднує проспект Олександра Поля і вулицю Макарова (рис. 2, а). На проспекті Олександра Поля частина вулиці проходить біля будинку 102д і виходить в районі магазину «Славутич». Ця частина вулиці представляє собою земляну насип висотою до 25 м. Укоси заросли лісовими насадженнями. Зі сторони проспекту Олександра Поля, на відстані близько $1/3$ частини насип перерізує водотік, який протікає через колектор.

Зсув 1 на карті знаходиться близько 30 метрів нижче б. 102 д по проспекту Олександра Поля (див. рис. 2, б) і позначений тріщинами заколу в асфальті і явним відділенням тіла зсуву із утворенням зсувної тераси та брівки зсуву. Чітко видно поверхню зсувного уступу. Тіло зсуву 1 заросло деревами, але активна зона зсуву не згасла і зсувні процеси продовжуються, про що свідчить поява нових систем тріщин в асфальті.

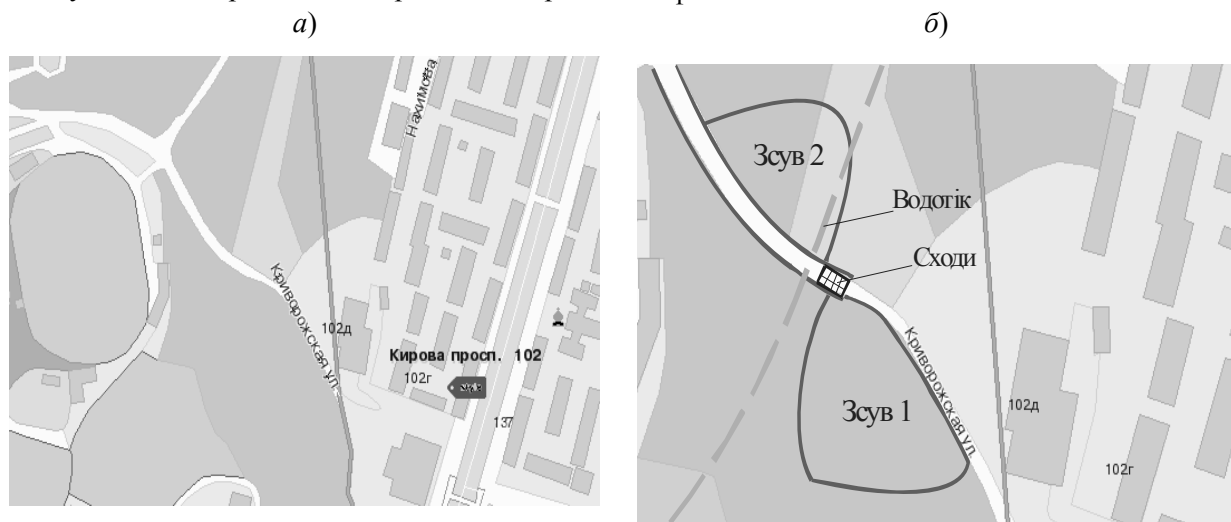


Рис. 2. Загальний вид зсувної ділянки (а) та карта зсувів (б) (отримано з Google maps)

Зсув 2 на карті знаходиться на протилежному укосі насипу і також позначений системами тріщин в асфальті. Протилежні укоси при зсуві утворили небезпечну ситуацію нерівномірного зсуву, що позначилося на ступенях сходів, які розломалися навпіл. Складність ситуації полягає у тому, що система зсувів загрожує стійкості як насипу, так і будинків, які знаходяться біля нього, зокрема будинку 102д по проспекту Олександра Поля.

Геологічна будова ділянки наступна:

а) супіски лесовидні жовтого кольору, макропористі, тверді, просадочні з включеннями коріння рослин, карбонатів і сульфатів ($h_1 = 12,9$ м);

б) суглинки лесовидні жовто-бурі, пластичні, просадочні ($h_2 = 8$ м);

в) глини зеленувато-сірі, вологі, пластичні з включеннями карбонатів і сульфатів ($h_3 = 2$ м);

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

г) суглинки лесовидні жовто-бурі, пластичні, просадочні (потужність шару h_4 не визначена, РГВ на глибині 26,2 м).

Загальна висота схилу $H \approx 22,9$ м, крутизна складає 35° (рис. 3).

Вихідні дані (див. рис. 3): $h_{(a)} = 12,9$ м, $h_{(б)} = 8$ м, $h_{(в)} = 2$ м, $h_{(г)}$ сягає нижньої границі розрахункової області. Рисунок відображає по-

значки, які потрібні для рішення у програмі «ОТКОС» (УКІС) (сітка 5×5 м).

Результати

Результати розрахунків за допомогою програми ОТКОС (надалі надається лише автентична назва) наведені в табл. 2 та на рис. 4 і 5.

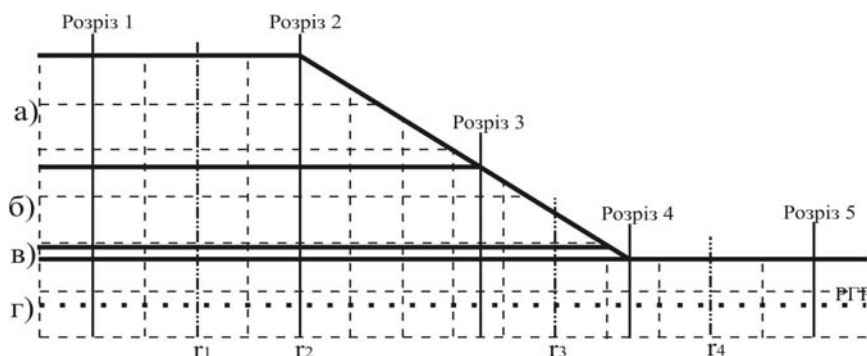


Рис. 3. Інженерно-геологічний розріз схилу по вул. Криворізькій

Таблиця 2

Результати розрахунку параметрів зсуву різними методами (програма «ОТКОС»)

Назва параметру	Назва методу					
	Феленіуса	Бішопа (спрощений)	Корпуса інженерів № 1	Лоува і Карафайта	Янбу (спрощений)	Янбу (коригований)
Коефіцієнт запасу стійкості	1,420	1,473	1,477	1,431	1,352	1,431
Координата x початку поверхні ковзання, м	14,0	11,0	11,3	12,7	13,0	12,6
Координата z початку поверхні ковзання (глибина заколу), м	0	0	0,667	1,30	2,13	1,30
Координата x закінчення поверхні ковзання, м	51,0	52,5	51,9	51,0	55,5	51,2
Координата z закінчення поверхні ковзання, м	0	0	0	0	0	0

Методи Янбу (коригований) ($K_{ст} = 1,431$) та Лоува і Карафайта ($K_{ст} = 1,431$) дають ідентичне значення коефіцієнту запасу стійкості, методи Корпуса інженерів №1 ($K_{ст} = 1,477$) і Бішопа (спрощений) ($K_{ст} = 1,473$) на відміну від них завищені (близько 3 %), методи Феле-

ніуса ($K_{ст} = 1,420$) і Янбу спрощений ($K_{ст} = 1,352$) – занижені (близько 1...5,5 %). Слід відмітити, що метод Янбу (спрощений) є подібним до метода Маслова-Берера, а методи Лоува і Карафайта та Корпуса інженерів № 1 – до метода Шахунянца.

Характер розвитку поверхонь (ліній) ков-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

зання (див. рис. 4) методів Феленіуса, Бішопа (спрощений) і Корпуса інженерів № 1 майже ідентичний, тобто положення початку і закінчення лінії різняться незначно (як і в методах

Лоува і Карафайта та Янбу (коригований)), в межах 3 м. Метод Янбу (спрощений) характеризується значно відмінними характеристиками (див. табл. 2 і рис. 5).

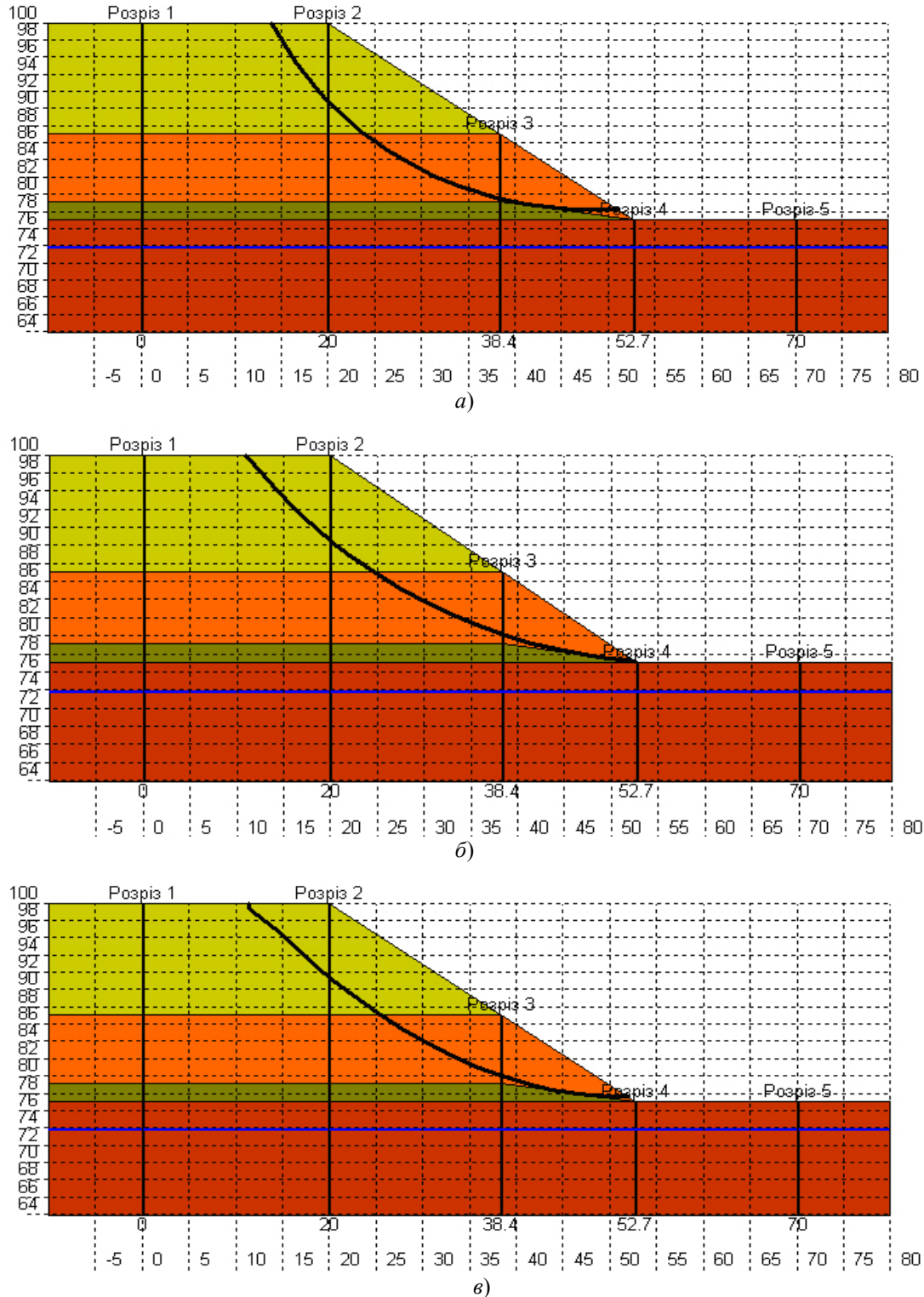
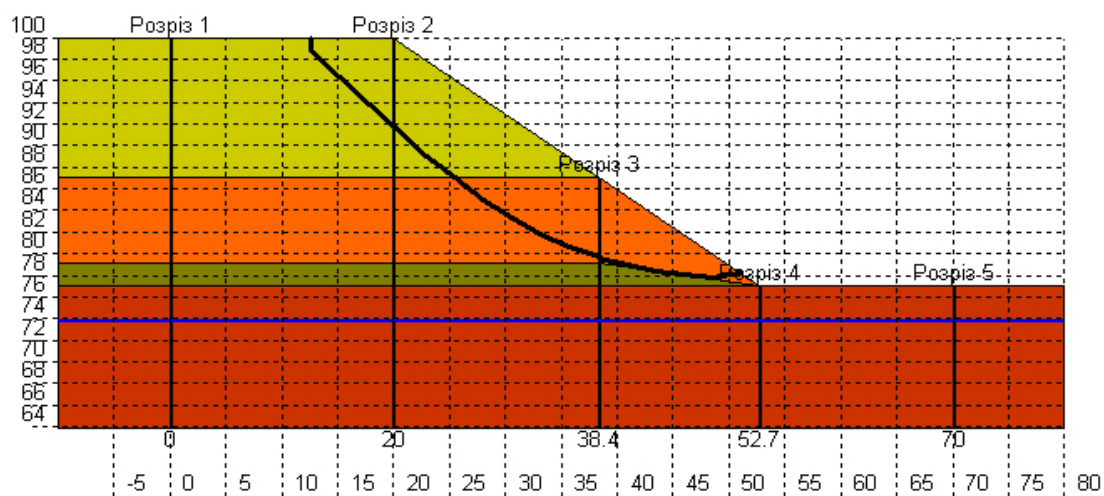
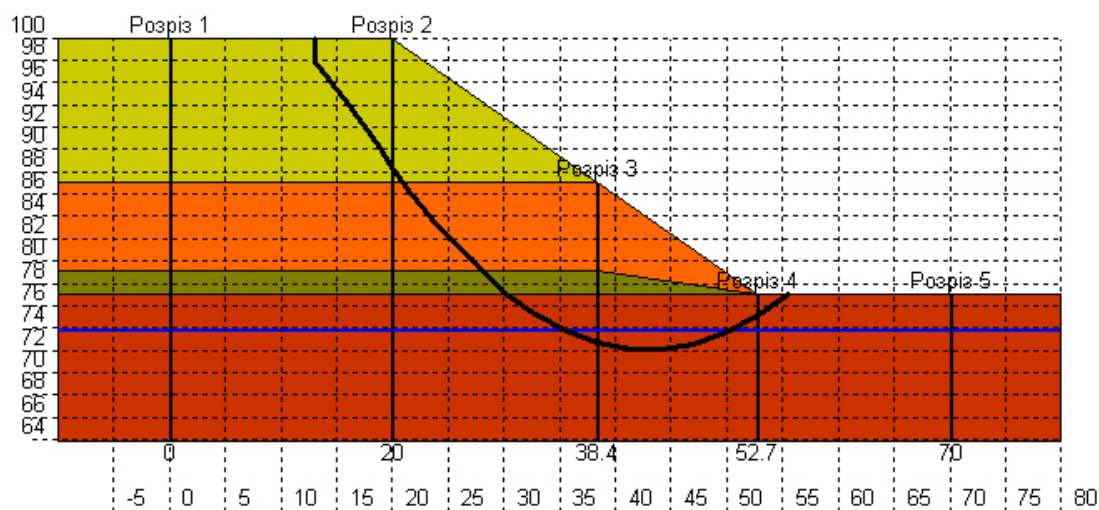


Рис. 4. Поверхні ковзання, побудовані різними методами (програма «ОТКОС»):
а) – Метод Феленіуса; б) – Метод Бішопа (спрощений); в) – Метод Корпуса інженерів № 1

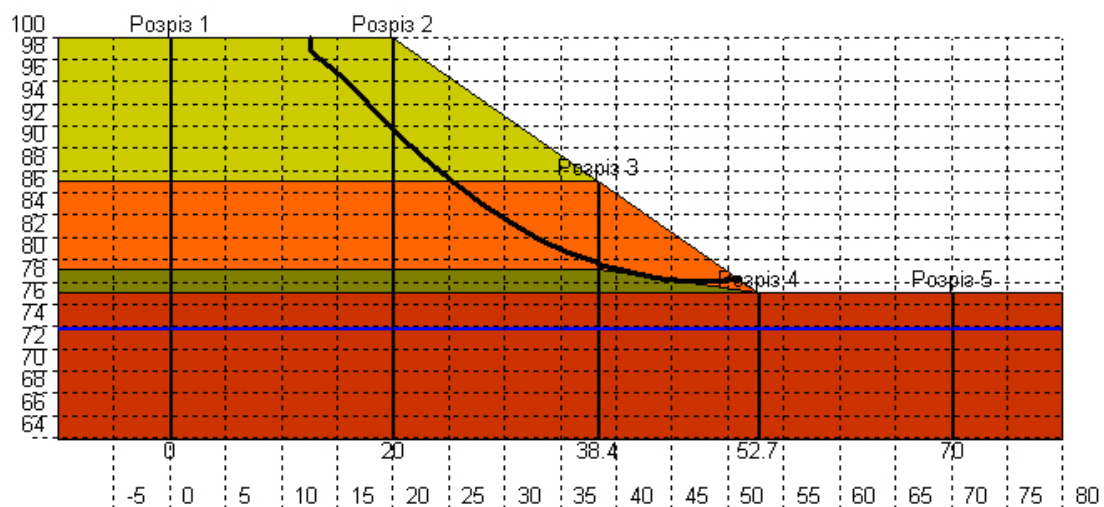
МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА



а)



б)



в)

Рис. 5. Поверхні ковзання, побудовані різними методами (програма «ОТКОС»):
 а) – Метод Лоува і Карафайта; б) – Метод Янбу (спрощений); в) – Метод Янбу (коригований)

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Важливим показником, який характеризує адекватність обраного методу реальному схилу, є координата z початку поверхні ковзання, тобто глибина заколу. В методах Феленіуса і Бішопа (спрощений) вона дорівнює нулю, оскільки ці два методи базуються на круглоциліндричних поверхнях без можливості автоматичного визначення місця заколу, а в методах Корпуса інженерів № 1, Лоува і Карафайта, Янбу (спрощений), Янбу (коригований) має значну варіацію: 0,667; 1,30; 2,13; 1,30. Крім того, метод Янбу (спрощений) показує аномальне значення, оскільки глибина заколу понад 2 метри на реальному схилі не спостерігається. Слід також відмітити, що таке значення глибини заколу (2,13 м) із отриманим за методом Янбу (спрощений) коефіцієнтом стійкості $K_{ст} = 1,352$ та значно відмінним від інших методів характером лінії ковзання, свідчить про те, що його застосування неадекватне реальним умовам, оскільки при такій глибині заколу стійкість схилу була б майже вичерпаною.

Висновки

В рамках теорії граничної рівноваги проведено математичне моделювання стійкості зсувонебезпечного схилу за допомогою програми «ОТКОС», що відноситься до програмного комплексу StructureCAD. Для цього був змодельований шаруватий схил висотою 22,9 м, що приурочений до частини вулиці Криворізька, і для нього на основі шістьох методів (Феленіуса, Бішопа (спрощений), Корпуса інженерів № 1, Лоува і Капафайта, Янбу (спрощений), Янбу (коригований)) було отримано коефіцієнт запасу міцності $K_{ст}$, рівний 1,352...1,477, що свідчить про задовільну стійкість схилу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні в 2014 році [Текст]. – Київ : Міністерство надзвичайних ситуацій в Україні, 2015. – 365 с.
2. Баранов, И. В. Определение момента потери устойчивости при расчетах склонов и откосов [Текст] / И. В. Баранов, Ш. Р. Незамутдинов, А. И. Сапожников. – Москва : 1989. – 254 с.
3. Большаков, В. И. Основы метода конечных элементов [Текст] / В. И. Большаков, Е. А. Яценко, Г. Соссу и др. – Днепропетровск : ПГАСиА, 2000. – 255 с.
4. Бондарик, Г. К. Инженерная геодинамика [Текст] / Г. К. Бондарик, В. В. Пендин, Л. А. Ярг. – Москва : КДУ, 2007. – 327 с.
5. Гольдштейн, М. Н. Механические свойства грунтов. Основные компоненты грунта и их взаимодействие [Текст] / М. Н. Гольдштейн. – Москва : Стройиздат, 1971. – 375 с.
6. ДБН В.1.1-24:2009 Захист від небезпечних геологічних процесів. Основні положення проектування [Текст]. – На заміну СНиП 2.01.15-90; надано чинності 2011-01-01. – Київ : Мінергіонбуд, 2010. – 73 с.
7. Ковров, О. С. Оцінка впливу гідрогеологічних характеристик ґрунтів на стійкість природних схилів для прогнозу зсувів [Текст] / О. С. Ковров // Екологічна безпека. – 2003. – № 1/(15). – С. 72-76.
8. Музаев, И. Д. Математическое моделирование некоторых опасных экзогенных и гидравлических процессов [Текст] / И. Д. Музаев, В. Г. Созанов // Вычислительные технологии. – 1996. – № 3. – Т. 1. – С. 66-71.
9. Оползни. Исследование и укрепление [Текст]. Под ред. Шустера Р. и Кризека Р. – Москва : Мир, 1981. – 368 с.
10. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа [Текст] / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – Київ : Сталь, 2002. – 600 с.
11. Федоровский, В. Г. Метод расчета устойчивости откосов и склонов [Текст] / В. Г. Федоровский, С. В. Курилло. // Геоэкология. – 1997. – № 6. – С. 95-106.
12. Хуан, Я. Х. Устойчивость земляных откосов [Текст] / Я. Х. Хуан. – Москва : Стройиздат, 1988. – 240 с.
13. SCAD для пользователя [Текст] / В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. В. Перельмутер и др. – Київ : ВВП «Компас», 2000. – 332 с.
14. Купрій, В. П. Моделювання напружено-деформованого стану кріплення глибокого котловану [Текст] / В. П. Купрій, Д. В. Тютюкін // Мости та тунелі : теорія, дослідження, практика. – 2012. – Вип. 3. – С. 89-95.
15. Сивцов, А. А. Алгоритм расчета устойчивости крепи вертикальных горных выработок с учетом их контактного взаимодействия с массивом пород [Текст] / А. А. Сивцов, Г. В. Десятых // Мости та тунелі : теорія, дослідження, практика. – 2012. – Вип. 3. – С. 167-171.
16. Шаповал, А. В. Полевой метод определения упругих и реологических свойств грунта [Текст] / А. В. Шаповал, В. В. Крысан, В. Г. Шаповал, Е. В. Нестерова // Мости та тунелі : теорія, дослідження, практика. – 2012. – Вип. 3. – С. 229-233.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

17. Гуслиста, Г. Є. Тестування методики спільного статичного розрахунку «споруда – ґрунтовий масив» [Текст] / Г. Є. Гуслиста, Д. О. Банніков // Мости та тунелі : теорія, дослідження, практика. – 2012. – Вип. 1. – С. 10-15.
18. Abramson L. W., Lee T. S., Sharma S., Boyce G. M. Slope Stability and Stabilization Methods. John Wiley & Sons. New York, 2002, 216 p.
19. Albataineh, N. Slope stability analysis using 2D and 3D methods. Ohio, United States, The University of Akron, 2006, 126 p.
20. Britto A.M., Gunn M.J. Critical State Soil Mechanics via Finite Elements. Chichester, Ellis Horwood Limited, 1990, 486 p.
21. Huang Ching-Chuan, Lo Chien-Li, Jang Jia-Shiun, Hwu Lih-Kang. Internal soil moisture response to rainfall-induced slope failures and debris discharge. Engineering Geology, no. 101, 2008, pp. 134-145.

В. Д. ПЕТРЕНКО¹, А. Л. ТЮТКИН², О. И. ДУБИНЧИК^{3*}, В. Р. КИЛЬДЕЕВ⁴

¹ Кафедра «Тоннели, основания и фундаменты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (050) 708 50 69, эл. почта petrenko1937@mail.ru, ORCID 0000-0003-2201-3593

² Кафедра «Тоннели, основания и фундаменты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, эл. почта tutkin@mail.ru, ORCID 0000-0003-4921-4758

^{3*} Кафедра «Тоннели, основания и фундаменты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 53, эл. почта olya dubinchik.62@mail.ru, ORCID 0000-0003-4059-2357

⁴ студент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 53

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПРИРОДНЫХ СКЛОНОВ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОГРАММЕ «ОТКОС»

Цель. Определение и сравнение параметров устойчивости оползневого склона различными методами в программе «ОТКОС». **Методика.** Для достижения поставленной задачи рассмотрены и проанализированы факторы, которые влияют на устойчивость природного склона участка возле парка Зеленый Гай в г. Днепропетровске. **Результаты.** Определены расчетные параметры устойчивости оползня: коэффициент запаса устойчивости, координата начала поверхности скольжения, глубина закола, координата окончания поверхности скольжения. **Научная новизна.** Найдена возможность прогнозирования поведения природных склонов и искусственных откосов в процессе их развития и хозяйственной деятельности. **Практическая значимость.** Определив параметры устойчивости склона можно решить вопросы выбора места расположения сооружений и проектирования методов защиты территории от оползневых процессов на склонах.

Ключевые слова: природный склон; оползневой участок; инженерно-геологический разрез; устойчивость пород склона; математическое моделирование; программа «ОТКОС»; коэффициент запаса устойчивости

V. D. PETRENKO¹, O. L. TIUTKIN², O. I. DUBINCHIK^{3*}, V. R. KILDIEIEV⁴

¹ Department «Tunnels bases and foundations» of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2 Lazaryana Str., Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 708 50 69, e-mail petrenko1937@mail.ru, ORCID 0000-0003-2201-3593

² Department «Tunnels bases and foundations» of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2 Lazaryana Str., Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 290 45 18, e-mail tutkin@mail.ru, ORCID 0000-0003-4921-4758

³ Department «Tunnels bases and foundations» of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2 Lazaryana Str., Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 53, e-mail olya dubinchik.62@mail.ru, ORCID 0000-0003-4059-2357

⁴ Student, Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2 Lazaryana Str., Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 53

ASSESS THE STABILITY OF NATURAL SLOPES OF MATHEMATICAL MODELING IN THE "OTKOS"

Purpose. Identification and comparison of parameter stability of landslide slope different methods in the "OTKOS." **Methodology.** To achieve this goal reviewed and analyzed the factors that affect the stability of repose section devoted to the Green Grove Park in Dnepropetrovsk. **Findings.** Defined parameters calculated shear stability, factor of stability, coordinate end surface of the slide. **Originality.** Got mo-configured to predict the behavior of natural slopes and artificial slopes in the process of development and economic activities. **Practical value.** Defining the parameters of slope stability can decide on the choice of location of buildings and design measures to protect the process of landslides on the slopes.

Keywords: natural slope; shear area; engineering and geological section; rock slope stability; mathematical modeling; program "OTKOS"; factor of stability

REFERENCES

1. *Natsionalna dopovid pro stan tekhnohennoi ta pryrodnoi bezpeky v Ukraini v 2014 rotsi*. [The National Report on the State of Techno and Natural Safety in Ukraine in 2014]. Kyiv, Ministerstvo nadzvychnykh sytuatsii v Ukraini Publ., 2015. 365 p.
2. Baranov I. V. *Opreделение momenta poteri ustoychivosti pri raschetakh sklonov i otkosov* [Defining moment of loss of stability in calculations of slopes and slopes]. Moskva, 1989. 254 p.
3. Bolshakov V. I. *Osnovy metoda konechnykh elementov* [Fundamentals of the finite element method], Dnepropetrovsk, PGASiA Publ., 2000. 255 p.
4. Bondarik G. K. *Inzhenernaya geodinamika* [Engineering geodynamics]. Moskva, KDU Publ., 2007. 327 p.
5. Goldshteyn M. N. *Mekhanicheskie svoystva gruntov. Osnovnye komponenty grunta i ikh vzaimodeystvie* [The mechanical properties of soils. The main components and their interaction soil]. Moskva, Stroyizdat Publ., 1971. 375 p.
6. *DBN V.1.1-24:2009 Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv. Osnovni polozhennia pro-ektuvannia* [Protection from dangerous geological processes. The main provisions of the design.]. Kyiv, Minrehionbud Publ., 2010. 73 p.
7. Kovrov O. S. Otsinka vplyvu hidroheolohichnykh kharakterystyk gruntiv na stiikist pryrodnykh skhyliv dlia prohnozu zsuiviv [Assessing the impact of geological characteristics of the soil on the stability of natural slopes for landslide-gnosis]. *Ekolohichna bezpeka – Economic security*, no. 1/2003 (15). pp. 72-76.
8. Muzaev I. D. Matematicheskoe modelirovanie nekotorykh opasnykh ekzogenykh i gidravliche-skikh protsessov [Mathematical modeling of same dangerous exogenous and hydraulic processes]. *Vychislitelnye tekhnologii – Computer technology*, no. 3, vol. 1, 1996, pp. 66-71.
9. *Opolzni. Issledovanie i ukreplenie*. [Landslides. Research and strengthening.]. Moskva, Mir Publ., 1981. 368 p.
10. Perelmutter A. V. *Raschetnye modeli sooruzhe-niy i vozmozhnost ikh analiza* [Computational models of structures and the possibility of their analysis]. Kyiv, Stal Publ., 2002. 600 s.
11. Fedorovskiy V. G. Metod rascheta ustoychivosti otkosov i sklonov [The method of calculating the stability of slopes and slopes]. *Geoekologiya – Geoecology*, 1997, no. 6, pp. 95-106.
12. Khuan Ya. Kh. Ustoychivost zemlyanykh otkosov [The stability of earth slopes]. Moskva, Stroyizdat Publ., 1988. 240 p.
13. SCAD dlya polzovatelya [SCAD user]. Kyiv, VVP «Kompas» Publ., 2000, 332 p.
14. Kuprii V. P. Modeliuvannia napruzhenno-deformovanoho stanu kriplennia hlybokoho kotlovanu [Modeling stress-strain state of mount deep ditch]. *Mosty ta tuneli : teoriya, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels : theory, research, practice*, 2012, issue 3, pp. 89-95.
15. Sivtsov A. A., Desyatykh G. V. Algoritm rascheta ustoychivosti krepі vertikalnykh gornykh vyrabotok s uchemtom ikh kontaktnogo vzaimodeystviya s massivom porod [Algorithm of the Vertical Mine Shaft Lining Stability Calculation Considering it Contact Interaction with a Rock Mass]. *Mosty ta tuneli : teoriya, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels : theory, research, practice*, 2012, issue. 3, pp. 167-171.
16. Shapoval A. V., Krysan V. V., Shapoval V. G., Nesterova Ye. V. Polevoy metod opredeleniya uprugikh i reologicheskikh svoystv grunta [Field method for determining the elastic and rheological properties of soil]. *Mosty ta tuneli : teoriya, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels : theory, research, practice*, 2012, issue 3, pp. 229-233.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

17. Huslysta H. Ye., D. O. Bannikov Testuvannia metodyky spilnoho statychnoho rozrakhunku «sporuda – gruntovyi masyv» [Testing method of calculation of static Joint "structure - soil mass"]. *Mosty ta tuneli : teoriya, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels : theory, research, practice*, 2012, issue 1, pp. 10-15.
18. Abramson L. W., Lee T. S., Sharma S., Boyce G. M. *Slope Stability and Stabilization Methods*. John Wiley & Sons, New York, 2002, 216 p.
19. Albataineh, N. *Slope stability analysis using 2D and 3D methods*. Ohio, United States: The University of Akron, 2006, 126 p.
20. Britto A. M., Gunn M. J. *Critical State Soil Mechanics via Finite Elements*. Chichester, Ellis Horwood Limited, 1990, 486 p.
21. Huang Ching-Chuan, Lo Chien-Li, Jang Jia-Shiun, Hwu Lih-Kang. Internal soil moisture response to rainfall-induced slope failures and debris discharge. *Engineering Geology*. No. 101, 2008, pp. 134-145.

Стаття рекомендована до друку д.т.н., проф. М. І. Немеса (Україна), д.т.н., проф. З. Я. Бліхарським (Україна)

Надійшла до редколегії 25.09.2015.

Прийнята до друку 21.12.2015.