

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

ПРИЧИНА Катерина Сергіївна



УДК 624.131.537:622.271.33

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ ГРУНТОВИХ СХИЛІВ
В УМОВАХ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ ПРИ ЗМІННОМУ
РІВНІ ПІДЗЕМНИХ ВОД**

Спеціальність 05.15.09 – “Геотехнічна і гірнична механіка”

**Автореферат дисертації
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Дніпропетровськ – 2016

Дисертація є рукописом.

Робота виконана на кафедрі будівництва, геотехніки і геомеханіки Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
ШАПОВАЛ Володимир Григорович,
професор кафедри будівництва, геотехніки і
геомеханіки Державного вищого навчального закладу
«Національний гірничий університет»
(м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки
України;

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
ПЕТРЕНКО Володимир Дмитрович,
завідувач кафедри тунелів, основ та фундаментів
Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
Міністерства освіти і науки України;

доктор технічних наук, професор
ГОЛОВКО Сергій Іванович,
професор кафедри основ і фундаментів Державного
вищого навчального закладу «Придніпровська
державна академія будівництва та архітектури»
(м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки
України.

Захист дисертації відбудеться “01” липня 2016 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.04 при Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. Дмитра Яворницького, 19, т. 47-24-11).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. Дмитра Яворницького, 19).

Автореферат розіслано “01” червня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.В. Солодянкін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На даний час надзвичайно важливою є проблема збереження і раціонального використання природних ресурсів, до яких відносяться придатні для будівництва та ведення господарської діяльності території. У зв'язку з розвитком великих міст вже забудовуються ділянки, які раніше вважалися непридатними для зведення будівель. Проте використання цих територій, зокрема природних схилів, може дати значний економічний і соціальний ефект. Однак такі схили можуть бути небезпечними з точки зору розвитку зсувів. Відомо, що серед надзвичайних ситуацій геологічного походження 60% становлять зсуви. Так, починаючи з 1992 року, тенденція збільшення частоти сходу зсувів спостерігається майже у всіх регіонах України, особливо в Дніпропетровській, Харківській, Київській, Полтавській і Черкаській областях, Карпатському регіоні, Криму. Тому є доцільним вивчення стану схилів і розробка заходів щодо їхнього безпечного використання для будівництва.

В умовах м. Дніпропетровська ця проблема обумовлена тим, що значна частина його території складена лесовими просадними ґрунтами, які в умовах вологонасичення різко змінюють свої міцнісні властивості, і цю особливість необхідно враховувати при проектуванні будинків і споруд. Протизсувні заходи на території м. Дніпропетровська здійснюються на площі, що становить 6,7% від сумарної площі зсувонебезпечних територій. Активна і непродумана урбанізація таких територій може призвести до виникнення зсувних процесів.

Існуючі методи розрахунку стійкості укосів і схилів, особливо з непостійним рівнем ґрунтових вод, потребують аналізу і доопрацювання з метою врахування чинників, які можуть призвести до порушення стійкості геотехнічної системи «схил-ґрунтовий масив».

Таким чином, вивчення геомеханічних процесів масиву в умовах підняття рівня підземних вод та закономірностей зміни стійкості природних схилів для вдосконалення методу розрахунку ґрунтових схилів в умовах міської забудови є актуальним науково-практичним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація відповідає Закону України від 11.07.2001, № 2623-III «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» і змінам до цього закону від 09.09.2010, № 2519-IV «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки на період до 2020 року», Постанові Кабінету Міністрів України від 23.05.2011, № 547 «Про затвердження Порядку застосування будівельних норм, розроблених на основі національних технологічних традицій, та будівельних норм, гармонізованих з нормативними документами Європейського Союзу», а також тематик науково-дослідницьких робіт кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Ш-492 (№ ГР 0110U000866).

Мета роботи полягає в розробці методики визначення коефіцієнта стійкості водонасичених схилів з урахуванням співвідношення між максимальними і мінімальними значеннями розрахункових характеристик ґрунту і навантажень.

Основна ідея роботи полягає в урахуванні при визначенні коефіцієнта стійкості укосів найбільш небезпечного для розглянутих інженерно-геологічних умов механізму руйнування обводнених ґрунтових схилів.

Об'єктом досліджень є процес втрати стійкості водо- і неводонасичених ґрунтових схилів.

Предметом досліджень є граничний напружено-деформований стан водо- і неводонасичених ґрунтових схилів.

Відповідно до поставленої мети сформульовані та вирішені такі **задачі досліджень**:

1. Аналіз раніше виконаних досліджень, присвячених проблемі визначення стійкості ґрунтових схилів.

2. Розрахунок ґрунтових схилів різними методами і визначення на цій основі залежностей, що дозволяють поставити у відповідність значення встановлених різними методами коефіцієнтів стійкості.

3. Отримання рішень найпростіших задач стійкості укосів і схилів з урахуванням фактичних значень розрахункових характеристик зовнішнього навантаження і властивостей ґрунту.

4. Урахування всіх рівнянь статички при визначенні стійкості водо- і неводонасичених укосів і схилів з урахуванням сейсмічних впливів.

5. Для випадку, коли поверхня ковзання заздалегідь невідома, розробка методики визначення коефіцієнта стійкості укосів і схилів в рамках гіпотези про поверхню ковзання у вигляді ступеневої функції.

6. Визначення залежності між коефіцієнтом стійкості схилу і рівнем підземних вод з метою здійснення прогнозів із виявлення зсувонебезпечних територій.

Методи досліджень. Методологічною основою вирішення поставлених задач досліджень є комплексний підхід, що включає в себе аналіз і узагальнення інформаційних джерел, статистичних, дослідних даних, а також науково-технічних досягнень за темою дисертації, натурні дослідження втрати стійкості схилів, теоретичні дослідження з використанням положень механіки суцільного середовища (зокрема механіки гірських порід і ґрунтів), механіки твердого тіла, що деформується, теорій критичної рівноваги, ймовірності та математичної статистики, методів математичного моделювання геомеханічних процесів у ґрунтовій основі.

Основні наукові положення, що захищаються в роботі.

1. Поверхні ковзання $y(x)$ найбільш зсувонебезпечних ділянок описуються рівняннями, які підпорядковуються ступеневій залежності виду

$$y(x) = y_0 + H \cdot \left(\frac{x - x_0}{L} \right)^\delta, \text{ де } x_0 \text{ і } y_0 - \text{координати точки початку кривої ковзання; } H$$

і L - відповідно висота і довжина сповзаючого ґрунтового масиву, а δ - показник ступеню, що дозволяє підвищити точність визначення положення і форми найбільш небезпечної поверхні ковзання і на цій основі обирати відповідні протизсувні споруди.

2. Залежність коефіцієнта стійкості від позначки рівня підземних вод, який змінюється від природнього рівня до повного водонасичення схилу, підпорядковується закону модифікованої експоненти $k_y = a - b \cdot e^{-c \cdot h^d}$, де a , b , c , d - емпіричні коефіцієнти, h - глибина залягання підземних вод, що дозволяє обґрунтовувати технологічні параметри дренажних конструкцій.

3. Наукова новизна отриманих результатів:

1. Отримані нові рішення задачі стійкості укосів і схилів, основними відмінностями якої від загальноприйнятих є:

- інтерпретація коефіцієнта стійкості як найменшого значення з мінімумів 4 - х функціоналів, які визначаються як відношення сум утримуючих сил до зсуваючих, відношення проєкцій цих сил на координатні вісі і відношення утримуючого моменту до перекидаючого;

- використання для опису лінії ковзання універсальної ступеневої функції;

- використання коригуючих множників, які чисельно дорівнюють відношенню коефіцієнтів стійкості, встановлених із використанням еталонного методу, до їх значень, які встановлені з використанням гіпотез про ламану і ступеневу поверхню ковзання;

- використання при визначенні коефіцієнта стійкості всього діапазону розрахункових характеристик властивостей ґрунту;

2. Доведено, що залежність коефіцієнта стійкості схилу від рівня залягання підземних вод при його зміні від природнього рівня до повного водонасичення підпорядковується закону модифікованої експоненти.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей зміни коефіцієнтів стійкості обводненого схилу від рівня підземних вод і вдосконаленні на цій основі методики визначення коефіцієнта стійкості водонасичених схилів.

Практичне значення роботи полягає в розробці:

- методики стохастичного розрахунку стійкості низового укосу ґрунтової греблі;

- методики комплексного розрахунку стійкості ґрунтових схилів.

Обґрунтованість і вірогідність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується: сходиністю результатів натурних і аналітичних досліджень (до 87%), відповідністю розроблених теоретичних положень апробованим методам геомеханіки, методам математичної статистики, позитивними результатами від реалізації результатів роботи у виробничих умовах.

Реалізація результатів роботи. Результати досліджень успішно впроваджені при розрахунках стійкості бортів Тунельної балки в м. Дніпропетровську у «ДніпроНДІПНТІЗ» - ДФ ДП «УКРНДІПНТІЗ», ґрунтової греблі для укріплення берега в м. Дніпропетровськ на Набережній Перемоги 9-в у ТОВ «Гідропроектбуд» і в навчальний процес при вивченні дисциплін для студентів спеціальності «Промислове та цивільне будівництво» в Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет».

Особистий внесок здобувача. Автором самостійно сформульовані мета, ідея, задачі досліджень і наукові положення; розроблені математична модель і методика досліджень; проведено аналіз результатів чисельних експериментів; розроблені і впроваджені методики розрахунку стійкості схилів.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на міжнародних науково-технічних конференціях: «Форум гірників» (Дніпропетровськ, 2012, 2014, 2015); «Технології будівництва шахт і підземних споруд» (Донецьк, 2013); International Forum for Students and Young Researches «Widening our horizons» (Дніпропетровськ, 2013), «Наукова весна – 2013» (Дніпропетровськ, 2013); Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Перспективи розвитку будівельних технологій» (Дніпропетровськ, 2013, 2015); «Молодь та інновації» (Дніпропетровськ, 2015), «Молодь і XXI сторіччя – 2015» (Курськ, 2015), «Сталий розвиток промисловості та суспільства» (Кривий Ріг, 2015).

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 18 наукових праць, у тому числі 7 у спеціалізованих виданнях (з них 3 – у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз), 10 в збірниках матеріалів конференцій, 1 – в інших виданнях.

Структура й обсяг. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел із 151 найменування на 18 сторінках і 4 додатків на 13 сторінках. Включає 160 сторінок машинописного тексту, 90 рисунків і 21 таблицю. Загальний обсяг дисертації складає 208 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Аналіз матеріалів статистичних звітів, а також наукових праць таких дослідників, як Е. Н. Бромхед, О. І. Вайнберг, Ю. Вольдт, С. Ф. Власов, Н. М. Герсеванов, Л. К. Гінзбург, С. І. Головкин, М. Н. Гольдштейн, Н. І. Деревягіна, А. Г. Дорфман, Дж. М. Дункан, А. В. Зуска, О. С. Ковров, Е. О. Максимова, Н. О. Максимова-Гуляєва, М. М. Маслов, Н. Моргенштейн, В. Д. Петренко, В. Прайс, І. О. Садовенко, В. В. Соколовський, Д. Фредланд, М. О. Цитович, В. Г. Шаповал, Г. М. Шахунянц, Н. Янбу та інших авторів дозволив зробити висновок про те, що в даний час мають місце такі загальні тренди:

1. Простежується тенденція збільшення в часі кількості зсувів, яка свідчить про те, що постійне вдосконалення методів визначення їх стійкості та геотехнологій здійснює на даний процес слабкий вплив.

2. Кількість зсувів, які спричинили людські жертви у країнах з різним типом економіки має один порядок, проте кількість загиблих людей у країнах з перехідною економікою та економікою, що розвивається, значно вище, ніж у розвинених країнах.

3. Основними причинами зсувів є землетруси і підйом рівня підземних вод.

4. У практиці розрахунків стійкості укосів і схилів не враховують співвідношення між максимальними і мінімальними значеннями розрахункових характеристик ґрунтових основ і зовнішніх навантажень.

5. З економічних міркувань все частіше доводиться використовувати під забудову схили, розташовані всередині міських територій, що особливо характерно для України та міста Дніпропетровська зокрема.

6. Існуючі методи розрахунку стійкості укосів і схилів, особливо з непостійним рівнем підземних вод, потребують аналізу і доопрацювання з метою врахування чинників, які можуть призвести до порушення стійкості геотехнічної системи «схил-ґрунтовий масив».

Таким чином, проблема вдосконалення методів розрахунку стійкості укосів і схилів є актуальним науково-технічним і практичним завданням і потребує свого вирішення.

Першочергові дослідження в роботі були спрямовані на виявлення впливу методу розрахунку і способу визначення напружено-деформованого стану укосів на значення коефіцієнта стійкості.

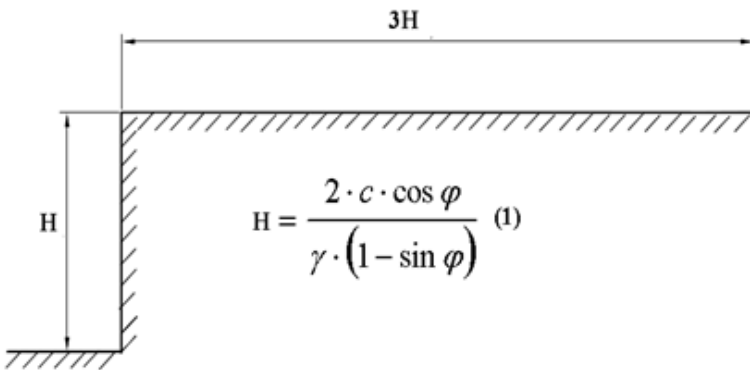


Рис. 1. До визначення критичної висоти вертикального укосу: H – висота укосу; γ – питома вага ґрунту; c – питома зчеплення; φ – кут внутрішнього тертя.

У всіх випадках розглядався вертикальний укіс з відомими характеристиками (рис. 1). З використанням формули В.В. Соколовського (1) була визначена його критична висота, що відповідає рівному одиниці коефіцієнту стійкості. Після цього дана задача була вирішена з використанням гіпотез про прямолінійну, криволінійну поверхні ковзання, методу А. Г. Дорфмана, застосуванням методу

скінченних елементів. Отримані результати розрахунків демонструють відмінність у значеннях коефіцієнтів стійкості в діапазоні 10...90%, що свідчить про протиріччя, суть якого полягає в тому, що розрахований різними методами укіс може одночасно бути стійким і нестійким.

Методи розрахунку стійкості укосів і схилів, що використовуються останнім часом, можна розділити на дві групи, в основі яких лежить або принцип відсіків, або принципи механіки твердого тіла, що деформується. Для аналогічного вертикального укосу для різних значень міцності і питомої ваги ґрунту були отримані рішення задачі про визначення коефіцієнта стійкості з метою виявлення впливу способу визначення стану ґрунтового схилу на значення його коефіцієнта стійкості. Визначено, що при розгляді стійкості укосу методами твердого тіла, що деформується, коефіцієнт стійкості укосу завжди вище, ніж при визначенні методами, в основі яких лежить принцип

відсіків. На основі отриманих результатів прийнято рішення в подальшому при визначенні коефіцієнта стійкості використовувати другий підхід.

У нормативних документах стверджується, що розрахункові характеристики ґрунтів основи слід приймати такими, щоб було забезпечено мінімальне значення коефіцієнта стійкості. Кожна характеристика розрахункових навантажень і властивостей ґрунту приймає два значення - максимальне і мінімальне. При використанні даних характеристик у розрахунках найменше значення коефіцієнта стійкості буде в тому випадку, коли у склад зсуваючих сил будуть входити максимальні значення розрахункових характеристик ($X_p = X^H \cdot (1 + \rho)$), а в утримуючі – мінімальні

($X_p = X^H \cdot (1 - \rho)$).

Розрахункове значення характеристики ґрунту:

$$X_p = X^H \cdot (1 \pm \rho), \quad (2)$$

де X_p - розрахункова характеристика ґрунту; X^H - те ж, нормативна (характеристична), ρ_α - показник точності (похибки) значення характеристики.

$$(1 \pm \rho) = \frac{1}{\gamma_g}, \quad X_p = X^H \cdot \frac{1}{\gamma_g}, \quad (3)$$

де γ_g - коефіцієнт надійності для ґрунту згідно ГОСТ 20522-2012 «ґрунти.

Методы статической обработки результатов испытаний».

Підтвердженням цієї тези є отримані рішення задач про критичний кут закладення укусу з сипучого ґрунту і критичну висоту укусу із зв'язного ґрунту. Виявилось, що при зазначеному в нормативних документах розкіді розрахункових характеристик і діючих в даний час методах визначення стійкості має місце завищення критичного кута закладення укусу до 30%, а критичної висоти укусу – до 60%. Був зроблений висновок про те, що відмінність між мінімальними і максимальними значеннями розрахункових навантажень і властивостей ґрунту обов'язково має бути врахована в розрахунках. Дане положення застосовано для гіпотез про круглоциліндричну і ламану поверхню ковзання при визначенні стійкості водонасичених і неводонасичених укосів і схилів з урахуванням і без урахування дії сейсмічних сил.

Було виконано дослідження, спрямоване на визначення лінії ковзання, максимально наближеної до фактичної. Для цього були отримані результати апроксимації різними функціями фактичних ліній ковзання зсувів, зафіксованих в м. Дніпропетровськ та м. Москва (рис. 2). Найбільш достовірні результати отримані з використанням ступеневої поверхні ковзання (4) (рис. 3).

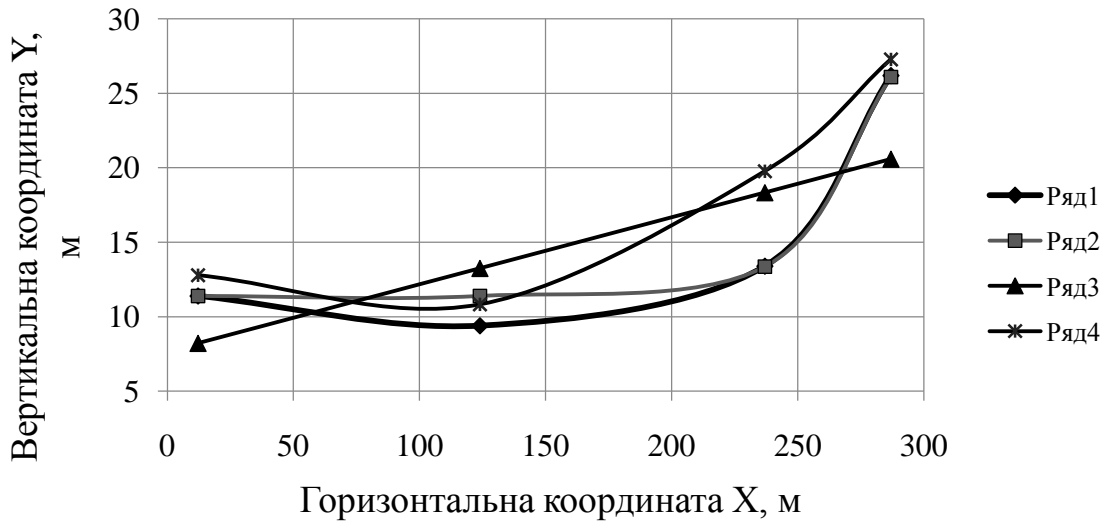


Рис. 2. Залежність вертикальної координати поверхні ковзання Y від горизонтальної координати X (зсув на ж/м Тополь у м. Дніпропетровську, 1997 р.): 1 – фактична (експериментальна) крива; 2 – те ж, апроксимація ступеневою функцією; 3 – те ж, апроксимація лінійною функцією; 4 – те ж, апроксимація дугою кола.

$$y(x) = y_0 + H \cdot \left(\frac{x - x_0}{L} \right)^\delta, \quad (4)$$

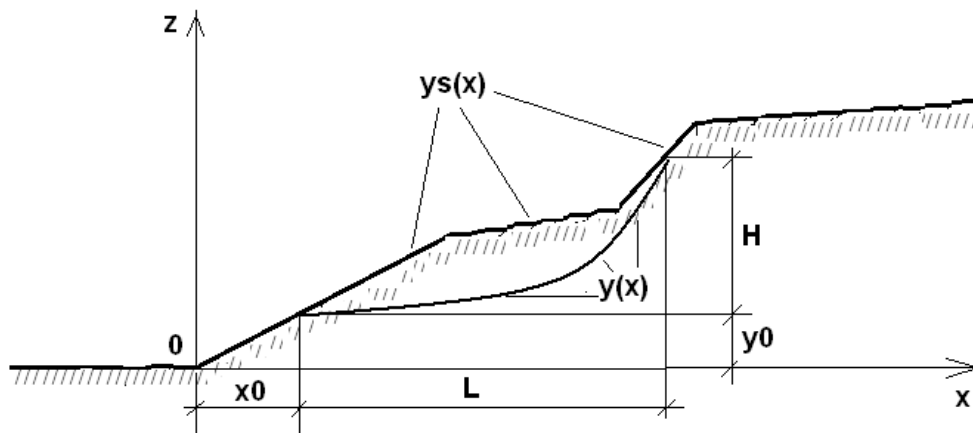


Рис. 3. Розташування поверхні ковзання: $y(x)$ - поверхність ковзання; $y_s(x)$ - денна поверхня

де $y(x)$ – рівняння поверхні ковзання; x – координата; x_0 і y_0 – координати початкової точки кривої ковзання; H – висота укосу; L – його довжина; δ – показник ступеню.

В рамках розрахунків стійкості вертикального укосу на основі гіпотез про ступеневу лінію ковзання та інші її типи був отриманий коригувальний множник m_k , який відображає, як відрізняються між собою фактичне і еталонне значення коефіцієнта стійкості схилу для даних умов.

У ході чисельного експерименту кут внутрішнього тертя змінювався від 0 до 45 градусів, а висота укосу - від 0 до 100 метрів. Було визначено, що коригувальний множник m_k практично не залежить від відношення зчеплення до кута внутрішнього тертя, і слабо - від кута внутрішнього тертя. Було запропоновано інтерпретувати коефіцієнт стійкості як відношення утримуючих сил до зсуваючих, проєкцій утримуючих сил на координатні вісі до проєкцій зсуваючих та як відношення утримуючого моменту до зрушуючого. У результаті розрахунків також отримано, що коригувальний множник може бути розрахований із використанням формули (5):

$$m_k = \frac{k_{y,i}}{k_{y,факт}}. \quad k_{y,факт} = \frac{k_{y,i}}{m_k \pm \rho}. \quad (5)$$

Виконані дослідження дозволили сформулювати задачу визначення коефіцієнта стійкості ґрунтового укосу як задачу теорії оптимізації і отримати методику визначення коефіцієнта стійкості універсального типу. Дана методика була апробована в рамках проектного завдання щодо розрахунків схилів балок м. Дніпропетровська. Були розглянуті два випадки розрахунку: коли рівняння поверхні ковзання відоме заздалегідь (ламана лінія) і коли рівняння поверхні ковзання заздалегідь невідоме (ступенева залежність).

Задача дослідження була сформульована таким чином: на заданому інтервалі зміни розрахункових характеристик основи і навантажень, параметрів рівняння поверхні ковзання потрібно знайти найменше значення з мінімумів функціоналів, які визначаються формулами (6-9) при виконанні обмежень (10-12).

$$k_{уст,0} = m_{k,0} \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^n T_{i,y\delta}}{\sum_{i=1}^n T_{i,c\delta}} \right) \rightarrow \min_{x_0, y_0, H_0, L, \delta, \gamma_{\min}, \gamma_{\max}, c_{\min}, c_{\max}, \varphi_{\min}, \varphi_{\max}, q_{\min}, q_{\max}} \quad (6)$$

$$k_{уст,X} = m_{k,x} \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^n T_{x,y\delta,i}}{\sum_{i=1}^n T_{x,c\delta,i}} \right) \rightarrow \min_{x_0, y_0, H_0, L, \delta, \gamma_{\min}, \gamma_{\max}, c_{\min}, c_{\max}, \varphi_{\min}, \varphi_{\max}, q_{\min}, q_{\max}} \quad (7)$$

$$k_{уст,y} = m_{k,y} \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^n T_{y,y\delta,i}}{\sum_{i=1}^n T_{y,c\delta,i}} \right) \rightarrow \min_{x_0, y_0, H_0, L, \delta, \gamma_{\min}, \gamma_{\max}, c_{\min}, c_{\max}, \varphi_{\min}, \varphi_{\max}, q_{\min}, q_{\max}} \quad (8)$$

$$k_{уст, M} = m_{k, M} \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^n T_{M, y\delta, i}}{\sum_{i=1}^n T_{M, c\delta, i}} \right) \rightarrow \begin{matrix} \min \\ x_0, y_0, H_0, L, \delta, \gamma_{\min}, \gamma_{\max}, \\ c_{\min}, c_{\max}, \varphi_{\min}, \varphi_{\max}, q_{\min}, q_{\max} \end{matrix} \quad (9)$$

1. Обмеження за місцем розташування лінії ковзання:

$$\left. \begin{array}{l} \text{при } \frac{dY}{dx} \geq 0 \quad T_{y\delta} = T_{y\delta} \quad \text{и} \quad T_{c\delta} = T_{c\delta}; \\ \text{при } \frac{dY}{dx} < 0 \quad T_{y\delta} = T_{y\delta} + T_{c\delta} \quad \text{и} \quad T_{c\delta} = 0 \end{array} \right\} \quad (10)$$

2. Якщо розглянута точка знаходиться вище рівня підземних вод, то:

$$\left. \begin{array}{l} T_{c\delta, i} = f_1(\gamma_{\max}, c_{\max}, \varphi_{\max}, q_{\max}); \\ T_{y\delta, i} = f_2(\gamma_{\min}, c_{\min}, \varphi_{\min}, q_{\min}); \end{array} \right\} \quad (11)$$

3. Якщо розглянута точка знаходиться нище рівня підземних вод, то:

$$\left. \begin{array}{l} T_{c\delta, i} = f_1(\gamma_{sat, \max}, c_{sat, \max}, \varphi_{sat, \max}, q_{\max}); \\ T_{y\delta, i} = f_2(\gamma_{sw, \min}, c_{sat, \min}, \varphi_{sat, \min}, q_{\min}); \end{array} \right\} \quad (12)$$

де *sat* – стан водонасичення ґрунту, *sw* – стан зваження у воді, $T_{c\delta, i}$ - зсуваючі сили, $T_{y\delta, i}$ - утримуючі сили.

Основними відмінностями запропонованої методики від загальноприйнятих методик є:

1) інтерпретація коефіцієнта стійкості як найменшого значення з мінімумів функціоналів, які визначаються як відношення утримуючих сил до зсуваючих ($K_{утр,0}$), проєкцій утримуючих сил на координатні вісі до проєкцій зсуваючих ($K_{утр,x}$, $K_{утр,y}$) та як відношення утримуючого моменту до зрушуючого ($K_{утр,M}$);

2) використання коригувальних множників, які чисельно дорівнюють відношенню коефіцієнтів стійкості, встановлених із використанням методу В.Соколовського (еталонного методу) до їх значень, які встановлені з використанням гіпотез про ламану і ступеневу поверхні ковзання;

3) використання при визначенні коефіцієнта стійкості всього діапазону розрахункових характеристик властивостей ґрунту і навантажень (тобто їх мінімальних і максимальних значень).

Із використанням запропонованої методики був розрахований коефіцієнт стійкості зсуву, що стався у м. Дніпропетровську у Зустрічній балці в 1997 році. Геологічна будова схилу представлена насипним ґрунтом (шар 1), чергуванням еолово-делювіальних лесових суглинків та супісків (шари 2, 3, 4 і 5) різної потужності, витриманих за простяганням які підстиляються щільними червоно-бурими суглинками (шар 6) (рис. 4).

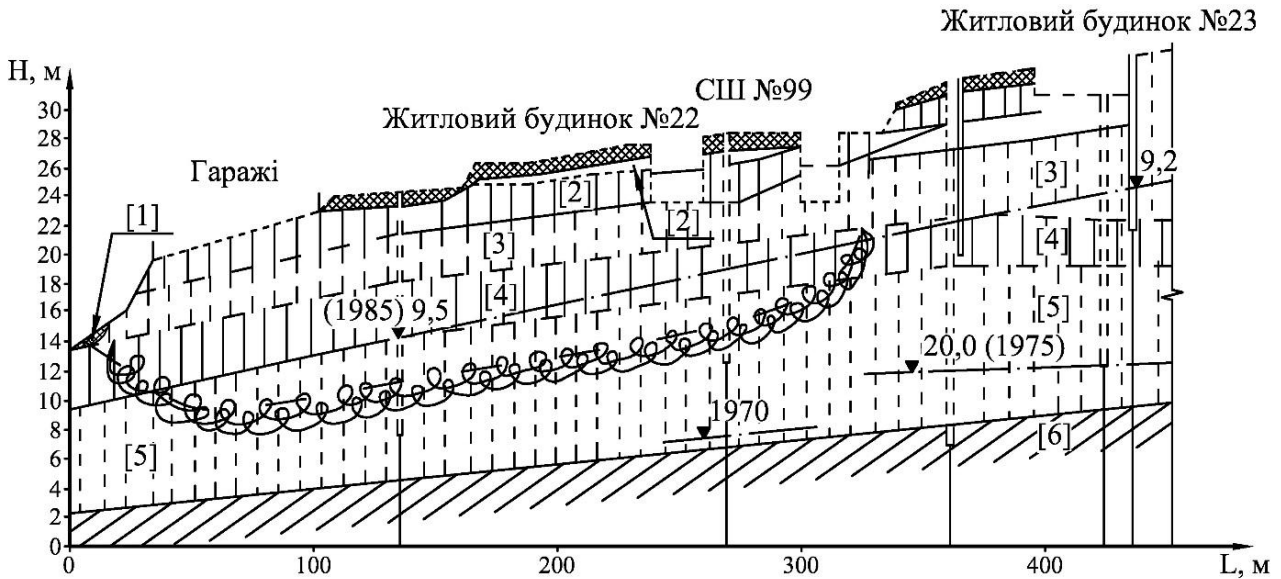


Рис. 4. Інженерно-геологічний профіль схилу балки Зустрічна

У результаті розрахунку за запропонованою методикою було встановлено:

1. Найменший коефіцієнт стійкості зсуву дорівнює 0,91 (табл. 1).
2. Руйнування сталося як результат невиконання умови рівноваги за вертикальною віссю.

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів стійкості, отриманих у результаті розрахунку стійкості схилу балки Зустрічна

$K_{утр,0}$	$K_{утр,x}$	$K_{утр,y}$	$K_{утр,M}$	K_{1997}
1,45	1,38	0,91	1,19	1,3

У ході впровадження матеріалів досліджень у практику з використанням запропонованої методики була запроєктована ґрунтова гребля у м. Дніпропетровську на ж/м Перемога і виконаний аналіз стійкості борта Тунельної балки, в ході якого виявлено найбільш зсувонебезпечні ділянки схилу (рис.5-8).

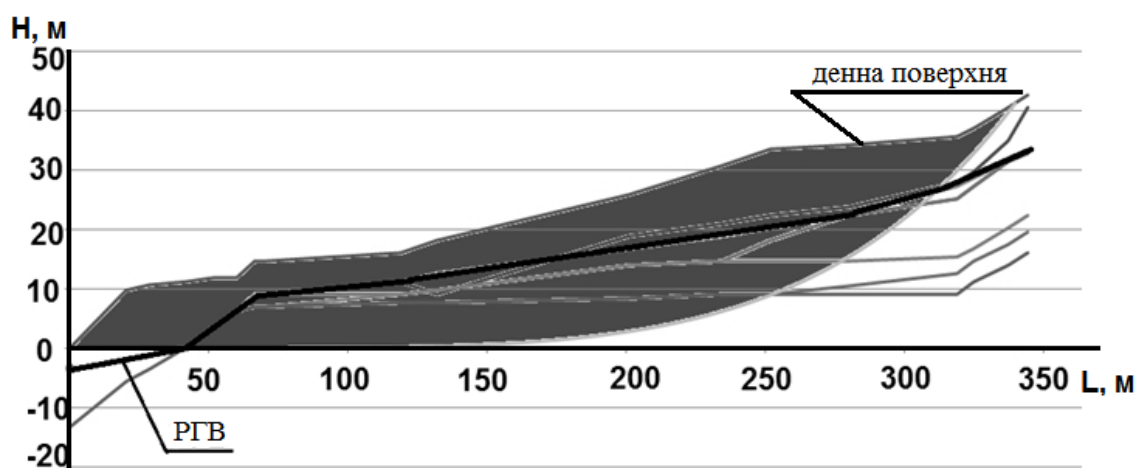


Рис. 5. Коефіцієнт стійкості, який визначається як відношення сил утримуючих до зсуваючих: РГВ – рівень ґрунтових (підземних) вод

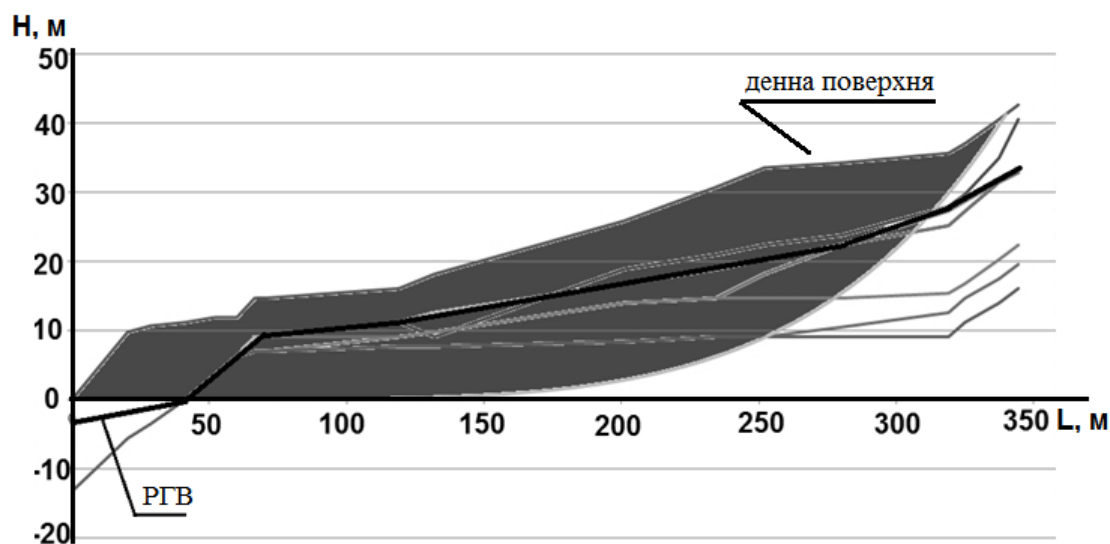


Рис. 6. Коефіцієнт стійкості у припущенні про те, що його руйнування відбувається внаслідок недотримання рівняння статички за віссю Ox

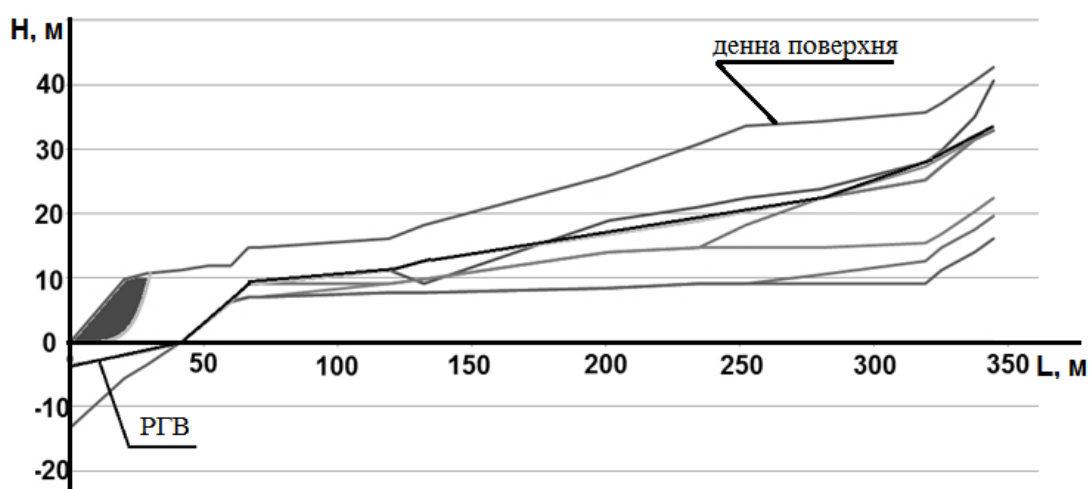


Рис. 7. Коефіцієнт стійкості у припущенні про те, що його руйнування відбувається внаслідок недотримання рівняння статички за віссю Oy

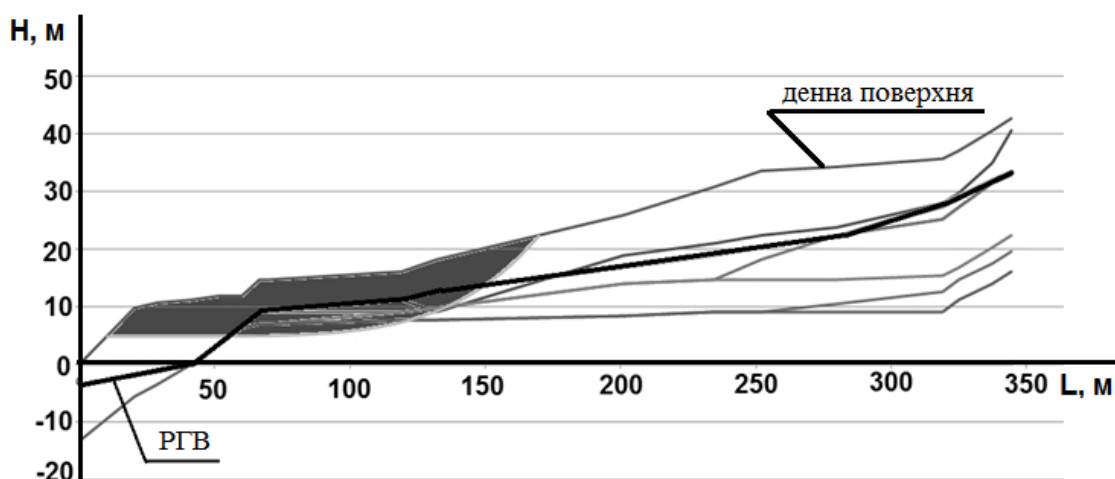


Рис. 8. Коефіцієнт стійкості у припущенні про те, що його руйнування відбувається внаслідок недотримання рівняння рівноваги утримуючого і зрушуючого моментів

В рамках розрахунку пропонується методика дозволяє врахувати різне положення рівня підземних вод по кожній свердловині і зміну властивостей ґрунту при водонасиченні. Шляхом серії розрахунків стійкості схилу балки Тунельної з пошаровим підвищенням позначки рівня підземних вод встановлена залежність коефіцієнта стійкості укосу від відмітки рівня підземних вод, яка підпорядковується закону модифікованої експоненти $k_y = a - b \cdot e^{-c \cdot h^d}$, де a, b, c, d - емпіричні коефіцієнти, h - глибина залягання підземних вод, що дозволяє обґрунтовувати технологічні параметри дренажних конструкцій (рис. 9).

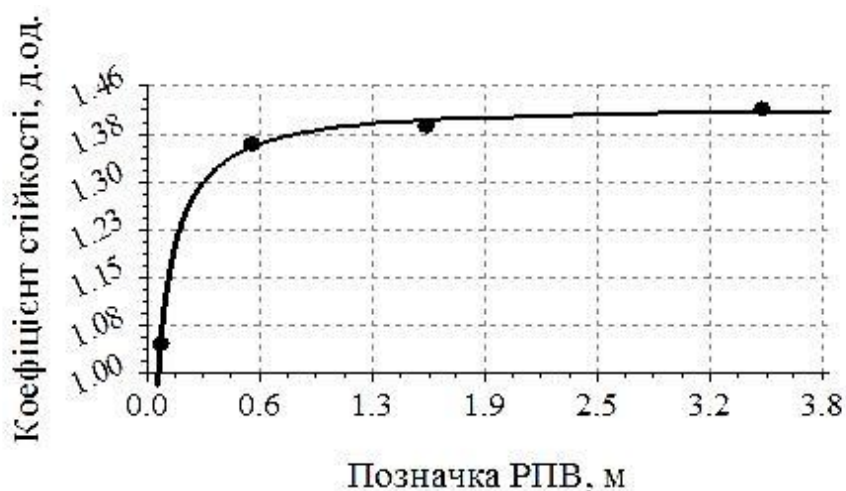


Рис. 9. Залежність коефіцієнта стійкості схилу від рівня підземних вод (РПВ)

Впровадження результатів роботи у практику будівництва дозволило провести аналіз стійкості схилів у межах міської забудови, виявити найбільш зсувонебезпечні ділянки, що дозволить запобігти значним матеріальним збиткам від можливих зсувних руйнувань.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі вперше встановлених закономірностей між коефіцієнтом стійкості неоднорідного ґрунтового схилу і способом подання лінії ковзання, а також відміткою рівня підземних вод вирішене актуальне науково-технічне завдання прогнозу стійкості ґрунтових укосів і схилів в умовах міської забудови при змінному рівні підземних вод, що має важливе значення для розвитку міст.

Основні наукові і прикладні результати, висновки та рекомендації роботи полягають у наступному.

1. Із використанням методів теорії оптимізації розроблені методики розрахунку стійкості: неводонасичених та водонасичених укосів і схилів; неводонасичених укосів і схилів з урахуванням дії сейсмічних сил; водонасичених укосів і схилів з урахуванням дії сейсмічних сил. Показано, що врахування при визначенні коефіцієнта стійкості всіх рівнянь статички дозволяє також виявити причину руйнування схилу.

2. Встановлено, що фактичні поверхні ковзання реальних зсувів дозволяє апроксимувати ступенева функція.

3. Обґрунтована методика визначення коефіцієнта стійкості укосів (схилів), яка базується на гіпотезі про поверхню ковзання у вигляді ступеневої функції. Її відмінність від відомих методів визначення коефіцієнта стійкості ґрунтових укосів полягає в тому, що вона враховує мінімальні і максимальні характеристики ґрунту і навантажень, коригуючі множники, а також дозволяє виявити механізм зсуву.

4. В ході виконаних розрахунків за вдосконаленою методикою для балки Зустрічна на ж/м Тополь отримано коефіцієнт стійкості $K_y = 0,91$, що свідчить про достовірність застосованих підходів та отриманих результатів.

5. Встановлено, що залежність коефіцієнта стійкості від позначки рівня підземних вод, яка змінюється від природнього рівня до повного водонасичення схилу, підпорядковується закону модифікованої експоненти для всіх чотирьох випадків втрати схилом стану стійкості.

6. Результати досліджень успішно використані при оцінці стійкості бортів Тунельної балки в м. Дніпропетровську у «ДніпроНДІНТІЗ» - ДФ ДП «УКРНДІНТІЗ», ґрунтової греблі для укріплення берега в м. Дніпропетровськ на Набережній Перемоги 9-в у ТОВ «Гідропроєктбуд» і в навчальному процесі при підготовці бакалаврів та магістрів за спеціальністю «Промислове та цивільне будівництво» в Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет».

Основні положення й результати дисертації опубліковані в таких роботах:

1. Причина Е.С. Вероятностный метод определения коэффициента устойчивости откосов и склонов / В. Г. Шаповал, Е. С. Причина, И. Ю. Булич // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – 2014. – Т. 10, № 3. – С. 195–201. (Наукометрична база РІНЦ)

2. Причина К.С. К вопросу адекватной интерпретации результатов расчета коэффициента устойчивости откосов и склонов вариационным методом / В.Г. Шаповал, К.С. Причина // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне, 2014. – Вип. 28. – С. 456–462.

3. Причина Е.С. Определение коэффициента устойчивости откосов и склонов в рамках гипотезы о поверхности скольжения в виде степенной функции / В.Г. Шаповал, А.В. Шаповал, Е.С. Причина // Світ геотехніки: науково-технічний журнал. – Запоріжжя, 2014. – Вип. 4(44). – С. 22–25.

4. Причина Е.С. К вопросу совершенствования расчета устойчивости грунтовых откосов и склонов / Е.С. Причина, И.Ю. Булич // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг, 2015. – Вип. 39. – С. 29–33. (Наукометрична база РІНЦ)

5. Причина Е.С. Визначення коригуючих множників для зіставлення коефіцієнтів стійкості схилів при використанні різних методів розрахунку / Е.С. Причина // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук: 2015. – Вип. 2/(16). – С.153–162. (Наукометрична база INDEX COPERNICUS)

6. Причина Е.С. Влияние способа определения напряженно-деформированного состояния грунтовых откосов и склонов на расчетные значения их коэффициентов устойчивости / В.Г. Шаповал, А.В. Шаповал, Е.С. Причина, И.Ю. Булич // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава : ПолНТУ, 2013. – Вип. 3(38). – Т.1. – С. 312–314.

7. Причина Е.С. К вопросу адекватного использования расчетных характеристик грунтовых оснований при определении устойчивости откосов и склонов / [А.В. Шаповал, Е.А. Шокарев, А. Слободянюк та ін.] // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, 2013. – Вип. 71. – С. 487–493.

8. Причина Е.С. К вопросу адекватного использования расчетных характеристик грунтовых оснований при определении давления грунта на удерживающие конструкции / А.В. Шаповал, Е.А. Шокарев, Е.В. Нестерова [и др.] // Сборник "Современные проблемы строительства". – Донецк, ДП «Донецкий промстройиниипроект», 2012. – Изд.15.

9. Причина Е.С. Модификация метода прямолинейной поверхности скольжения к расчету устойчивости склона с учетом гидродинамического и сейсмического воздействия / В.Г. Шаповал, Е.С. Причина // Форум гірників – 2013: матеріали міжнар. конф. 2-5 жовтня 2013 р. – Д: Національний гірничий університет, 2013. – Т.2. – С. 248–256.

10. Prychyna K. The Estimation of Gully Slope Stability in Urban areas / K. Prychyna // The 8-th International Forum for Students and Young Researches "Widening our horizons", April 11-12, 2013. – D: State Institute of Higher Education "National Mining University", 2013. – Volume 2. – P. 138.

11. Причина Е.С. Оценка устойчивости грунтовых склонов с использованием аналитических и численных методов расчета / Е.С. Причина, И.Ю. Булич, А.В. Шаповал // Материалы Международной науч.-техн. конф. «Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений», 4 квітня, 2013. – Донецк: «Норд – Пресс», 2013. – Вып.19. – С.93–95.

12. Причина Е.С. Адекватное использование расчетных характеристик при решении задач устойчивости грунтовых откосов / Е.С. Причина, И.Ю. Булич, А.В. Шаповал // Наукова весна – 2013: матеріали IV Всеукр. наук.-техн. конф. 29 березня 2013 р. – Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «НГУ», 2013. – С. 210–211.

13. Причина Е.С. Анализ устойчивости грунтовых откосов с применением численных и аналитических методов расчета / Е.С. Причина, И.Ю. Булич, А.В. Шаповал // Перспективи розвитку будівельних технологій – 2013: матеріали 7-мої міжнар. наук.-практ. конф. 18-19 квітня 2013 р. – Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «НГУ», 2013. – С. 69–72.

14. Причина Е.С. Современные методы укрепления откосов и склонов геосинтетическими материалами / В.Г. Шаповал, Е.С. Причина, И.Ю. Булич // Форум гірників – 2014: матеріали міжнар. конф. 1-4 жовтня 2014 р. – Д: Національний гірничий університет, 2014. – Т.2. – С. 285–293.

15. Причина Е.С. Оценка устойчивости и методов укрепления грунтовых склонов с целью рационального использования городских оползнеопасных территорий / Е.С. Причина, И.Ю. Булич, К.А. Власова // Перспективи розвитку будівельних технологій – 2015: матеріали 9-тої між нар. наук.-практ. конф. 23-24 квітня 2015 р. – Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «НГУ», 2015.– С. 205–212.

16. Причина Е.С. К вопросу оценки точности определения напряженно-деформированного состояния грунтовых оснований с использованием метода конечных элементов / В.В. Капустин, Е.С. Причина, А.В. Шаповал, В.Г. Шаповал // Молодежь и XXI век - 2015: материалы V Международной молодежной научной конференции (26-27 февраля 2015 года). – Юго-Зап. гос. ун-т., ЗАО «Университетская книга», Курск, 2015. – Т.2. – С.284–287.

17. Причина Е.С. Анализ устойчивости склона балки Тоннельная в г. Днепропетровске по методу, в основе которого лежит гипотеза о представлении линии скольжения в виде степенной функции / Е.С. Причина // Форум гірників – 2015: Матеріали міжнародної конференції. – Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «НГУ», 2015. – Т.2. – С.168–174.

18. Причина Е.С. Зависимость коэффициента устойчивости склона от отметки уровня грунтовых вод / Е.С. Причина // Матеріали III-ї Всеукр. наук.-техн. конф. студентів, аспірантів і молодих учених «Молодь: наука та інновації 2015». – Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «НГУ», 2015. – Т.7. – С. 12–13.

Особистий внесок автора у роботі, що надруковані у співавторстві:

[1, 2] – виконання аналітичних досліджень, формулювання висновків; [3] – розробка методики розрахунку, аналіз результатів; [4] – перевірка розрахунків, аналіз результатів, формулювання висновків, [6] – аналіз проблематики, виконання частини аналітичних досліджень; [7, 8] – виконання аналітичних досліджень, розрахунків, аналіз результатів; [9] – формулювання основних задач; [11, 12, 13] – проведення аналітичних досліджень, аналіз результатів; [14] – аналіз та узагальнення результатів досліджень; [15, 17] – виконання розрахунків, аналіз результатів, [16] – формулювання основних задач.

АНОТАЦІЯ

Причина К.С. Удосконалення методу розрахунку ґрунтових схилів в умовах міської забудови при змінному рівні підземних вод. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнична механіка». Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», Міністерства освіти і науки, Дніпропетровськ, 2016.

У дисертації вирішене актуальне науково-технічне завдання достовірного розрахунку стійкості природних схилів в умовах підняття рівня підземних вод.

Запропоновані і обґрунтовані методики розрахунку стійкості ґрунтових схилів, в основу яких покладено інтерпретацію коефіцієнта стійкості як найменшого значення з мінімумів функціоналів, що визначаються як відношення сум утримуючих сил до зсуваючих, відношення проєкцій цих сил на координатні вісі і відношення утримуючого моменту до зрушуючого, а також використання коригувальних множників та всього діапазону розрахункових характеристик властивостей ґрунту і навантажень.

Отримана залежність між рівнем підземних вод і значенням коефіцієнту стійкості схилу.

Закономірності, отримані в результаті досліджень, використані у методиці розрахунку стійкості схилів і укосів, впровадженій у рамках програм захисту схилів у м. Дніпропетровську у «ДніпроНДІНТІЗ» - ДФ ДП «УКРНДІНТІЗ» та проектування кам'яно-накидної греблі за адресою вул. Набережна Перемоги, 9 - Б у ТОВ «Гідропроектбуд».

Ключові слова: укіс, схил, коефіцієнт стійкості, зсув, рівень підземних вод, лінія ковзання, розрахункові характеристики ґрунту.

АННОТАЦИЯ

Причина Е.С. Совершенствование метода расчета ґрунтовых склонов в условиях городской застройки при переменном уровне подземных вод. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.09 – «Геотехническая и горная механика». Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск, 2016.

В диссертации решена актуальная научно-техническая задача достоверного расчета устойчивости естественных склонов в условиях поднятия уровня подземных вод.

Проанализирована динамика развития проблемы оползнеобразования за последнее столетие, причины и последствия сходов оползней в мире и Украине и Днепропетровске в частности.

Определено, что существующие методы расчета устойчивости откосов и склонов, особенно с непостоянным уровнем ґрунтовых вод, требуют анализа и

доработки с целью учета факторов, которые могут привести к нарушению устойчивости геотехнической системы «склон-грунтовый массив».

Выделена необходимость совершенствования методов расчета устойчивости откосов и склонов.

Выполнены исследования, направленные на выявление влияния метода расчета и способа определения напряженно-деформированного состояния откосов на значения коэффициента устойчивости.

Проанализировано влияние расчетных характеристик свойств грунта и внешней нагрузки на значение коэффициентов устойчивости. Получены решения задач о критическом угле заложения откоса из сыпучего грунта и критической высоты откоса из связного грунта. Установлено, что при оговоренном в нормативных документах разбросе расчетных характеристик и действующих в настоящее время методах определения устойчивости имеет место завышение критического угла заложения откоса до 30%, а критической высоты откоса – до 60%.

Получены результаты аппроксимации различными функциями фактических линий скольжения оползней, зафиксированных в г. Днепропетровске и г. Москва. Доказано, что наиболее достоверные результаты получены для степенной поверхности скольжения.

В рамках расчетов устойчивости вертикального откоса на основе гипотез о степенной линии скольжения и других ее типах обоснован корректирующий множитель, использование которого позволяет поставить в соответствие значения коэффициентов устойчивости, установленных с использованием различных методов.

Предложены методики расчета устойчивости, основными отличиями которых от общепринятых методик являются:

1) интерпретация коэффициента устойчивости как наименьшего значения из минимумов функционалов, которые определяются как отношения сумм удерживающих сил к сдвигающим, отношений проекций этих сил на координатные оси и отношение удерживающего момента к опрокидывающему;

2) использование корректирующих множителей, которые численно равны отношению коэффициентов устойчивости, установленных с использованием метода В.Соколовского (эталонного метода) к их значениям, установленным с использованием гипотез о ломаной и степенной поверхностях скольжения;

3) использование при определении коэффициента устойчивости всего диапазона расчетных характеристик свойств грунта и нагрузок.

Установлена зависимость коэффициента устойчивости откоса от отметки уровня подземных вод, которая подчиняется закону модифицированной экспоненты.

Закономерности, полученные в результате исследований, использованы в методике расчета устойчивости склонов и откосов, внедренной в рамках программ защиты склонов и проектирования каменно-накидной плотины в г. Днепропетровске.

Ключевые слова: откос, склон, коэффициент устойчивости, оползень, уровень подземных вод, линия скольжения, расчетные характеристики грунта.

ABSTRACT**Prychyna K.S. Improving the method of estimation of soil slope stability in urban areas at a variable groundwater level. – Manuscript.**

Thesis for a scientific degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.15.09 - Geotechnical and Mining Mechanical Engineering. – State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, 2016.

In the thesis the actual scientific and technical problem of accurate stability calculation technique of soil slopes in terms of the groundwater level raising is solved.

The techniques of soil slopes stability calculation are proposed and confirmed. They are based on the interpretation of the factor of safety as the lowest value of the functional minimum values, that obtained as the ratio of the retaining and shearing forces sums; the ratio of these forces projections on the coordinate axis and the ratio of retaining and shearing moments sums; using correcting multipliers and the full range of design characteristics of soil properties and loads.

The relationship between the underground water level and the slope factor of safety is obtained.

Obtained technique of slope stability calculation, based on the investigations relationships, are used in the Dnepropetrovsk slopes protecting programs in "DniproNDIINTIZ" - "UKRNDIINTIZ" DA SE and designing stone thrown dam, which is located on Victory embankment, 9 - B in LLC "Gidroproektbud."

Keywords: slope, gully slope, factor of safety, landslide, underground water level, slip line, design soil characteristics.

ПРИЧИНА Катерина Сергіївна

**Удосконалення методу розрахунку ґрунтових схилів в умовах міської
забудови при змінному рівні підземних вод**

(Автореферат)

Підп. до друку

**_____ . Формат 60x90/16.
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 120 пр. Зам. № _____ .**

**Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»
49005, м. Дніпропетровськ, просп. Дмитра Яворницького, 19.**