

© Н.В. Зуєвська<sup>1</sup>, Л.В. Шайдецька<sup>1</sup>, Т.В. Косенко<sup>1</sup>, Ж.А. Гуцуляк<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

## ЗАСТОСУВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ ЗАХОДІВ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ГРУНТОВОГО СХИЛУ

© N. Zuievskaya<sup>1</sup>, L. Shaidetska<sup>1</sup>, T. Kosenko<sup>1</sup>, Z. Hutsuliak<sup>1</sup>

<sup>1</sup> National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

## APPLICATION OF ENGINEERING MEASURES FOR THE STABILIZATION OF THE SOIL SLOPE

**Мета.** Аналіз застосування інженерних заходів для стабілізації ґрунтового схилу з розміщеною поблизу його бровки будівлею за допомогою програмного комплексу Slide.

**Методика.** Для досягнення поставленої мети проведені розрахунки по визначенню коефіцієнта стійкості схилу при виконанні різних інженерних заходів, які б дозволили стабілізувати схил і при можливості заощадити витрати. В умовах щільної міської забудови, заходи по стабілізації схилу обираються виходячи не тільки враховуючі геологічні умови. Треба аналізувати архітектурні рішення, ландшафт, наявність сусідніх споруд та інше. Використовується метод круглоциліндричних поверхонь ковзання, який ґрунтується на розрахунку можливих поверхонь ковзання при зсувах. Завдання розрахунку полягає у визначенні коефіцієнта стійкості схилу для найбільш небезпечної поверхні ковзання.

**Отримані результати дослідження.** Визначені розраховані параметри стійкості зсуву: коефіцієнт запасу стійкості, координата початку поверхні ковзання, глибина заколу, координата закінчення поверхні ковзання. Для забезпечення стійкості схилу або укосу необхідно, щоб коефіцієнт запасу стійкості був більшим за 1, але треба враховувати, що залежно від класу відповідальності споруди необхідна величина коефіцієнта запасу стійкості може знаходитися в межах 1,25 – 1,80 та регламентується відповідними типу та класу спорудження нормами (ДБН).

**Наукова новизна.** Отримана можливість прогнозування поведінки природних схилів та штучних укосів в процесі їх розвитку та господарської діяльності.

**Практичне значення.** Використовується метод круглоциліндричних поверхонь ковзання передбачає великий обсяг одноманітних обчислень по визначенню коефіцієнту стійкості по кожній ймовірній лінії ковзання і тому використання програмного комплексу дозволить більш ефективно 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:** схил, міцність ґрунту, коефіцієнт стійкості, метод граничної рівноваги, математичне моделювання, програмний комплекс Slide.

**Вступ.** Схили м. Києва мають складну геологічну структуру де розташовані еолово-делювіальні лесовидні супіски, що можуть бути підсипані насипним шаром. Це може збільшити швидкість водоплину води та сприяти зсувам. Також гляціальні утворення дніпровського зледеніння можуть впливати на стійкість

схилу, а наявність бурих та строкатих глин неогенового віку може впливати на властивості ґрунту, зокрема його стійкість до зсувів.

Нижче за схилом розташовується потужна ділянка делювіально-зсувних ґрунтів, які включають супіски, суглинки та інші типи ґрунтів, може бути особливо вразливою до зсувів через їхні геологічні властивості та водопровідність. Крім того водопроникні, водонасичені та водотривкі відклади можуть сприяти накопиченню води в ґрунті, що може збільшити зсувонебезпеку.

Для забезпечення безпеки та попередження небезпеки зсувів важливо проводити детальний геологічний аналіз та вживати заходів для стабілізації ґрунтів та зменшення ризику зсувів, особливо на важливих для міста територіях.

Інженерні протизсувні споруди почали зводитися на крутих схилах Дніпра ще в XII столітті. Споруди інженерного захисту території як для утримання ґрунтових мас, дренажування та відведення поверхневих і ґрунтових вод, так і в плані інженерної підготовки території для будівництва наземних споруд побудовано у XVI—XVIII ст. З інженерної точки зору, будівництво споруд для захисту від зсувів та дренажування може включати різні техніки та матеріали. [1–6]

**Актуальність дослідження.** Оцінка стійкості схилів в умовах міської забудови є актуальною проблемою у зв'язку із освоєнням зсувонебезпечних територій, а також активізацією і появою нових зсувів, обумовлених втручанням людини в навколишнє середовище.

**Метою досліджень** є аналіз застосування інженерних заходів для стабілізації ґрунтового схилу з розміщеною поблизу його бровки будівлею за допомогою програмного комплексу Slide.

**Викладення основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.**

Для вирішення завдання визначення стійкості схилів застосовують численні методи в контексті теорії граничної рівноваги. Ці методи, як правило, базуються на наступних передумовах:

Механізм втрати стійкості приймається як механізм ковзання масиву, що обповзає, щодо нерухомої частини укосу.

Опір зрушення на поверхні ковзання розраховується для статичних умов. Уздовж всієї поверхні має витримуватись критерій руйнування ґрунту, що приймається у вигляді закону Кулона.

Реальне напруження зсуву, що отримане на основі розрахунку, зіставляється з граничним опором зрушенню, і результат цього порівняння виражається у вигляді коефіцієнта запасу стійкості  $K$ .

Реальна поверхня ковзання тривимірна. Але в переважній більшості методів розрахунку, зокрема і в програмному комплексі Slide (програмний комплекс Slide для 2D розрахунку стійкості схилів методами граничної рівноваги), прийнята передумова про плоску деформацію, коли поверхня ковзання – циліндрична із напрямними, паралельними поверхні схилу. У Slide можна виконувати пошук критичної поверхні, щоб спробувати знайти поверхню ковзання з найменшим коефіцієнтом стійкості.

Для виконання розрахунків стійкості схилу скористаємося інженерно-геологічними умовами ділянки будівництва яка складена піщаними ґрунтами у вигляді супісків із щільністю ґрунту  $\rho = 1,72 \text{ г/см}^3$ , природною вологістю,  $w = 11 \%$  кутом внутрішнього тертя  $\varphi = 22^\circ$ , питомим зчепленням  $C = 0,008 \text{ МПа}$ , модулем деформації  $E = 8,2 \text{ МПа}$ , а також крупним піском із щільністю ґрунту  $\rho = 1,66 \text{ г/см}^3$ , природною вологістю  $w = 14 \%$ , кутом внутрішнього тертя  $\varphi = 36^\circ$ , модулем деформації  $E = 22,8 \text{ МПа}$ .

Розрахункова схема визначення центру обертання найбільш небезпечної поверхні ковзання ґрунтового укосу з розміщеною поблизу його брівки будівлею наведена на рис. 1.

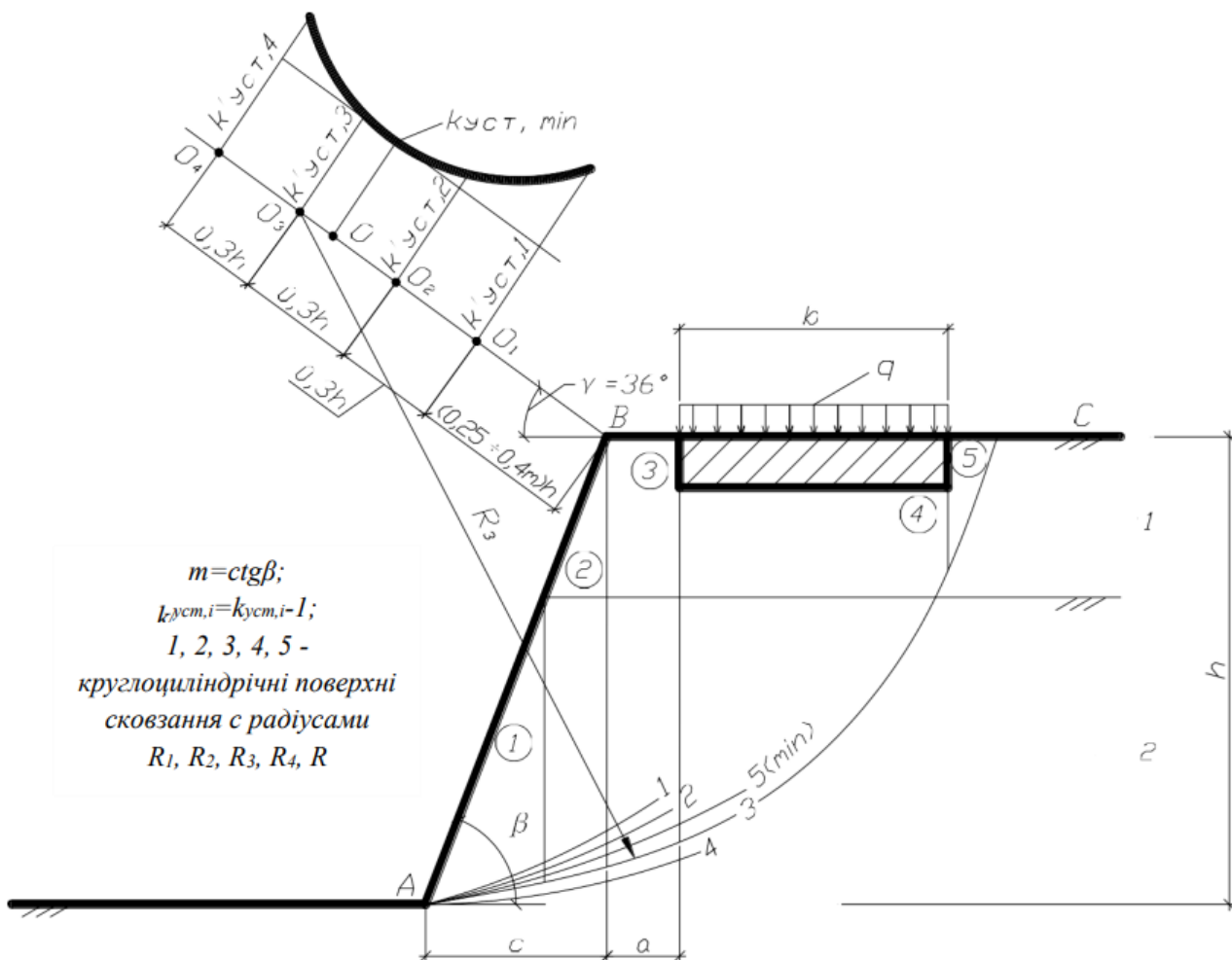


Рис. 1. Розрахункова схема визначення центру обертання найбільш небезпечної поверхні ковзання

Після введення до програмного комплексу характеристик ґрунтів та фундаментів будівлі використовуючи спрощений аналіз Бішопа отримаємо всі поверхні ковзання. Спрощений метод Бішопа допускає нульові сили ковзання між блоками. Метод заснований на задоволенні рівняння моментів рівноваги та рівняння вертикальної сили рівноваги. Таким чином ввівши граничні умови з фактором міцності від 0,5 до 1.5 та застосувавши фільтр ми отримуємо глобальну мінімальну поверхню ковзання (рис. 2).

Як видно з рис. 2. глобальний мінімум являє собою складову круглоциліндричну поверхню ковзання з коефіцієнтом стійкості  $K = 0,960$ .

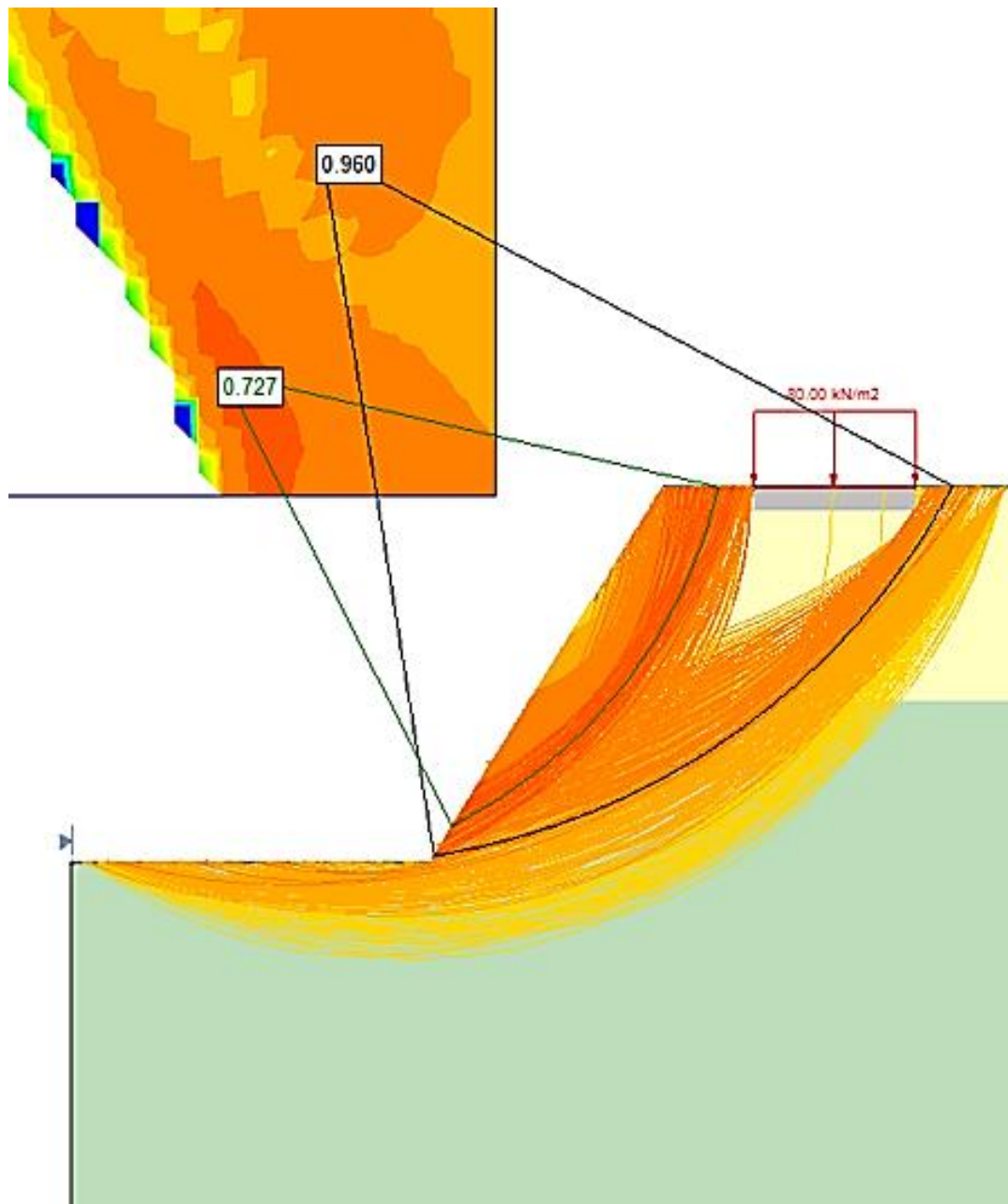


Рис. 2. Глобальна мінімальна поверхня ковзання

За теорією граничної рівноваги якщо  $K > 1$ , то схил стійкий, якщо  $K < 1$  схил – нестійкий.

Слабкий ґрунтовий шар та зовнішнє навантаження впливають на стійкість моделі. Тому, необхідно провести комплекс інженерних заходів для підтримки стійкості схилу для його стабілізації.

Відповідно до ДБН В.1.1-46:2017 «Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів» утримувальні споруди слід передбачати для запобігання зсувним процесам за неможливості або економічної недоцільності зміни рельєфу схилу. В нормах рекомендують застосовувати наступних види:

підпірні стіни;  
пальові конструкції, шпонки;  
анкерні кріплення;  
комбіновані споруди.

При наявності вільних незабудованих територій першочерговим є утворення раціонального профілю схилу, яке досягається загальним вертикальним плануванням і наданням йому відповідної крутизни і терасуванням схилу, видаленням або заміною нестійких ґрунтів. Після проведення підрізання схилу на висоту 3 м коефіцієнт стійкості становить  $K = 1,215$ , що задовольняє умову граничної рівноваги (рис. 3).

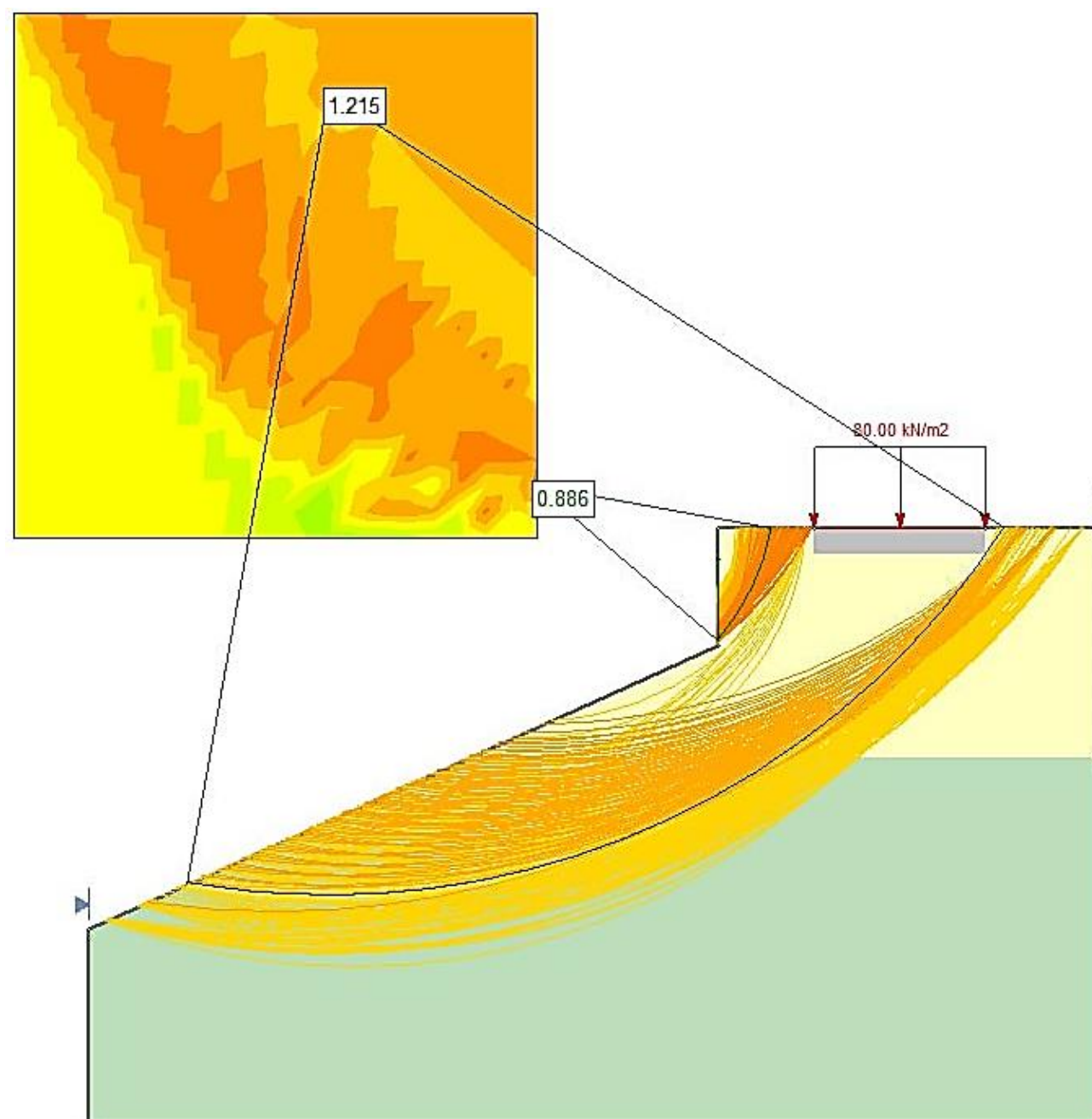


Рис. 3. Моделювання схилу з підрізанням

На сьогодні більшість схилів м. Києва забудовані, тобто використати захід з вертикального планування не є доцільним, тому для стабілізації схилу запроєктуємо підпірну стінку висотою 7,5 м, шириною 1 м. В цьому випадку за результатами обрахунку (коефіцієнт за розрахунком Бішопа  $K = 1,151$ ), схил стійкий, але видно з рис. 4, що незакріплений ґрунт перед стінкою все одно буде сповзати. Застосувавши комбіновані методи кріплення схилу (рис. 5) можна досягти оптимального результату.

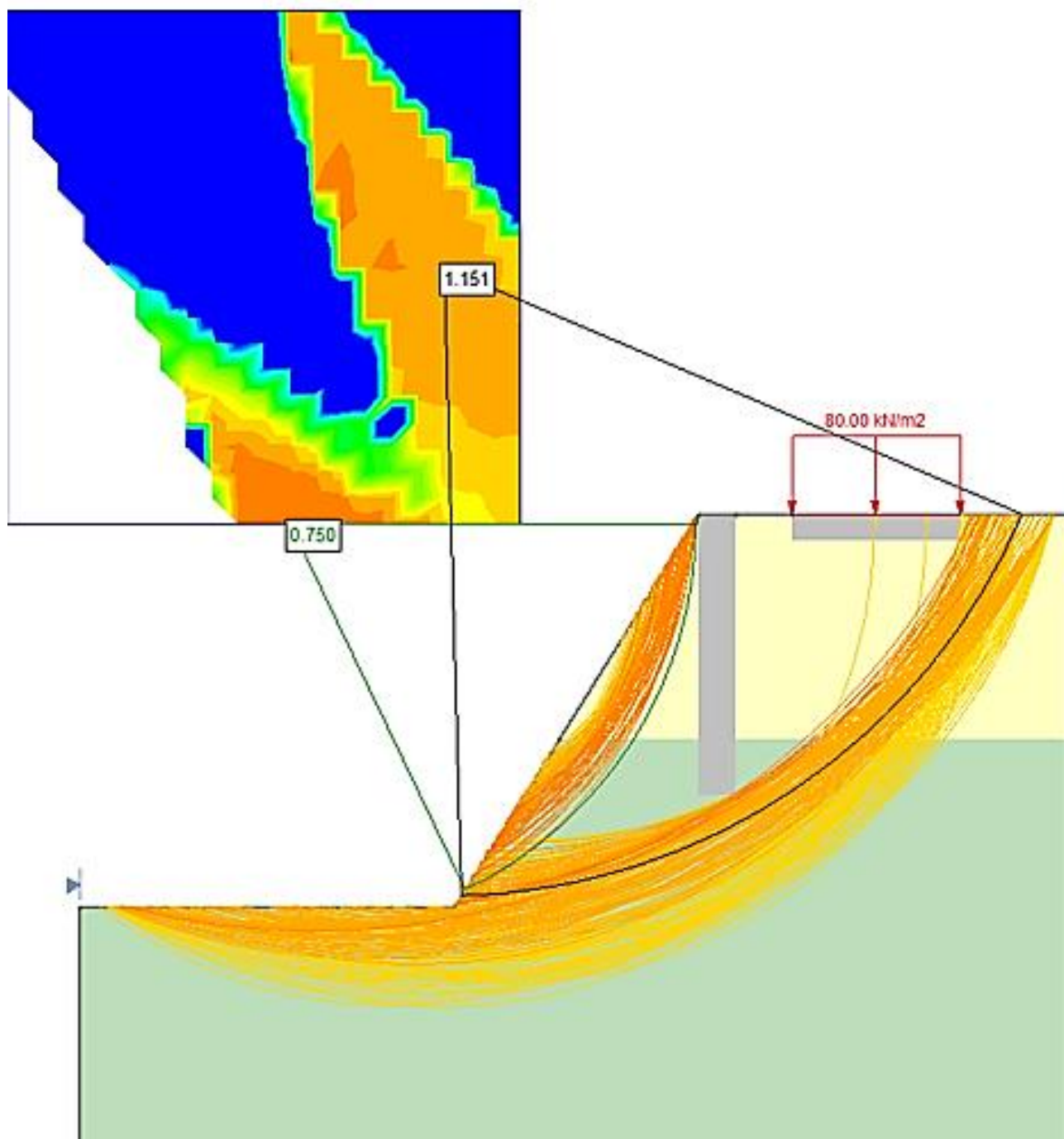


Рис. 4. Моделювання схилу з застосуванням підпірної стінки

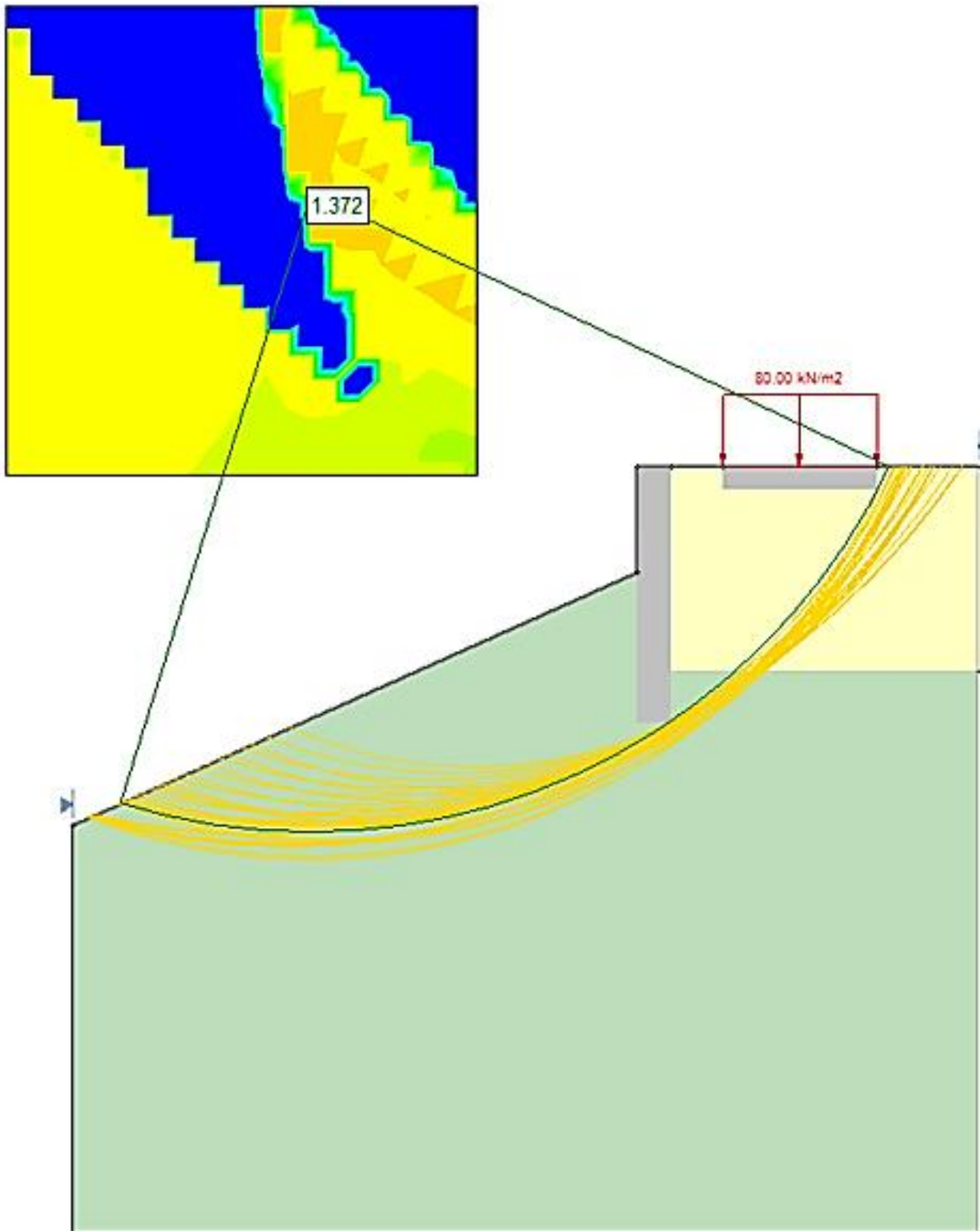


Рис. 5. Моделювання схилу з застосуванням комбінованих способів кріплення

На рис. 6 зображено графік базового нормального навантаження,  $R = 18,731$  центр (6,967; 30,486),  $K = 1,372$ .

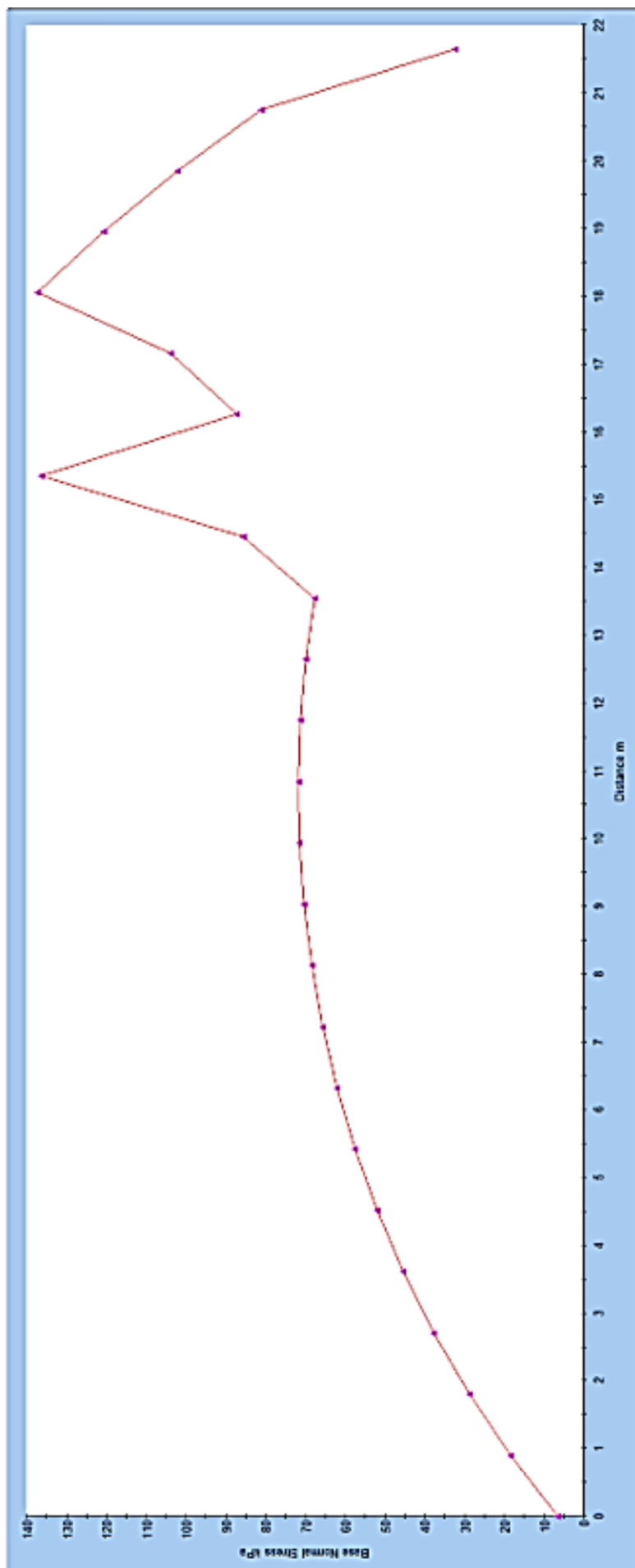


Рис. 6. Графік базового нормального навантаження



Оцінка та забезпечення стійкості схилів в умовах міської забудови є надзвичайно актуальною проблемою, яка має велике значення для забезпечення безпеки населення та інфраструктури. Особливо в міських умовах, де міста активно розвиваються, нові будівлі та інфраструктура часто впливають на геологічну структуру і природні процеси.

Для вирішення проблем пов'язаних з освоєнням зсувонебезпечних територій потрібно: проведення детальних досліджень геологічної структури та властивостей ґрунту для оцінки потенційних ризиків; розробка інженерних споруд та методів для забезпечення стійкості схилів, включаючи терасування, підсіпку, дренажні системи та інші; ретельне планування розвитку міста з урахуванням геологічних особливостей та зсувонебезпеки; встановлення систем моніторингу за зсувами та геологічними подіями для оперативного втручання та запобігання небезпеці. Ці заходи допоможуть вирішити проблеми, пов'язані зі стійкістю схилів у міських умовах та забезпечити безпеку населення та майна.

**Висновки:** Застосування комплексу інженерних заходів для стабілізації ґрунтового схилу вирішує проблему освоєння зсувонебезпечних територій, обумовлених втручанням людини в навколишнє середовище в умовах міської забудови.

При складанні розрахункової схеми для схилу необхідно враховувати особливості геоморфологічної та інженерно-геологічної будов, режиму ґрунтових вод, наявності потенційних поверхонь ковзання тощо.

Для оцінювання стійкості схилу використання програмного комплексу Slide (для 2D розрахунку стійкості схилів методами граничної рівноваги) дає достовірні дані напружено-деформованого стану ґрунтового масиву, параметри стійкості зсуву: коефіцієнт запасу стійкості, координата радіусу поверхні ковзання, координат центру поверхні ковзання.

#### Перелік посилань

1. Ліщенко, Л.П., Пазинич, Н.В., & Терemenko, О.М. (2014). Дослідження зсувних процесів на території м. Києва в режимі дистанційного моніторингу. *Український журнал дистанційного зондування Землі*, 2, 29–34. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ukjdzz\\_2014\\_2\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ukjdzz_2014_2_6).
2. Демчишин, М. Г., & Кріль, Т. В. (2019). Вдосконалення інженерного захисту території заповідника “Києво-Печерська лавра” *Наука Та Інновації*, 15(3), 37–51. <https://doi.org/10.15407/scin15.03.037>
3. Зуєвська, Н.В., Губашова, В.Є., & Шайдецька, Л.В. (2018). Особливості врахування впливу будівельної техніки на стійкість конструкції котловану при щільній міській забудові. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, 54, 170–183. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpngu\\_2018\\_54\\_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpngu_2018_54_18)
4. Kaliukh, I., Lebid, O., Chala, O., Kryvoruchko, A., & Zuievskaya, N. (2021). Impact of low frequency dynamic loading on structural health of existing reinforced concrete railway retaining walls in the foothills of the Carpathians. *International Conference of Young Professionals «Geo-Terrace-2021»*, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K3046>
5. Зуєвська Н.В., & Губашова В.Є. (2020). Стабілізація ґрунтового масиву за допомогою ін'єкційних анкерів. Порівняльний аналіз особливостей проектування. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, 60, 58–68. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/60.058>

6. Про заходи щодо інженерного захисту територій, об'єктів і споруд в м. Києві від зсувів. Розпорядження N 539 від 14.04.2000 (2000). Київська міська державна адміністрація.

#### ABSTRACT

**Purpose.** Analysis of the application of engineering measures to stabilize the soil slope with a building located near its edge using the Slide software package

**Methodology.** To achieve this goal, calculations were made to determine the coefficient of slope stability when performing various engineering measures that would stabilize the slope and, if possible, save costs. In conditions of dense urban development, measures to stabilize the slope are chosen on the basis of not only taking into account geological conditions. It is necessary to analyze architectural solutions, landscape, the presence of neighboring structures, and so on. The method of round-the-cylindrical sliding surfaces is used, which is based on the calculation of possible sliding surfaces during displacements. The task of the calculation is to determine the stability coefficient of the slope for the most dangerous sliding surface.

**The results of the study.** The calculated parameters of shear stability are determined: stability margin coefficient, coordinate of the sliding surface start, sliding depth, sliding surface end coordinate. To ensure the stability of the slope or slope, it is necessary that the stability margin coefficient is greater than 1, but it must be borne in mind that, depending on the class of responsibility of the structure, the required value of the stability reserve coefficient can be in the range of 1.25 – 1.80 and is regulated by the relevant type and class of construction standards (DBN).

**Scientific novelty.** The possibility of predicting the behavior of natural slopes and artificial slopes in the process of their development and economic activity is obtained.

**Practical value.** The used method of circular-cylindrical slip surfaces involves a large amount of monotonous calculations to determine the stability coefficient for each probable slip line and therefore the use of the software package will more effectively determine the parameters of slope stability, you can solve the issue of choosing the location of structures and designing measures to protect the territory from landslide processes on the slopes.

**Keywords:** *slope, soil strength, stability coefficient, limit equilibrium method, mathematical modeling, Slide software package.*