

© М.В. Дзьоба¹, О.О. Фролов¹

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

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ УКОСУ ГІРСЬКОГО МАСИВУ ПРИ ДІЇ НА НЬОГО ДОДАТКОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

© M. Dzoba¹, A. Frolov¹

¹National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

ENSURING STABILITY OF THE SLOPE OF THE ROCK MASSIF UNDER THE IMPACT OF ADDITIONAL LOAD ON IT

Мета. Метою досліджень є обґрунтування та встановлення параметрів захисної конструкції з буронабивних паль для зміцнення прибортового гірського масиву суглинків і моделювання стану борта кар'єру при дії на нього зовнішнього додаткового навантаження.

Методика дослідження. Застосована комплексна методика досліджень, яка полягає в аналізі існуючих наукових даних щодо укріплення зсувонебезпечних укосів, аналітичного визначення параметрів захисної конструкції, моделювання поведінки прибортового гірського масиву в його природному, навантаженому та закріпленому станах, порівняльного аналізу коефіцієнтів стійкості масивів та розробці нових інженерних рішень для забезпечення нормативної стійкості укосу.

Результати дослідження. За результатами моделювання стану кінцевого положення борта кар'єру Жидачівського родовища суглинків при додатковому зовнішньому навантаженні від дії автотранспорту встановлено, що мінімальне значення коефіцієнту стійкості становить $k_c = 0,911$, тобто досліджуваний борт є зсувонебезпечним.

Запропоновано, для забезпечення стійкості укосу досліджуваної ділянки кар'єру, встановити захисну конструкцію з одного ряду буронабивних паль. Відповідно до характеристик палі, розрахована її довжина нижче рівня потенційної поверхні ковзання призми зсуву та визначена загальна довжина паль. Моделювання показало, що застосування такої конструкції збільшило коефіцієнт стійкості до $k_c = 1,099$.

Для виконання нормативної вимоги із забезпечення стійкості укосів уступів і бортів кар'єрів ($k_c \geq 1,2$), рекомендовано застосувати підсилюючу конструкцію з двох рядів буронабивних паль, відстань між якими становить 4,5 м, довжина свердловин 1-го ряду – 16 м, 2-го ряду – 20 м. Коефіцієнт стійкості укосу борта кар'єра в цьому разі становить $k_c = 1,218$.

Наукова новизна. За результатами моделювання поведінки прибортового гірського масиву суглинків в його природному, навантаженому та закріпленому станах отримані коефіцієнти стійкості борта кар'єру та побудовано графік зміни цього коефіцієнту по довжині перерізу досліджуваного блоку при встановленні захисної конструкції.

Практичне значення. Запропоновано нове конструктивне рішення захисної споруди з буронабивних паль щодо забезпечення нормативної стійкості прибортового масиву на кар'єрі Жидачівського родовища суглинків.

Ключові слова: гірський масив, зсувні явища, стійкість укосу, захисні конструкції, борт кар'єру, буронабивні палі, моделювання, Rocscience Slide, коефіцієнт стійкості укосу.

Вступ. Розробка родовищ будівельних корисних копалин відкритим способом характеризується складністю геологічних і гідрогеологічних умов їх видобування та концентрацією гірничих робіт. Ці чинники впливають на стійкість укосів уступів та бортів кар'єрів, які, у свою чергу, визначають ефективність та повноту відпрацювання кожного конкретного родовища, а також техніко-економічні показники роботи гірничого підприємства. Тому однією з основних задач гірництва є визначення раціональних параметрів укосів гірських масивів з метою забезпечення їх тривалої стійкості при мінімальних обсягах гірничо-прохідницьких робіт [1].

Слід відмітити, що завищені кути укосів неминуче призводять до розвитку зсувних явищ в межах кар'єру. Це завдає значної матеріальної шкоди гірничим підприємствам та порушує правила безпечної експлуатації родовища. Зокрема, під зсувом можуть опинитися підготовлені до виймання запаси корисних копалин. В свою чергу, занижені кути укосів на кар'єрах викликають різке збільшення об'ємів розкривних робіт і призводять до значних прибортових втрат корисних копалин [2, 3].

Тому удосконалення технологій та конструктивних рішень щодо забезпечення стійкості укосів гірських масивів на об'єктах гірництва є актуальною інженерно-науковою задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Організація гірничо-будівельних та видобувних робіт, відповідно до правил безпеки, має забезпечувати дотримання проєктної величини коефіцієнта запасу стійкості кар'єрних укосів, як основного критерію безпеки відкритих розробок [4]. Для цього попередньо планують черговість відпрацювання родовища, місця закладання капітальних траншей, напрямки розвитку гірничих робіт, розраховують стійкість бортів кар'єру тощо.

Стійкість уступів та бортів кар'єру визначається як при проєктуванні кар'єра, так і під час його розробки. На стадії проєктування встановлюють особливості залягання масиву гірських порід, які можуть впливати на стійкість укосів уступів та бортів при проведенні гірничих робіт, та визначають заходи щодо запобігання виникнення зсувних явищ [5].

Одним з основних факторів, який призводить до порушення природної стійкості гірського масиву при відкритих розробках, є значні динамічні навантаження як в межах кар'єру, так і ззовні його. Зокрема, при проведенні буропідричних робіт на кар'єрі відбувається розкриття існуючих природних тріщин у приконтурній зоні та утворюються додаткові. Тому обмеження дії динамічних навантажень є важливим заходом, що забезпечує цілісність приконтурного гірського масиву, в межах якого формується борт кар'єру. Для забезпечення тривалої стійкості уступів та бортів кар'єрів і збереження природного стану масиву слід передбачати цілу низку заходів, які передбачають як впровадження у виробництво безпечних технологій видобутку, так і виконання протизсувних робіт у випадку виникнення небезпечних аварійних ситуацій [6].

Так, при розробці м'яких гірських порід слід передбачати організаційні та технологічні заходи щодо збереження стійкості уступів та бортів кар'єру.

Зокрема, формувати безпечні укоси гірських масивів; заздалегідь передбачати можливий негативний вплив води на стійкість укосів; при розробці родовищ не використовувати важке транспортне обладнання; зміцнювати укоси уступів від обвалів, якщо в цьому виникає необхідність.

Найбільш розповсюдженим способом забезпечення стійкості укосів гірських масивів є механічний спосіб [6]. Він заснований на перерозподілі напружень у масиві гірських порід. Сприймаючи тиск можливої призми зсуву, захисні конструкції та споруди передають його також частково стійкій частині масиву, що знаходиться поза зоною зсуву.

На сьогодні найбільш відомі наступні захисні конструкції та споруди [7]:

- палі (буронабивні, буроін'єкційні та ін.) – для забезпечення стійкості ґрунтових та скельних укосів;
- анкерні кріплення – для утримання окремих блоків порід в межах проектного контуру;
- підтримуючі стінки – для зміцнення ґрунтів, що нависають;
- контрфорси – для підпирання окремих скельних масивів;
- опояски – для підтримки нестійких укосів;
- облицювальні стіни – для запобігання вивітрювання та осипання ґрунтів.

Палі вважаються самим надійним засобом зміцнення проблемних ділянок уступів та бортів кар'єру [7]. Діаметр паль становить 200-1000 мм. У масиві гірських порід палі працюють на згинання та зріз. Залежно від гірничо-геологічних умов, властивостей гірських порід, характеру деформування укосу, характеристик самих паль, вони можуть бути розташовані в один або декілька рядів. При встановленні паль у один ряд на невеликій відстані одна від одної утворюється стінка, аналогічна шпунтовій, а при встановленні в декілька рядів формується аналог підпірної стінки. Посилення ефективності паль можна досягти шляхом з'єднання їх вершин ростверком, швелерами та ін. Основними перевагами палевих захисних споруд є значна несуча здатність, простота зведення і механізація робіт, а також можливість зміцнення ділянок значної довжини та великої потужності з глибоким заляганням поверхні ослаблення.

Розрахунок захисної споруди з паль полягає у виборі їх конструкції, встановлення технічних параметрів, визначення несучої здатності, відстані між палями, кількості рядів та глибини закладення.

Формулювання мети дослідження. Зважаючи на представлений вище аналіз наукових робіт щодо забезпечення стійкості укосів уступів та бортів на кар'єрах, метою роботи є визначення параметрів захисної конструкції з буконабивних паль для зміцнення прибортового гірського масиву суглинків та моделювання його стану при дії зовнішнього додаткового навантаження.

Виклад основного матеріалу. Як показує практика, ґрунтові укоси обвалюються по криволінійній поверхні, яку без особливих похибок можна прийняти за круглоциліндричну. Г.Л. Фісенко запропоновано метод розрахунку стійкості укосів кар'єрів, в основі якого закладена теорія граничної рівноваги сипучого середовища, а саме виконується статичний розрахунок стійкості окремих вертикальних елементів маси ґрунту, обмежених зверху поверхнею ґрунту, а знизу –

круглою поверхнею ковзання [8]. Коефіцієнт стійкості схилу k_c визначається відношенням моментів утримуючих та зсувних сил призми зсуву [9]. Стійкість укосу вважається забезпеченою за умови $k_c \geq 1,2$.

Визначення коефіцієнту стійкості за Г.Л. Фісенко призводить до певного запасу міцності масиву, однак він не дає можливості запроектувати укіс із заздалегідь заданим значенням коефіцієнту. Лише поступово, змінюючи поперечний профіль укосу, можна наблизитися до необхідного коефіцієнта стійкості, тобто це є тривалим і працемістким процесом. Тому встановлення стійкості прибортового масиву кар'єру суглинків при додатковій дії на нього розподіленого навантаження виконаємо у програмному комплексі Rocscience Slide, використовуючи критерій міцності Mohr-Coulomb та метод аналізу Bishop, як одного з найбільш поширених і достовірних [10, 11].

За геологічними даними розроблювальної ділянки Жидачівського родовища суглинків, максимальна загальна потужність борта кар'єру може досягати $H=21$ м. Основні фізико-механічними характеристики суглинків даного родовища у природному стані, які необхідні для розрахунків, наступні:

- кут внутрішнього тертя – $\varphi_I = 18^\circ$;
- питоме зчеплення пісків у гірському масиві – $c_I = 29$ кПа;
- питома вага ґрунту – $\gamma_I = 19,4$ кН/м³.

Згідно рекомендацій фахівців, природна стійкість борта на досліджуваній ділянці при мінімальних прибортових втратах забезпечується при куті укосу $\alpha=42^\circ$. Це підтверджується також і при моделюванні в Rocscience Slide (рис. 1).

Згідно результатів розрахунків, найменші значення коефіцієнтів стійкості укосу борта гірського масиву для даних умов наступні: для методу аналізу Bishop – 1,069; для Janbu – 1,014; для Spencer – 1,067. Тобто усі зазначені методи показують приблизно однакові результати стійкості укосу, за якими можна зробити висновок, що прибортовий масив в кар'єрі є відносно стійким і в межах досліджуваного блоку небезпечні зони зсуву відсутні. Оскільки результати моделювання для усіх розглянутих методах аналізу схожі, то в подальших розрахунках будемо використовувати лише метод Bishop.

На рис. 1 наведено поверхні мінімального коефіцієнту стійкості (*a*) та усі поверхні ковзання в межах досліджуваного блоку (*б*) за результатами розрахунку стійкості прибортового масиву методом аналізу Bishop.

Згідно робочого проекту розробки родовища, в східній та південній частині кар'єра вздовж неробочого борта проходить автомобільна дорога [12]. Це, безумовно, викликає додаткове навантаження на прибортовий масив і може стати причиною зсуву гірничої маси на зазначеній ділянці.

Максимальне навантаження на поверхню борта кар'єру, яке може діяти від завантажених автосамоскидів, приймаємо $q=100$ кПа. На рис. 2 представлено результати моделювання стійкості укосу суглинків при такому навантаженні за методом Bishop. Коефіцієнт стійкості вже становить $k_c = 0,911$, тобто неробочий борт кар'єру став нестійким і виникає небезпека утворення зсувних явищ.

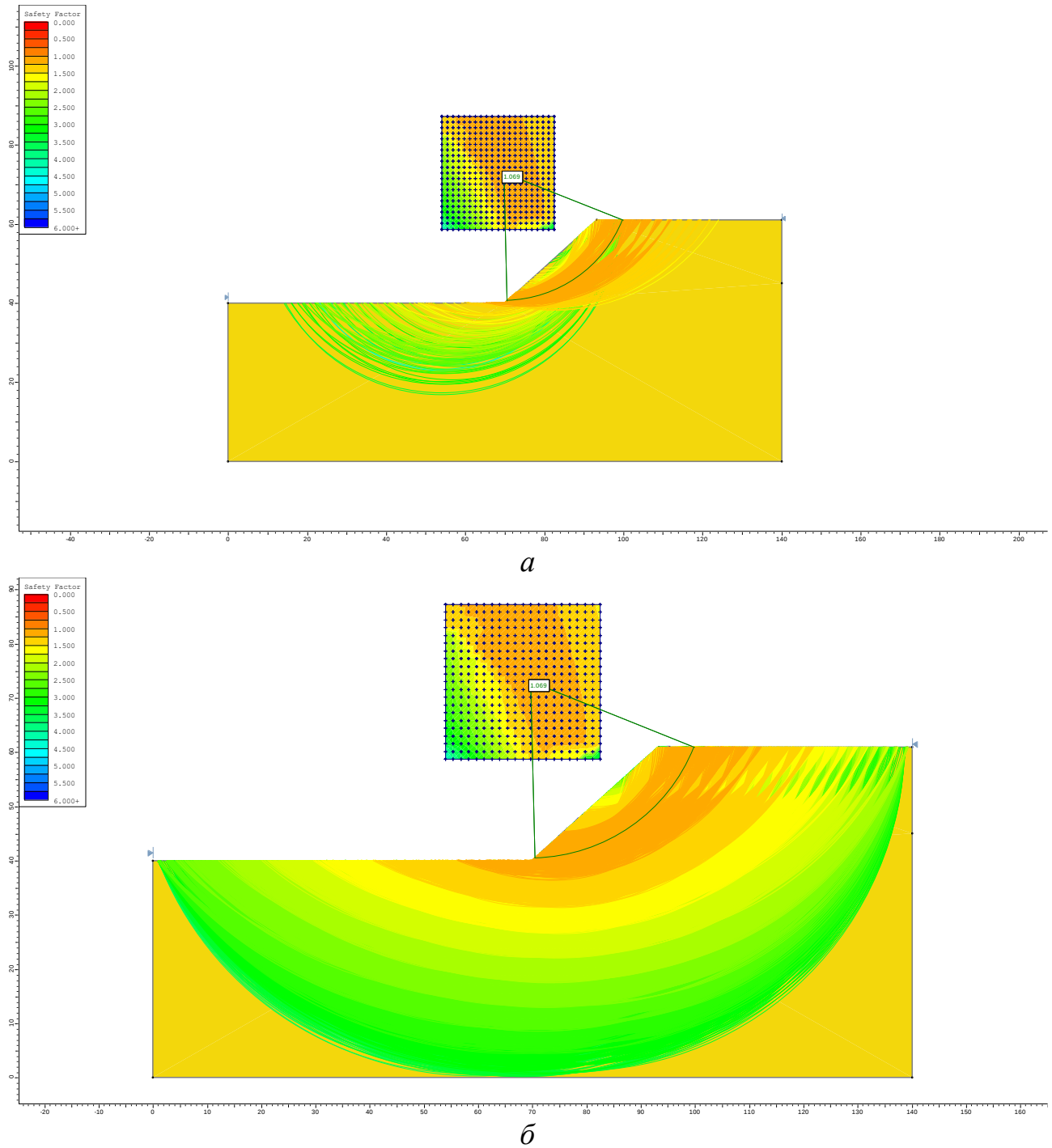


Рис. 1. Результати розрахунку стійкості прибортового масиву суглинків за методом аналізу Bishop: *a* – поверхні мінімального коефіцієнта стійкості; *б* – усі поверхні ковзання

Для того, щоб забезпечити стійкість укосу досліджуваної ділянки кар'єру в його кінцевому положенні, запропоновано укріпити борт буронабивними палями, які розташовані в один ряд на відстані 1 м одна від одної та об'єднані між собою поверхневим стрічковим ростверком [7].

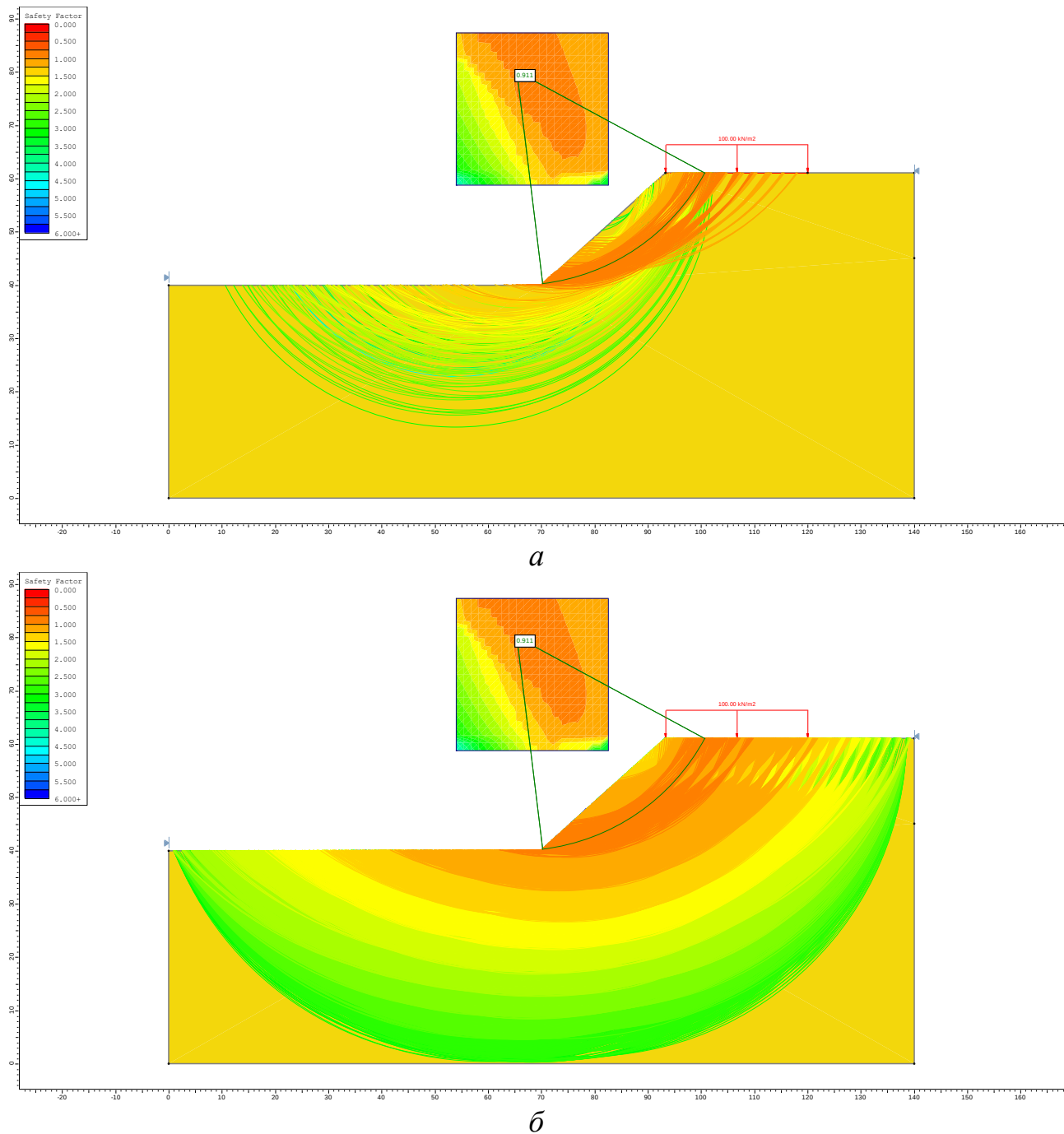


Рис. 2. Розподіл поверхонь ковзання в прибортовому масиві: *а* – поверхні мінімального коефіцієнта стійкості; *б* – усі поверхні ковзання

Для розрахунку такої захисної споруди попередньо приймаємо наступні характеристики палі: діаметр палі – $d = 750$ мм; клас бетону – В15; клас арматури – А400; кількість та діаметр арматури – $8\varnothing 18$ мм; товщина захисного шару арматури – $a_s = 50$ мм.

Утримуючу конструкцію з буронабивних паль розташуємо приблизно посередині укосу. Визначимо глибину заглиблення палі нижче рівня лінії ковзання за формулою

$$l = \frac{\pi}{2} \sqrt[4]{\frac{4E_b I}{c_z d}}, \quad (1)$$

де E_b – початковий модуль пружності бетону буронабивної палі при стисканні, кПа; c_z – коефіцієнт основи ґрунту, кН/м³; d – діаметр палі, м; I – приведений момент інерції поперечного перерізу залізобетонної палі, м⁴, що визначається наступним чином:

$$I = I_b + \alpha \cdot I_s, \quad (2)$$

де $\alpha = E_s/E_b$ – коефіцієнт приведення; E_s – модуль пружності арматури, кПа; $I_b = \pi d^4/64$ – момент інерції бетонного перерізу палі, м⁴; $I_s = \Sigma (A_{s1} a_i^2)$ – момент інерції перерізу арматурного каркасу палі, м⁴; A_{s1} – площа поперечного перерізу арматурного стрижня, м²; a_i – відстань від осі арматури до осі перерізу палі, м.

Модулі пружності бетону та арматури приймаємо:

$$E_b = 24\,000 \text{ МПа} = 2,4 \cdot 10^7 \text{ кН/м}^2;$$

$$E_s = 200\,000 \text{ МПа} = 2 \cdot 10^8 \text{ кН/м}^2.$$

Коефіцієнт приведення арматури до бетону:

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{200000}{24000} = 8,33.$$

Момент інерції перерізу бетону палі:

$$I_b = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 0,75^4}{64} = 0,0155 \text{ м}^4.$$

Момент інерції арматурного каркасу:

$$I_s = A_{s1} (4a_1^2 + 2a_2^2) = 2,54 \cdot 10^{-4} (4 \cdot 0,23^2 + 2 \cdot 0,325^2) = 1,07 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4.$$

де A_{s1} – розрахункова площа стержня діаметром 18 мм; a_1, a_2 – відстані від центру ваги арматури до головних осей інерції:

$$a_2 = \frac{d}{2} - a_s = \frac{0,75}{2} - 0,050 = 0,325 \text{ м}; \quad a_1 = a_2 \cdot \cos 45^\circ = 0,325 \cdot 0,707 = 0,23 \text{ м}.$$

Момент інерції перерізу палі згідно формули (2):

$$I = 0,0155 + 8,33 \cdot 1,07 \cdot 10^{-4} = 0,0164 \text{ м}^4.$$

Розрахункове значення коефіцієнта основи ґрунту c_z на бічній поверхні палі визначаємо за формулою:

$$c_z = K \cdot z, \text{ кН/м}^3, \quad (3)$$

де $K = 4000 \text{ кН/м}^4$ – коефіцієнт пропорційності для ґрунту, приймаємо для суглинку туго-пластичного $K = 4000 \text{ кН/м}^4$; $z = 1 \text{ м}$ – умовна глибина при попередньому визначенні довжини палі.

Отже

$$c_z = 4000 \cdot 1 = 4000 \text{ кН/м}^3.$$

Тоді глибина заглиблення палі нижче рівня лінії ковзання буде становити

$$l = \frac{3,14}{2} \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 2,4 \cdot 10^7 \cdot 0,0164}{4000 \cdot 0,75}} = 7,5 \text{ м.}$$

В цьому разі, згідно розрахунковій схемі, загальна довжина палі дорівнює приблизно 14 м.

На рис. 3 представлена розрахункова схема в Rocscience Slide для встановлення стійкості укосу при дії на нього додаткового навантаження, закріпленого одним рядом буронабивних паль.

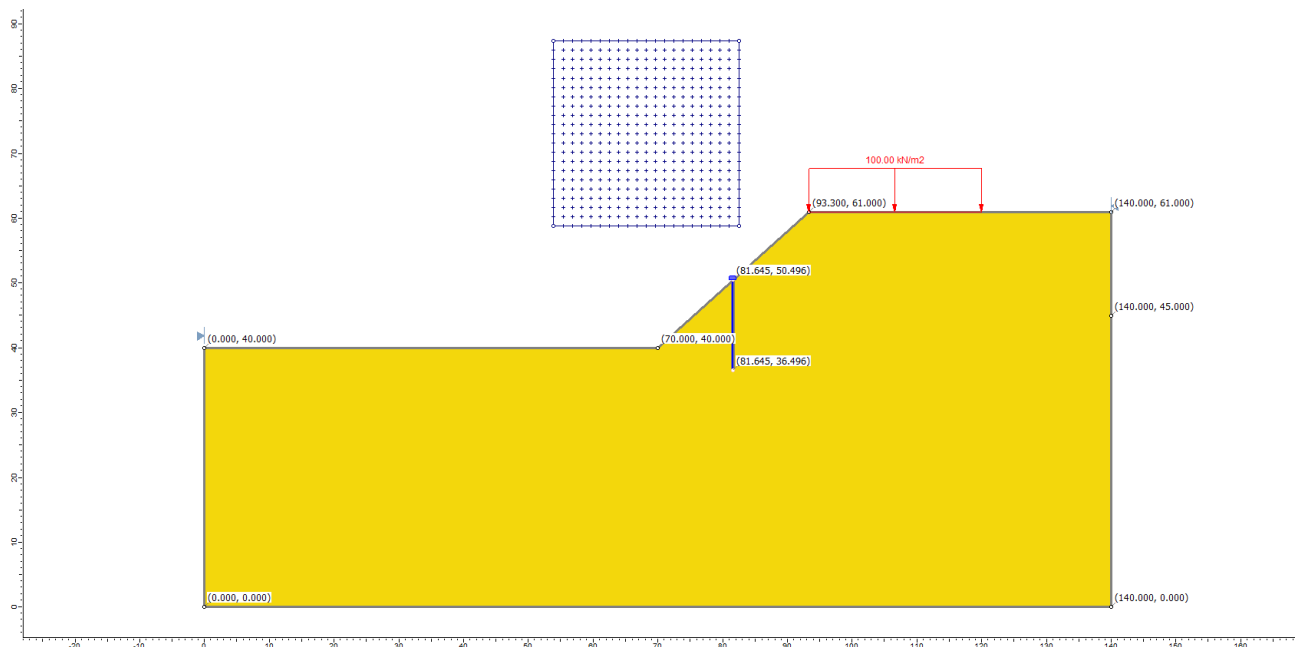


Рис. 3. Розрахункова схема борта кар'єра при зовнішньому навантаженні, закріпленого конструкцією з буронабивних паль

Результати моделювання стану стійкості укосу борта наведено на рис. 4. Як ми бачимо, мінімальний коефіцієнт стійкості укосу борта кар'єра для даних умов склав $k_c = 1,099$, тобто борт став стійким.

Графік зміни коефіцієнту стійкості укосу масиву по довжині перерізу досліджуваного блоку наведено на рис. 5. З нього видно, що в місці встановлення палі, а саме в межах її дії (до 10 м), значення k_c суттєво підвищується і становить 1,2, однак потім знову знижується до $k_c = 1,1$.

Отже, при встановленні запропонованої захисної конструкції з одного ряду буронабивних паль буде підвищена стійкість неробочого борта кар'єра з $k_c = 0,911$ до $k_c = 1,099$, тобто представлене конструктивне рішення забезпечує відносну стійкість прибортового масиву.

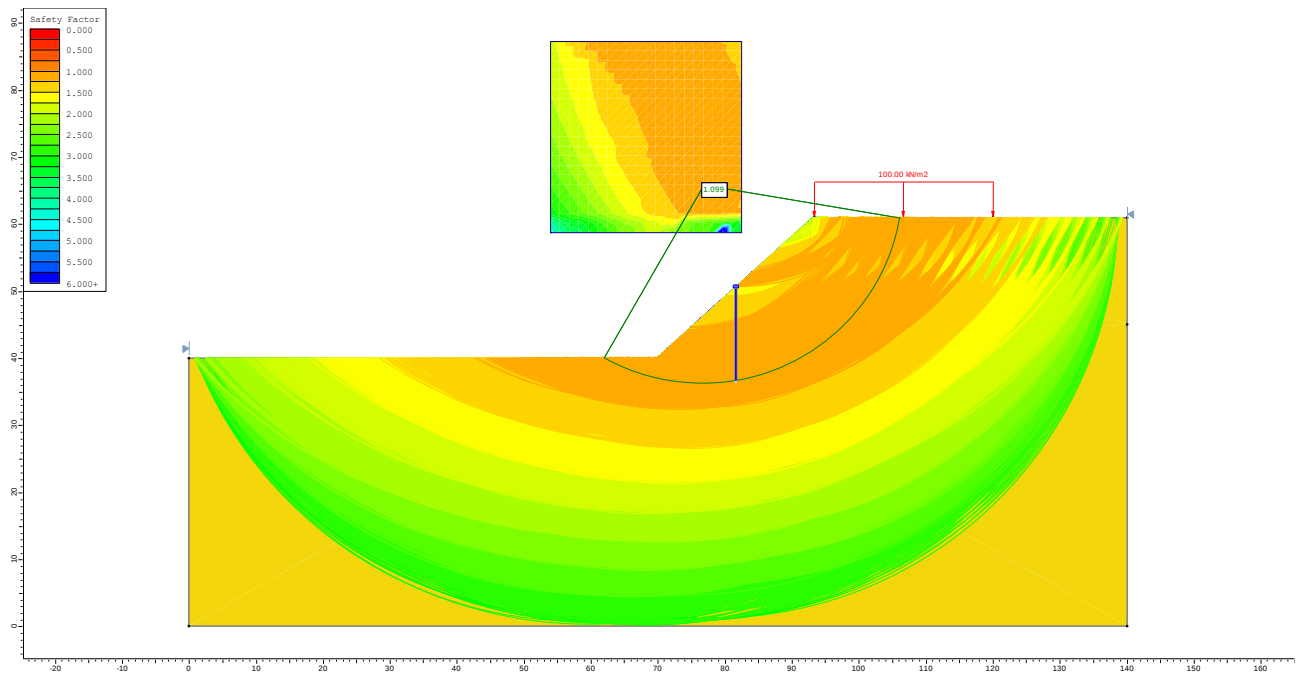


Рис. 4. Результати моделювання стану стійкості навантаженого борта кар'єра, закріпленого одним рядом буронабивних паль

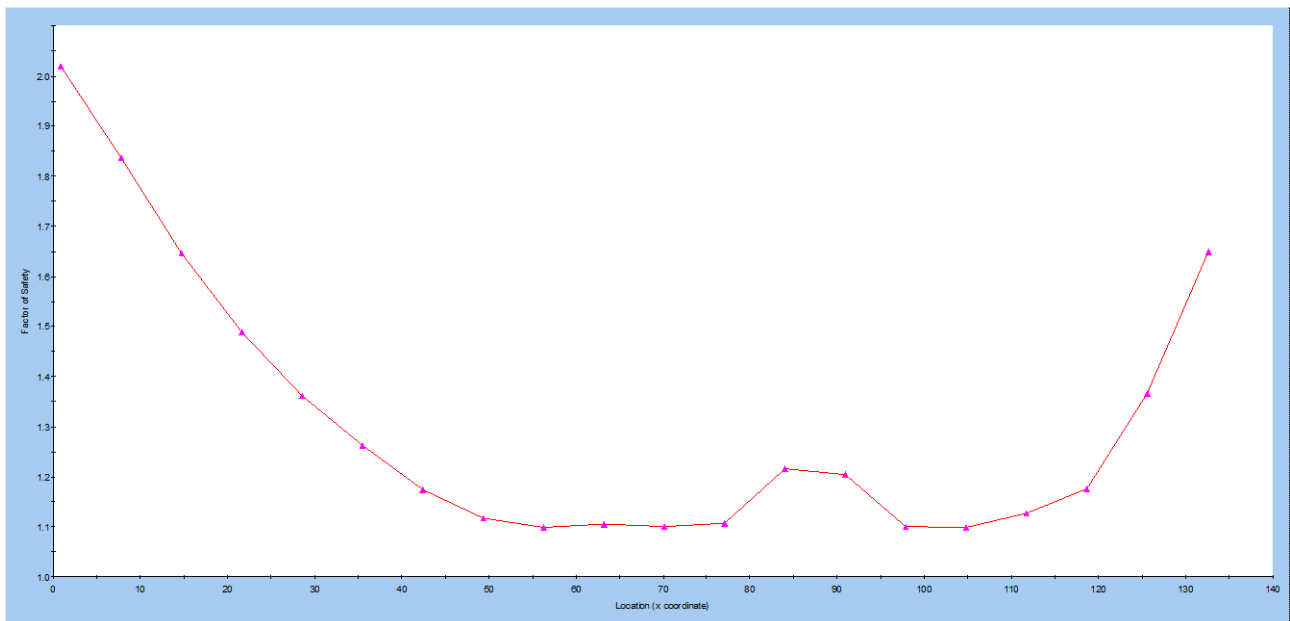


Рис. 5. Графік зміни коефіцієнту стійкості укосу прибортового масиву кар'єра по довжині перерізу досліджуваного блоку

Однак, згідно нормативних вимог, коефіцієнт стійкості повинен становити $k_c \geq 1,2$, тобто така конструкція з буронабивних паль не забезпечують виконання норм. Тому для даних умов запропонована конструкція з двох рядів паль з відстанню між рядами 4,5 м (рис. 6). Довжину паль 1-го ряду рекомендовано обрати 16 м, довжину паль 2-го ряду – 20 м для забезпечення однакового рівня підосви паль. Дана конструкція отримана шляхом підбору зазначених параметрів з метою забезпечення нормативної стійкості укосу.

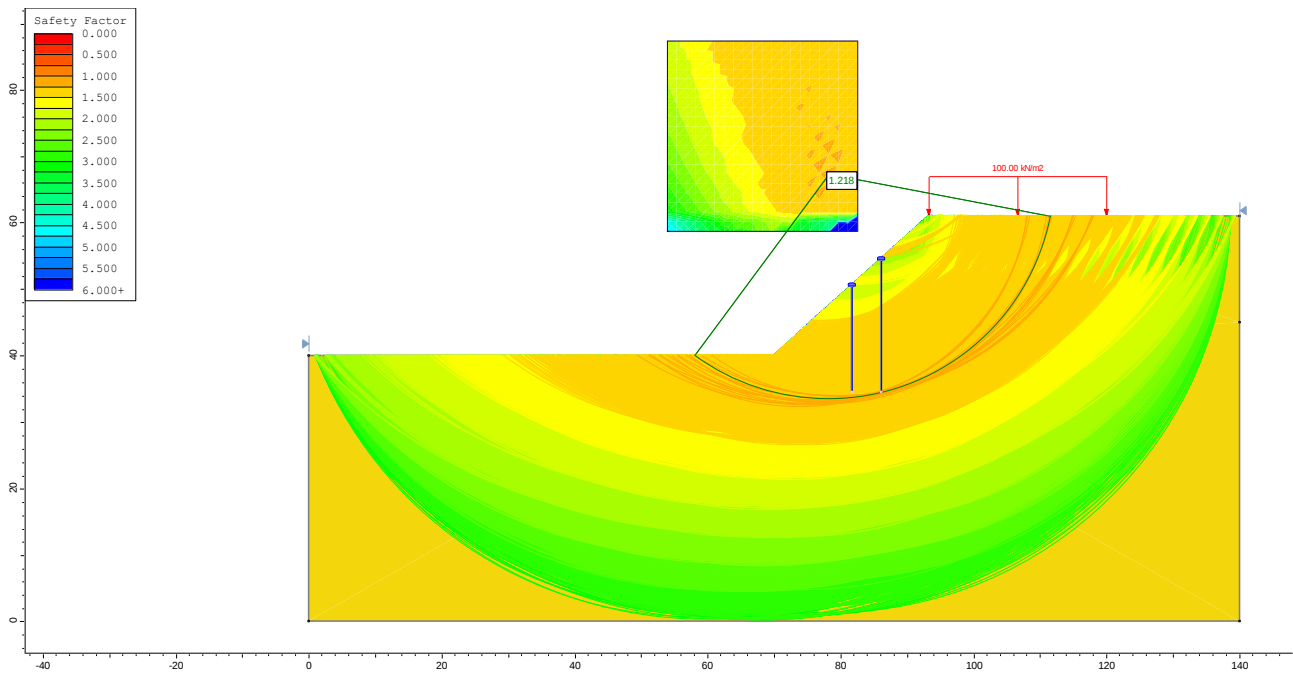


Рис. 6. Стан стійкості прибортового масиву суглинків з прикладеним зовнішнім навантаженням, підсиленого двома рядами буронабивних паль

Як видно з рисунку, коефіцієнт стійкості укосу борта кар'єра з використанням запропонованої підсилюючої конструкції дорівнює $k_c = 1,218$, тобто він є більшим, ніж нормативне значення $k_{сн} = 1,2$.

Висновки. За результатами аналізу існуючих наукових досліджень щодо забезпечення стійкості укосів, а саме способів зміцнення уступів та бортів кар'єрів, встановлено, що для умов Жидачівського родовища суглинків, при прояві загрози зсувних явищ, найбільш доцільним буде влаштування залізобетонних паль для підсилення небезпечних ділянок борта кар'єру.

Моделювання в Slide стану стійкості прибортового масиву на кар'єрі було виконано в його природному стані, з додатковим зовнішнім навантаженням та зі встановленням захисної конструкції.

За результатами моделювання природного стану прибортового масиву суглинків висотою $H = 21$ м та кутом укосу $\alpha = 42^\circ$ встановлено, що коефіцієнти стійкості укосу для обраних методів аналізу мають наступні значення: Bishop – $k_c = 1,069$; Janbu – $k_c = 1,014$; Spencer – $k_c = 1,067$. Отже, результати є приблизно однакові і вони показують, що укіс є відносно стійким.

При додатковому зовнішньому навантаженні $q = 100$ кПа від дії автотранспорту коефіцієнт стійкості склав $k_c = 0,911$ (метод аналізу Bishop), тобто досліджуваний борт кар'єра став небезпечним.

Для забезпечення стійкості укосу досліджуваної ділянки кар'єру в його кінцевому положенні, запропоновано встановити захисну конструкцію з одного ряду буронабивних паль. Відповідно до характеристик палі, розрахована її довжина нижче рівня потенційної поверхні ковзання зсуву ($l = 7,5$ м) та встановлена загальна довжина паль, яка дорівнює 14 м. За результатами моделювання

встановлено, що застосування захисної конструкції збільшило мінімальний коефіцієнт стійкості до $k_c = 1,099$, тобто борт став відносно стійким.

Для виконання нормативної вимоги щодо стійкості укосу уступів і бортів кар'єру, при якій коефіцієнт стійкості повинен складати $k_c \geq 1,2$, запропоновано підсилюючу конструкцію з двох рядів буронабивних паль, відстань між якими становить 4,5 м, довжина свердловин 1-го ряду – 16 м, 2-го ряду – 20 м. Коефіцієнт стійкості укосу борта кар'єра в цьому випадку склав $k_c = 1,218$.

Отримані результати дозволяють продовжити виконання наукових досліджень щодо проектування найбільш ефективних захисних споруд для унеможливлення виникнення зсувних явищ на уступах та бортах кар'єрів в конкретних гірничо-технологічних умовах розробки родовищ.

Перелік посилань

1. Дзьоба, М.В., Міщенко, А.А., & Фролов, О.О. (2023). Проблема забезпечення стійкості укосів уступів і бортів кар'єрів. *Тези Всеукраїнської науково-практичної онлайн-конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки*, Житомирська політехніка, 154–155. <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/06/hirnytstvo.pdf>
2. Dzoba, M.V. & Fastovshchuk, V.M. (2023). Analysis of the causes of deformation of slopes in open-pit mine. *Збірник наукових праць XV науково-технічної конференції «Енергетика. Екологія. Людина»*, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 115–119. <https://en.iee.kpi.ua/files/2023/dopovidi2023.pdf>
3. Dzoba, M.V., Lytvynchuk, I.D., & Frolov, O.O. (2023). Study of the stability of the working bench of quartz sands. *6nd International Scientific and Technical Internet Conference “Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources”*, Petroșani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 151–154. https://www.upet.ro/cercetare/manifestari/Ukraine_2023_Book_of_Abstracts.pdf
4. *Норми технологічного проектування гірничо-видобувних підприємств з відкритим способом розробки родовищ корисних копалин*. (2007). СОУ-Н МПП 73.020-078-1:2007. Україна.
5. *Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення*. (2017). ДБН В.1.1-46:2017. Україна.
6. Анісімов, О.О. (2015). *Технологія будівництва та розробки глибоких кар'єрів: монографія*. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет.
7. Дзьоба, М.В. Міщенко, А.А. & Фролов, О.О. (2024) Утримуючі споруди для забезпечення стійкості укосів уступів та бортів кар'єрів. *Тези II Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні проблеми гірництва та будівництва»*, Житомирська політехніка, 25–27.
8. Фролов, О. О., & Дзьоба, М. В. (2023). Встановлення стійкості уступу кварцових пісків на кар'єрі Сихівського родовища. *Технічна інженерія*, 2(92), 258–267. [https://doi.org/10.26642/ten-2023-2\(92\)-258-267](https://doi.org/10.26642/ten-2023-2(92)-258-267)
9. Дзьоба, М.В., Чміленко, Д.Д., & Фролов, О.О. (2023). Встановлення ступеню стійкості уступу кварцових пісків. *Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні проблеми гірництва та будівництва»*, Житомирська політехніка, 22–24. <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/01/22-2.pdf>
10. Сайт компанії ROCSCIENCE, Inc. (n.d.). <https://www.rocscience.com/help/slide2/tutorials/tutorials-overview/quick-start-tutorial>
11. Дзьоба, М.В. & Фролов, О.О. (2024). Дослідження впливу кута укосу робочого уступу кварцових пісків на коефіцієнт його стійкості. *Збірник наукових праць НГУ*, 76, 51–62. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/76.051>
12. *Розробка та рекультивація ділянки західна Жидачівського родовища суглинків. Робочий проєкт*. (2024). Новий Розділ, Україна.

ABSTRACT

Purpose. The purpose of the research is to substantiate and establish the parameters of the protective structure of bored piles for strengthening the instrumental rock massif of loams and modeling the state of the slope under the influence of external additional load.

The methods. The complex research methodology was applied, which consists in the analysis of the existing scientific data on slope reinforcement, analytical determination of the parameters of the protective structure, modeling the behavior of the rock massif in its natural, loaded and fixed states, comparative analysis of the massif stability coefficients and development of new engineering solutions to ensure the normative stability of the slope.

Findings. According to the results of modeling the state of the final position of the slope of the side of Zhidachevsky loam deposit under additional external load from the action of motor transport, it was found that the minimum value of the stability coefficient is $k_c = 0,911$, that is, the studied rock massif is unstable.

It is proposed, to ensure the stable condition of the studied section of the rock massif, to install a protective structure of one row of bored piles. In accordance with the characteristics of the pile, its length below the level of the potential collapse surface was calculated and the total length of the piles was determined. Modeling showed that the use of this design increased the stability coefficient to $k_c = 1,099$.

In order to fulfill the normative requirement to ensure the stability of slopes of rock massifs ($k_c \geq 1,2$), it is recommended to apply a reinforcing structure of two rows of bored piles, the distance between which is 4,5 m, the length of the wells of the 1st row – 16 m, the 2nd row – 20 m. In this case, the slope stability coefficient is $k_c = 1,218$.

The originality. The stability coefficients of the loam rock massif in its natural, loaded and fixed states were obtained and the graph of change of this coefficient along the length of the cross-section of the investigated block at the use of the protective structure was plotted.

Practical implementation. A new constructive solution of the protective structure from bored piles for providing normative stability of the dashboard massif at the quarry of Zhidachivka loam deposit is offered.

Keywords: *rock massif, landslide, slope stability, protective structures, quarry face, bored piles, modeling, Rocscience Slide, slope stability coefficient.*