

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

КОВРОВ ОЛЕКСАНДР СТАНІСЛАВОВИЧ



УДК 622.271.33:624.121

**ГЕОМЕХАНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СТІЙКИХ
УКОСІВ КАР'ЄРІВ В СКЛАДНОСТРУКТУРНОМУ
МАСИВІ М'ЯКИХ ПОРІД**

Спеціальність 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнича механіка»

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

Дніпропетровськ – 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі будівництва і геомеханіки Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (м. Дніпропетровськ).

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
ШАШЕНКО Олександр Миколайович,
завідувач кафедри будівництва і геомеханіки
Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту
України (м. Дніпропетровськ).

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
ЧЕТВЕРИК Михайло Сергійович,
завідувач відділу геомеханічних основ технології
відкритої розробки Інституту геотехнічної механіки
ім. М.С. Полякова НАН України
(м. Дніпропетровськ);

кандидат технічних наук, доцент
ТЮТЬКІН Олексій Леонідович,
доцент кафедри тунелів, основ та фундаментів Дніпропетровського державного технічного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна
Міністерства транспорту та зв'язку України.

Захист відбудеться “ 09 ” грудня 2011 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.04 при Державному ВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (49005, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (49005, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19).

Автореферат розісланий “ 08 ” листопада 2011 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Solodyan', followed by a horizontal line extending to the right.

Солодянкін О.В.

Загальна характеристика роботи

Актуальність теми. Україна посідає одне з провідних місць у світі за запасами мінеральної сировини. На разі в Україні відкритий спосіб розробки родовищ є основним, їм добувається близько 80% всіх корисних копалин. Сучасний етап розвитку відкритого способу розробки родовищ характеризується ускладненням гірничо-геологічних умов при одночасному зростанні вимог до зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Значна роль у рішенні задач раціонального використання мінеральних ресурсів приділяється керуванню станом масиву гірських порід, а саме обґрунтуванню таких кутів нахилу укосів та бортів кар'єру, що одночасно забезпечують їх стійкість і мінімальний рознос. Масив гірських порід являє собою динамічну систему, основні елементи якої – укоси уступів – змінюються в просторі і часі під впливом переважно природно-геологічних, гідрогеологічних, гірничо-технічних та кліматичних факторів. Стійкість укосів кар'єрів знижується при підвищенні вологонасиченості та зменшенні опору порід на зсув, збільшенні висоти уступу та куту нахилу укосу, а також зовнішніх навантажень гірничо-транспортного обладнання. Комплексний вплив цих чинників в укосах призводить до виникнення та поширення деформаційних процесів з утворенням масштабних зсувонебезпечних ділянок, що ускладнює ведення гірничих робіт та спричиняє збільшення питомих гірничо-капітальних витрат. Особливе значення проблема забезпечення геомеханічної стійкості укосів та бортів кар'єрів має для м'яких розкривних порід складної геологічної структури, фізико-механічні характеристики яких змінюються в широкому діапазоні під впливом природно-геологічних та техногенних чинників.

Ефективне управління станом укосів на кар'єрах є однією з важливих інженерних задач, яка полягає в безпечному веденні відкритих гірничих робіт та зменшенні обсягів розкривних порід при збереженні стійкості укосів. Так, уточнення коефіцієнта запасу стійкості бортів кар'єру тільки на 5%, в остаточному підсумку, може дозволити зменшити обсяг вилучення розкривних порід кар'єру від 1,5 до 20 % залежно від гірничо-геологічних умов розробки при збереженні обсягів видобутку корисної копалини.

Таким чином, дослідження, спрямовані на оптимізацію геометричних параметрів укосів кар'єрів на основі встановлених закономірностей геомеханічної стійкості породного масиву та відповідно зниження витрат на технологічні операції розкривних робіт є актуальною науково-технічною задачею, що має важливе практичне значення для народного господарства України.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Робота виконана відповідно до програми науково-дослідних робіт Національного гірничого університету, які пов'язані з міжнародним проектом "Стійкість геотехнічних систем: ризики, процеси і явища", держбюджетною темою ГП-405 "Розробка математичних моделей для створення інформаційного середовища в системі геомоніторингу" (№ державної реєстрації 0107U000382), науково-дослідною роботою НВП Технополіс "Екоіндустрія" "Геофізична діагностика ґрунтової товщі греблі Дні-

продзержинської ГЕС на локальній ділянці (площею 14000 м²) в інтервалі ПК14 - ПК16".

Метою роботи є встановлення закономірностей стійкого стану укосів і бортів кар'єрів, складених м'якими розкривними породами, з урахуванням складної геологічної структури, гідрогеологічних характеристик і навантажень гірничо-транспортного обладнання.

Основні задачі досліджень:

- вивчення гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов розробки Малишевського циркон-рутил-ільменітового родовища, збір й обробка натурних даних про зсувні процеси, що мали місце на кар'єрах №7 "Північ" й №7 "Південь" Вільногірського гірничо-металургійного комбінату (ВГМК);
- аналіз інженерних методів розрахунку кар'єрних укосів і вибір критерію руйнування гірських порід для комплексної оцінки їх стійкості;
- встановлення закономірностей деформування порід на моделях з еквівалентних матеріалів;
- лабораторні випробування зразків м'яких розкривних порід на зсув для визначення їхніх фізико-механічних характеристик;
- встановлення закономірностей впливу складної геологічної структури, гідрогеологічних характеристик і навантажень гірничо-транспортного обладнання на стійкість укосів з використанням чисельного моделювання;
- розробка рекомендацій з оцінки стійкості й прогнозу зрушення порід прибортового масиву для умов існуючих кар'єрів і перспективної Мотронівсько-Анновської ділянки Малишевського циркон-рутил-ільменітового родовища;
- розрахунок передбачуваного економічного ефекту від використання результатів досліджень.

Основна ідея роботи полягає у визначенні раціональних геометричних параметрів укосів кар'єру для умов розробки Малишевського циркон-рутил-ільменітового родовища з точки зору їх геомеханічної стійкості.

Об'єктом досліджень є стійкість укосів та бортів кар'єрів.

Предметом досліджень є напружено-деформований стан масиву гірських порід, обумовлений комплексом геологічних, гідрогеологічних та технологічних чинників.

Методи досліджень. Поставлена в роботі мета досягнута шляхом використання методів комплексного аналізу, узагальнення інформаційних джерел і світового досвіду в галузі геомеханіки відкритих гірничих робіт, а також аналітичних, лабораторних і натурних досліджень із використанням методів механіки суцільного середовища, комп'ютерного моделювання, теорії ймовірностей і статистики.

Основні наукові положення, що захищаються у дисертації.

1. Зниження геомеханічної стійкості однорідного укосу уступу з м'яких розкривних порід до коефіцієнту запасу 1,05...1,15 призводить до виникнення у масиві зон надлишкових напружень, по яким проходить поверхня ковзання, що дозволяє прогнозувати утворення зсувонебезпечних ділянок на кар'єрах.

2. Коефіцієнт запасу стійкості укосу у складноструктурному масиві

м'яких розкривних порід, складеного суглинками й глинами, перебуває в степеневій залежності від вологості, що дозволяє керувати геометричними параметрами уступу при мінливих гідрогеологічних умовах.

Наукова новизна роботи:

- вперше доведено, що процес порушення стійкості укосів на кар'єрах з м'якими розкривними породами пов'язаний з утворенням специфічних областей критичних напружень в укосі, що веде до виникнення максимальних деформацій та ініціює процес зрушення масиву порід за круглоциліндричною поверхнею ковзання.

- розроблена нова гідрогеомеханічна модель, що дозволяє визначати коефіцієнт запасу стійкості укосів кар'єрів з урахуванням складної геологічної структури, вологості розкривних порід і навантажень від гірничо-транспортного устаткування.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей зниження стійкості укосів кар'єрів, складених м'якими розкривними породами, з урахуванням основних природних і техногенних факторів.

Практичне значення роботи полягає в розробці рекомендацій із прогнозу стійкості уступів для умов Мотронівсько-Анновської ділянки Малишевського циркон-рутил-ільменітового родовища й визначення коефіцієнта запасу стійкості укосів з урахуванням фізико-механічних властивостей порід, гідрогеологічних і техногенних факторів, що дозволяє раціонально керувати геометричними параметрами кар'єру й прогнозувати потенційні зони виникнення зсувів.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечується використанням апробованих методів досліджень, таких як механіка суцільного середовища, теорія ймовірностей і математична статистика, задовільним (до 85%) збігом результатів натурних експериментів і чисельного моделювання.

Реалізація результатів досліджень. Результати експериментальних досліджень і чисельного моделювання стійкості укосів були впроваджені на Вільногірському гірничо-металургійному комбінаті, а також у проектно-дослідних роботах з оцінки стійкості укосів греблі Дніпродзержинської ГЕС.

Використання розроблених рекомендацій дозволяє визначати та встановлювати оптимальні кути нахилу укосів кар'єрів з урахуванням реальних гірничо-геологічних умов та керувати стійкістю прибортового масиву порід.

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні мети й основних задач досліджень, обґрунтуванні наукових положень. Автором виконані теоретичні й аналітичні дослідження з розвитку гірничо-металургійного комплексу в країнах світу й України, методам розрахунку стійких параметрів укосів і бортів кар'єрів, сучасним критеріям руйнування гірських порід. Ним проведені експериментальні дослідження з визначення міцнісних характеристик гірських порід, виявлено закономірності порушення стійкості уступів на еквівалентних матеріалах в лабораторних умовах на кафедрі будівництва й геомеханіки Державного ВНЗ "Національний гірничий університет", а також розроблені рекомендації щодо оцінки стійкості укосів кар'єрів з урахуванням геологічних та гідрогеологічних характеристик породного масиву.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень, виконані в дисертаційній роботі, доповідалися, обговорювалися, були схвалені на міжнародній конференції "Форум гірників" у НГУ (м. Дніпропетровськ, 2009, 2010), міжнародній конференції "EUROCK 2010: Rock Mechanics in Civil and Environmental Engineering" (м. Лозанна, Швейцарія, 2010), міжнародній науково-технічній конференції "Моніторинг і мінімізація негативного впливу господарської діяльності залізородних підприємств України на навколишнє природне середовище" у Науково-дослідному гірничорудному інституті (м. Кривий Ріг, 2010), науково-практичній конференції «Тиждень еколога – 2010», "Екологічні проблеми гірничо-металургійних регіонів. Прогресивні інформаційні й технологічні рішення" у Дніпродзержинському технічному університеті (м. Дніпродзержинськ, 2010), науковому симпозиумі "Неделя горняка" у Московському державному гірничому університеті (м. Москва, Росія, 2011), I Міжнародній науково-практичній конференції "Освіта. Інновації. Кар'єра" у філії КУЗГТУ (м. Междуреченськ, Росія, 2011), міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні технології розробки рудних родовищ" у Науково-дослідному гірничорудному інституті (м. Кривий Ріг, 2011).

Публікації. Основні результати виконаних в дисертації досліджень представлені в 15 публікаціях, з них 8 статей - у фахових виданнях, 7 - у збірниках матеріалів наукових конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 145 найменувань на 13 сторінках і 6 додатків на 12 сторінках. Робота містить 150 сторінок машинописного тексту, 73 рисунки та 19 таблиць. Загальний обсяг дисертації складає 175 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульована мета і задачі досліджень, сформульовані наукові положення, які виносяться на захист, висвітлено наукове і практичне значення отриманих результатів досліджень, показано особистий внесок автора та наведена інформація стосовно апробації та публікації результатів досліджень.

У **першому розділі** наведено аналіз існуючих тенденцій розвитку гірничо-металургійного комплексу України та зокрема відкритого способу розробки родовищ корисних копалин. Незважаючи на наслідки світового економічного спаду 2008-2009 р.р. потреби в енергетичній і металургійній сировині зростають. На найближчу перспективу в освоєнні мінерально-сировинної бази України буде домінувати відкритий спосіб розробки родовищ корисних копалин. Сучасний рівень розвитку відкритих гірничих розробок характеризується освоєнням родовищ зі складними гідрогеологічними та інженерно-геологічними умовами, інтенсифікацією гірничих робіт, значним збільшенням параметрів кар'єрів. У цих умовах з метою забезпечення ритмічної й безпечної роботи всіх ланок технологічного процесу особливого значення набувають проблеми керування стійкістю укосів та бортів кар'єрів на підставі науково об-

грунтованого прогнозу геомеханічних процесів та контролю зсувних деформацій у породному масиві. Всебічне вивчення характеру й масштабів геомеханічних явищ на кар'єрах дозволяє регламентувати заходи щодо спрямованого керування станом прибортового масиву з метою запобігання розвитку деформацій укосів уступів, підвищення повноти витягу запасів корисної копалини з надр, скорочення обсягів розкривних робіт і площі кар'єрних полів.

За об'єкт дослідження обрано Вільногірський гірничо-металургійний комбінат (ВГМК), який розробляє Малишевське комплексне циркон-рутил-ільменітове родовище, видобуваючи 56% від загальної кількості титано-цирконієвих руд України. З огляду на складну структуру породного масиву, для технології відкритих гірничих робіт родовища важливе значення мають питання керування станом гірничого масиву, зокрема стійкістю укосів і бортів кар'єрів. Цей процес полягає в сукупності заходів щодо підтримки геометричних параметрів укосів та бортів кар'єрів у стійкому, близькому до граничного стані, що забезпечує економічне й безпечне ведення гірничих робіт. Критерієм оцінки стану прибортового масиву є коефіцієнт запасу стійкості (КЗС), який у найбільш загальному вигляді можна подати як відношення сукупності сил, які утримують породний масив, та сил, що його зрушують.

Уточнення коефіцієнта запасу стійкості бортів кар'єру тільки на 5% може дозволити зменшити обсяг розкривних порід і площу кар'єру від 1,5 до 20 % в залежності від гірничо-геологічних умов розробки. Також відомо, що на кар'єрах глибиною до 300 м збільшення результуючого кута нахилу борту на 3-4° дозволяє скоротити обсяг розкриву до 10-11 млн. м³ на 1 км фронту робіт, що підвищує загальну ефективність відкритої системи розробки.

Таким чином, дослідження, спрямовані на оптимізацію геометричних параметрів укосів кар'єрів з метою забезпечення їх стійкості та зниження витрат на технологічні операції розкривних робіт є актуальною науково-технічною задачею, що має важливе народно-господарське значення.

У розділі визначено мету, ідею, методи, основні задачі та алгоритм досліджень стосовно геомеханічної оцінки стійких параметрів укосів уступів з урахуванням геологічних, гідрогеологічних і технологічних факторів для умов кар'єрів Вільногірського гірничо-металургійного комбінату.

У другому розділі виконано аналіз теоретичних й експериментальних досліджень в галузі стійкості укосів і бортів кар'єрів та геомеханіки. Найбільший внесок у розвиток методологічного фундаменту цього наукового напрямку внесли О.І. Арсент'єв, Ю.П. Астаф'єв, І.В. Баклашов, Е.Л. Галустьян, А.М. Гальперін, О.М. Дьомін, О.І. Ільїн, П.І. Копач, М.М. Маслов, Є.О. Несмашний, Ю.М. Ніколашин, П.М. Панюков, М.Є. Певзнер, С.З. Поліщук, І.І. Попов, В.В. Ржевський, В.В. Соколовський, Ю.М. Соловійов, Б.М. Тартаковський, К. Терцагі, О.Л. Тют'єкін, Г.Л. Фісенко, П.М. Цимбаревич, М.С. Четверик, А.Г. Шапар, О.М. Шашенко та ін.

Незважаючи на численні дослідження, проблема забезпечення стійкості бортів кар'єрів внаслідок своєї складності й розмаїтості гірничо-геологічних і гідрогеологічних особливостей родовищ, залишається актуальною. Практика

показує, що майже всі відкриті гірничі роботи у всіх країнах світу супроводжуються зсувними явищами.

Основними причинами порушення стійкості укосів на кар'єрах є: несприятливі структурно-літологічні умови, мінливі фізико-механічні властивості порід внаслідок зміни їх вологонасиченості та зменшення міцності у часі, динамічний вплив на породний масив гірничо-транспортного устаткування та масових вибухів. Аналіз порушень стійкості бортів кар'єрів, виконаний у ВІО-ГЕМ, показав, що 75 % деформацій виникають у піщано-глинистих відкладеннях і тільки 25 % - в укосах скельних і напівскельних тріщинуватих порід, причому на зсуви припадає 85 %, на інші деформації - 15 %.

У розділі проаналізовано основні підходи до розрахунку потенційних поверхонь ковзання, запропоновані В. Фелленіусом, П.М. Цимбаревичем, В.В. Соколовським, І.А. Симвуді, К. Терцагі, Е. К. Петтерсоном, М.М. Масловим, Ю.М. Соловйовим й іншими дослідниками. Розглянуто аналітичні й емпіричні критерії міцності, які використовуються в практиці геомеханічних досліджень, зокрема критерії Кулона-Мора, Хоєка-Брауна, Друкера-Прагера та ін.

З метою встановлення закономірностей порушень стійкості прибортового масиву порід виконано чисельне моделювання однорідних укосів та виявлено, що передумовою утворення зсувів в прибортовій зоні масиву є формування областей надлишкових напружень, за якими виникає поверхня ковзання (рис. 1).

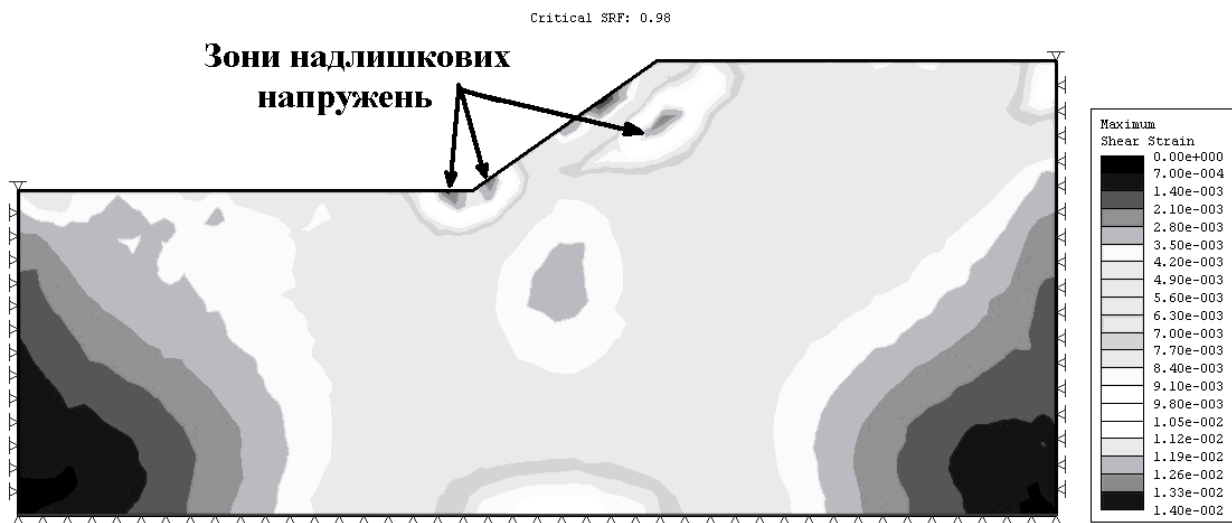


Рис. 1. Утворення зон надлишкових напружень в укосі уступу

З метою якісної оцінки розглянутих теорій міцності в межах однієї безрозмірної системи координат ($X = \frac{\sigma_3}{R_c}; Y = \frac{\sigma_1}{R_c}$, де σ_1, σ_3 – компоненти головних напружень, R_c - межа міцності на одновісний стиск) були побудовані нелінійні паспорти міцності для різних порід з урахуванням структурних характеристик.

За базу використалася усереднююча крива, побудована в межах цієї ж системи координат за експериментальними точками, що відповідають результатам випробувань гірських порід різного генезису. За результатами випробувань

зразків порід, відібраних на кар'єрах №7 "Північ" та №7 "Південь" Вільногірського ГМК були отримані експериментальні значення, що відповідають певному напруженому стану масиву в безрозмірних координатах. Згідно з отриманими експериментальними даними, для оцінки стійкості укосів кар'єрів, що складаються з м'яких розкривних порід, доцільно використовувати критерій міцності Кулона-Мора.

У **третьому розділі** викладено результати моделювання на еквівалентних матеріалах, що дозволило проаналізувати геомеханічні процеси, які відбуваються при зрушенні прибортового масиву порід і встановити закономірності порушення його стійкості.

Експерименти з моделювання геомеханічних процесів в укосах уступів проводилися в лабораторних умовах на кафедрі будівництва й геомеханіки Державного ВНЗ «НГУ». Для цих цілей був виготовлений плоский стенд розмірами 630x545x60мм. Як еквівалентний матеріал застосовувалася суміш промитого річкового піску, просіяного через сито з вічком 0,5x0,5мм. В якості сполучного компоненту використано веретенне масло (3% за об'ємом). Для моделювання стійкості уступу в лотку стенду формувався укіс із еквівалентного матеріалу з різними кутами нахилу в діапазоні 40...90° з кроком 5°.

Дослідження стійкості уступів, складених м'якими розкривними породами, виконувались для гірничо-геологічних умов Вільногірського ГМК.

Результати експерименту при різних кутах укосу наведено на рис. 2.

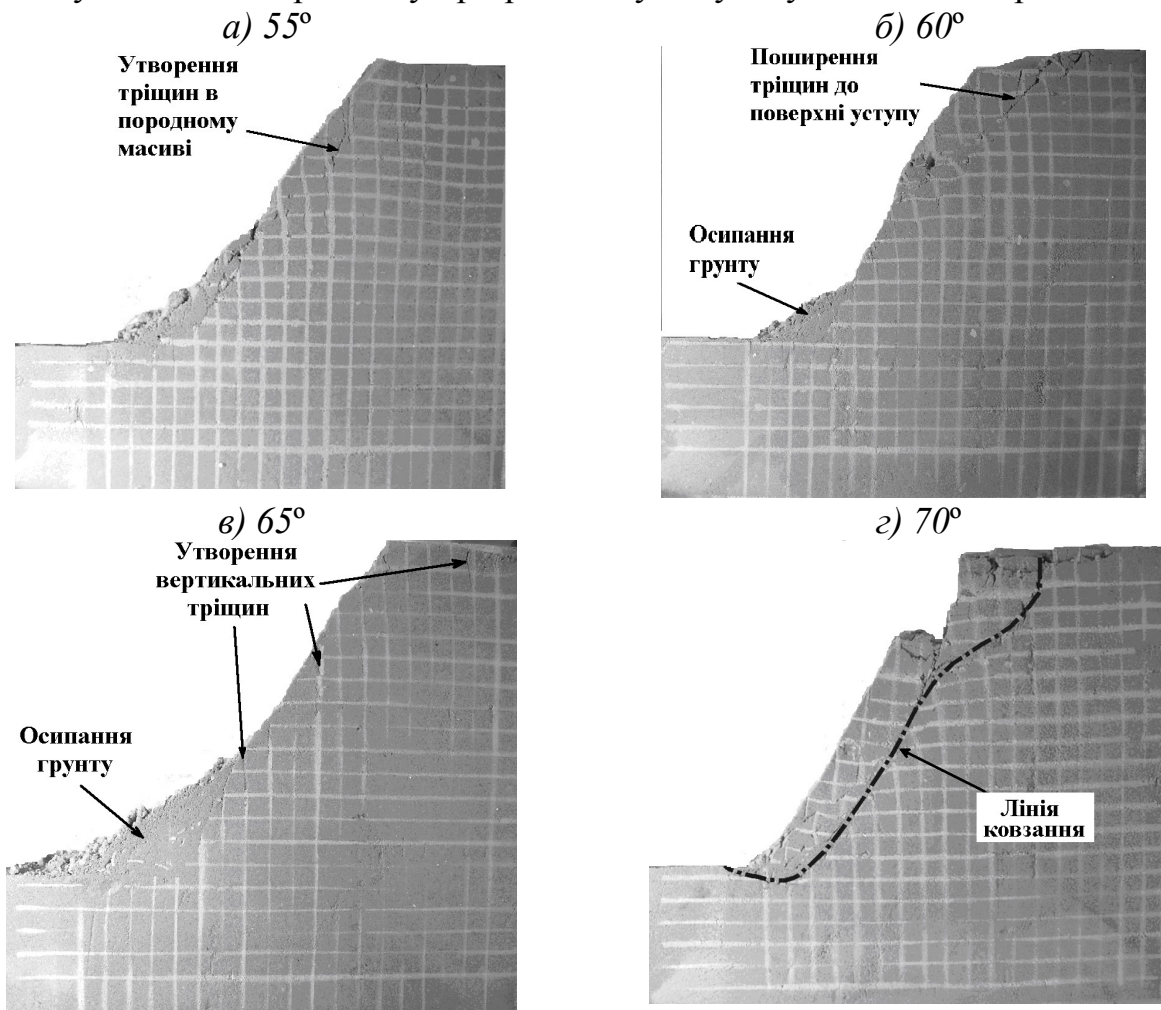


Рис. 2. Результати моделювання стійкості породного уступу

Виявлено, що при куті 50° в укосі починається процес деформації масиву, але в цілому його стійкість зберігається. При 55° виникають порушення цілісності масиву у вигляді осипів та вертикальних тріщин. При збільшенні кута нахилу укосу до $60-70^\circ$ виникають глибокі вертикальні тріщини із поступовим зсувом призми обвалення. Поверхня ковзання, отримана в масштабі моделювання на еквівалентних матеріалах, має складний двоопуклий профіль.

З метою виконання серій експериментальних випробувань на зрушення на кар'єрі №7 Вільногірського ГМК були відібрані зразки порід непорушеного (моноліт) додавання розмірами $100 \times 100 \times 100$ мм. У лабораторних умовах на кафедрі будівельних геотехнологій і геомеханіки виконана серія випробувань зразків порід (суглинки, глини) на одноплщинному зсувному приладі П10-С із метою визначення фізико-механічних характеристик: кута внутрішнього тертя ϕ і зчеплення C .

Для випробувань використані зразки порід непорушеної структури із природною вологістю або у водонасиченому стані із заданими значеннями щільності й природної вологості. Отримані в результаті експериментів фізико-механічні властивості порід використані як вихідні дані для чисельного моделювання стійкості укосів уступів.

У **четвертому розділі** детально вивчено процес порушення стійкості укосів в складноструктурному масиві м'яких гірських порід завдяки чисельному моделюванню в програмі скінчено-елементного аналізу Phase2 компанії Rockscience Inc. Для оцінки стійких параметрів укосів задано геометричні параметри борта кар'єру №7 "Північ" Вільногірського ГМК (рис. 3).

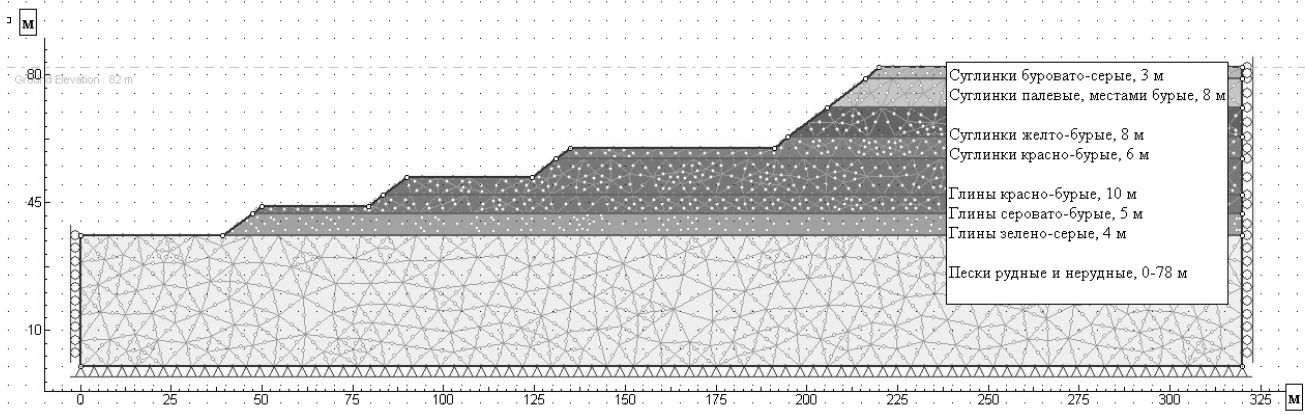


Рис. 3. Профіль борта кар'єру №7 "Північ"

Використовуючи результати залежностей фізико-механічних характеристик суглинків від вологості, можна визначити коефіцієнт запасу стійкості укосів з урахуванням обводненості породного масиву. Так, залежність кута внутрішнього тертя ϕ від вологості суглинків W_0 (%) описується рівнянням:

$$\phi = -0,06W_0^2 + 0,12W_0 + 39,86. \quad (1)$$

Залежність зчеплення порід у масиві C від вологості суглинків W_0 описується рівнянням:

$$C = 0,07W_0^2 - 3,87W_0 + 58,78. \quad (2)$$

Для розкривних порід використані експериментальні залежності модуля деформації від вологості порід:

$$E_1(\bar{\theta}) = \frac{5,93}{\bar{\theta}^{2,339}}, 0,3 < \bar{\theta} < 0,9, \quad E_2(\bar{\theta}) = \frac{3,107}{\bar{\theta}^{1,3243}}, 0,2 < \bar{\theta} < 1,0, \quad (3)$$

де E_1 та E_2 – значення модуля деформації для глин та суглинків відповідно.

Ступінь вологонасичення масиву S_e розраховувалася за емпіричним методом Ван Генухтена:

$$S_e = \frac{1}{\left[1 + (\alpha h)^n\right]^m}, \quad (4)$$

де α – коефіцієнт Ван Генухтена, 1/м; h – висота гідростатичного напору, м; m і n – емпіричні коефіцієнти, що залежать від фільтраційних характеристик порід.

Коефіцієнт фільтрації K , м/с, визначається за виразом:

$$K = K_s \left(\sqrt{S_e} \left[1 - \left(1 - S_e^{1/m} \right)^m \right]^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

де K_s – коефіцієнт вологонасиченої фільтрації, м/с.

На підставі наявних й отриманих закономірностей стійкості обводнених укосів отримана загальна залежність стійкості прибортового масиву від вологості верхнього розкривного шару суглинків (рис. 4).

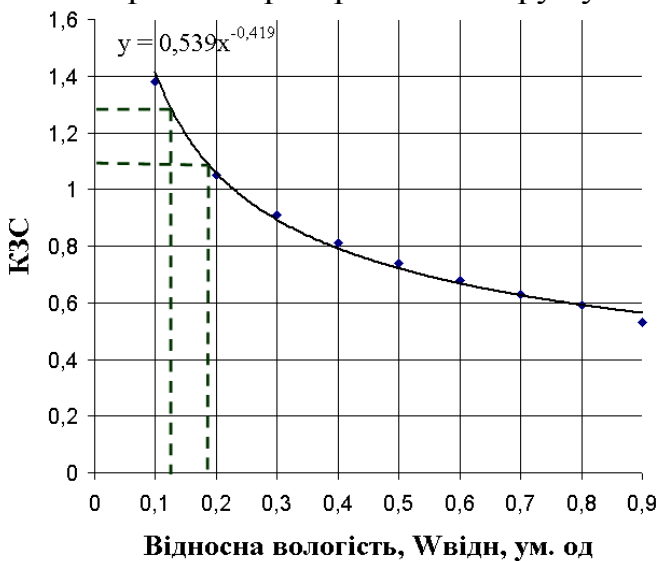


Рис. 4. Залежність КЗС від вологості розкривних порід

На підставі отриманих результатів можна зробити висновок, що для забезпечення стійкості укосів верхніх розкривних уступів розглянутого кар'єру, складених суглинками, вологість порід не повинна перевищувати 14...18%. При цьому забезпечується КЗС в діапазоні 1,1...1,3.

Розроблена гідрогеомеханічна модель, що описує розподіл деформацій і напружень у борті кар'єру з урахуванням вологопереносу й насичення порід. Показано, що при збільшенні обводненості масиву за рахунок

інфільтрації атмосферних опадів стійкість укосів знижується, що необхідно враховувати при обґрунтуванні параметрів бортів кар'єру.

Стійкість укосів і бортів кар'єрів обумовлена переважно фізико-механічними характеристиками верхнього шару розкриву, представленого суглинками. Водотривкий шар сарматських глин, який є фільтраційним бар'єром, істотно знижує міцнісні властивості суглинків за рахунок більшої обводненості

укося. За результатами моделювання визначені коефіцієнти запасу стійкості борта кар'єру залежно від фізико-механічних характеристик і вологості порід.

У п'ятому розділі викладено впровадження результатів досліджень щодо оцінки стійкості укосів та бортів кар'єрів, що складаються з м'яких розкривних порід.

Закономірності, отримані в результаті експериментальних досліджень зразків гірських порід і чисельного моделювання, використано для розробки рекомендацій із забезпечення геомеханічної стійкості укосів розкривних уступів для гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов Мотронівсько-Анновської ділянки Малишевського циркон-рутил-ільменітового родовища, яке планується до введення в експлуатацію на Вільногірському ГМК.

Розроблено алгоритм оцінки геомеханічної стійкості укосів і бортів кар'єрів, що враховує геометричні параметри уступів, складну геологічну структуру породного масиву, гідрогеологічні характеристики родовища й навантаження від гірничо-транспортного устаткування (рис. 5).

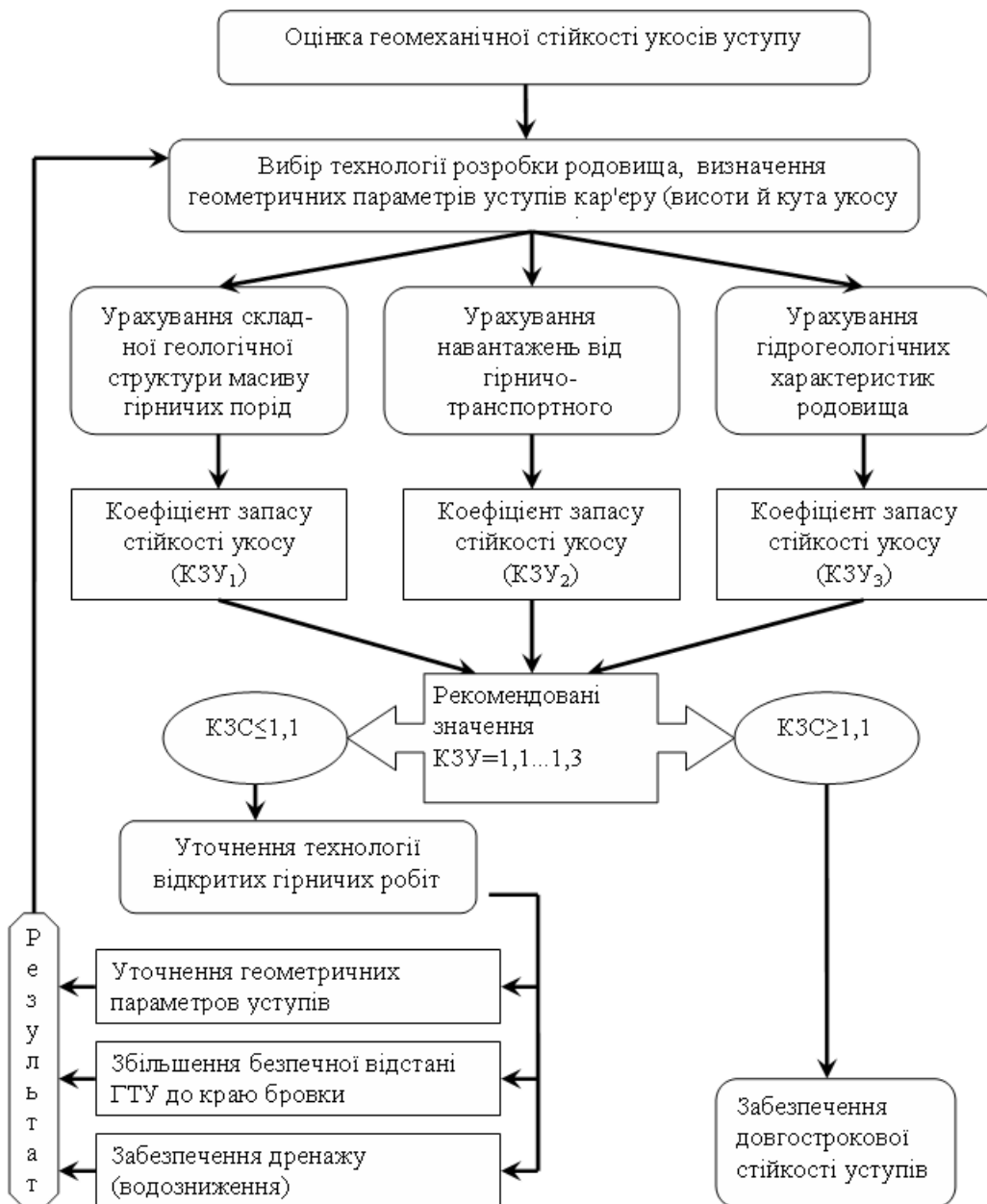


Рис. 5. Алгоритм геомеханічної оцінки стійкості укосів уступів

Для гірничо-геологічних умов проєктованого кар'єру обчислені значення КЗС з урахуванням вологості порід і положення автотранспорту на уступі. Враховуючи, що вологість розкривних порід є домінуючим чинником стійкості укосів уступів, встановлено залежність кута укосу уступу від вологості верхнього розкривного шару суглинків (рис. 6).

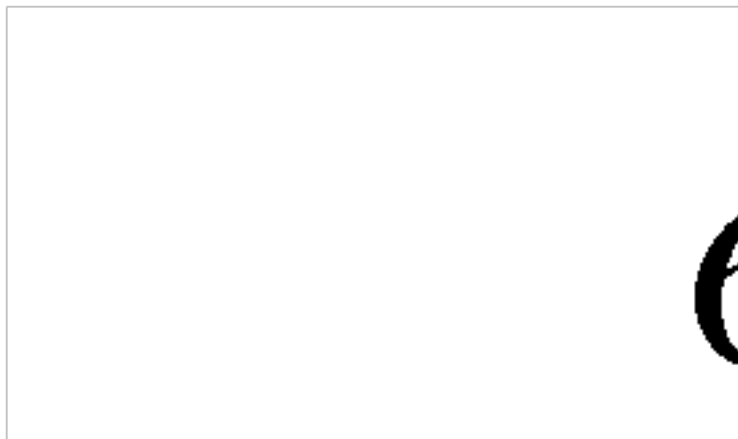
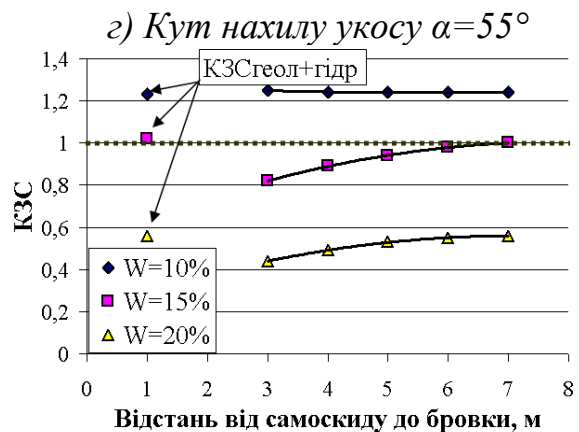
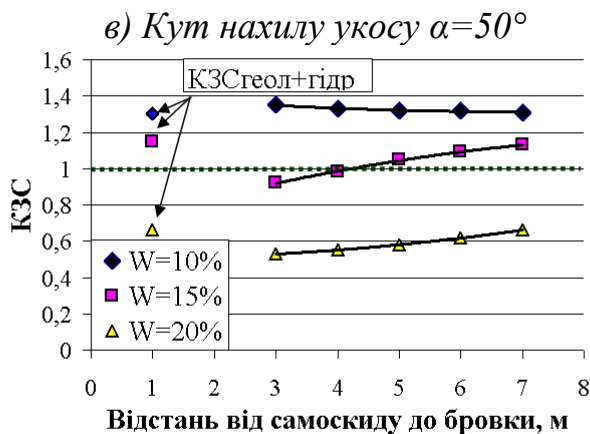
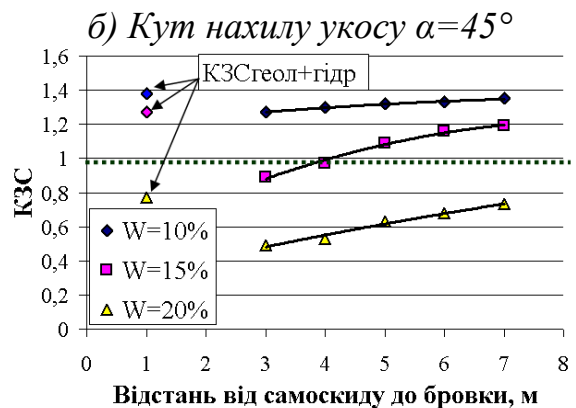
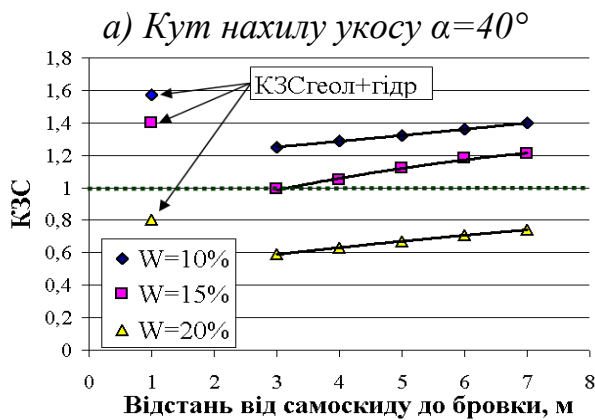


Рис. 6. Залежність кута укосу уступу від вологості суглинків



Примітка. КЗСгеол+гидр – значення КЗС з урахуванням геологічної структури та вологості масиву без навантажень від транспорту



Встановлено, що для існуючих гідрогеологічних умов з урахуванням фізико-механічних властивостей порід рекомендоване значення КЗС=1,1...1,3 буде забезпечено при куті нахилу укосу $\alpha=37^\circ...47^\circ$.

На рис. 7 наведено основні залежності КЗС від вологості порід W і положення автотранспорту на уступі отримані в результаті чисельного моделювання.

Рис. 7. Залежність КЗС від вологості порід W і положення самоскиду на уступі

В результаті комплексної оцінки геомеханічної стійкості укосів, складених м'якими розкривними породами, розроблено методичні рекомендації, частиною яких є номограма для розрахунку КЗС й раціональних геометричних параметрів уступів (рис. 8), що дозволяє визначити умови їх стійкого стану за наявності вихідних даних фізико-механічних властивостей порід.

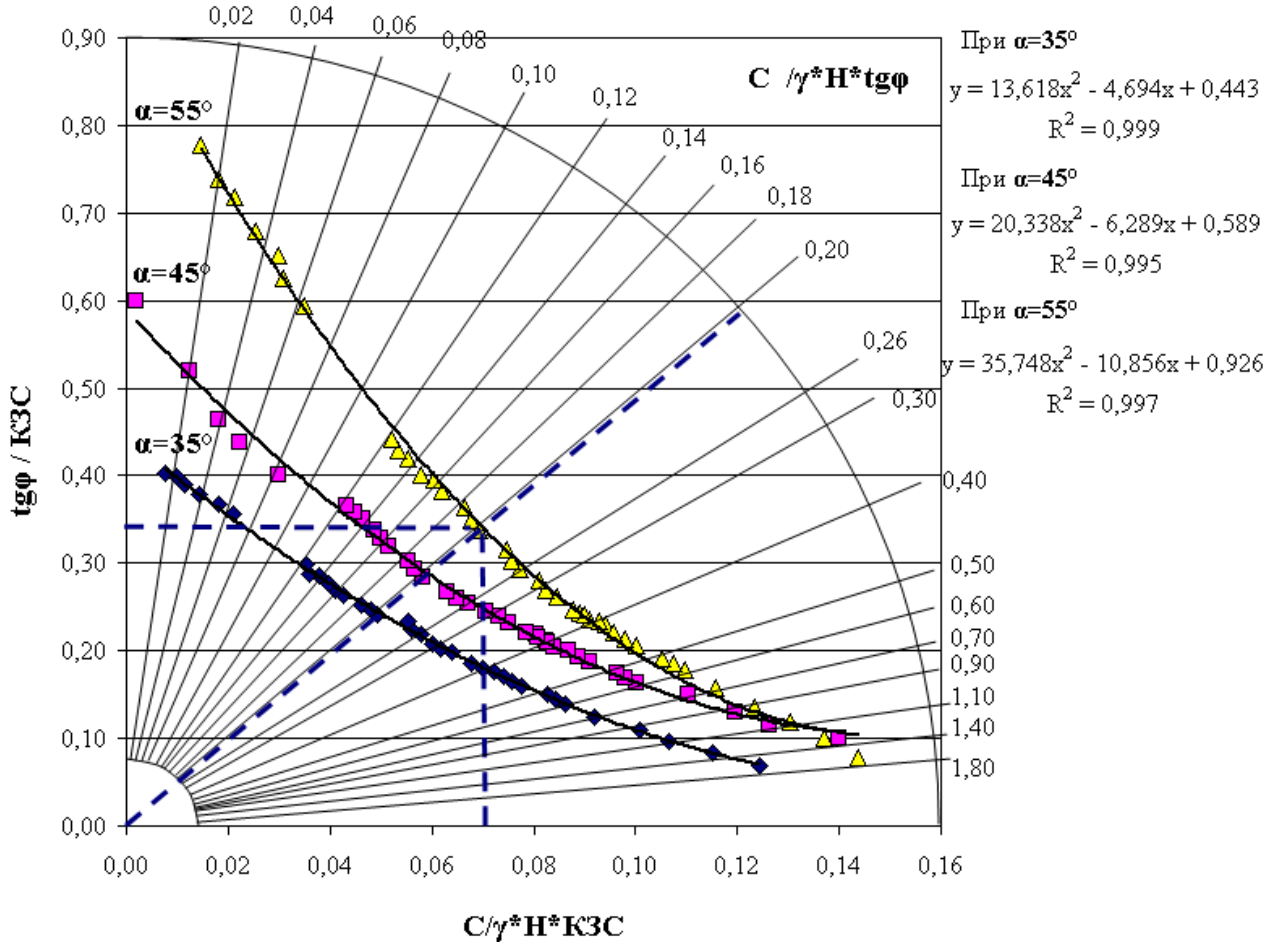


Рис. 8. Номограма для визначення стійких параметрів укосів уступів

Розраховано економічний ефект від впровадження запропонованих заходів. Так, при середній висоті розкривного уступу 20 м і зміні кута нахилу укосу із проектних 37° до рекомендованих 47° для умов Вільногірського ГМК скорочення обсягів розкривних робіт на 1 км довжини фронту складе $V=78,91$ тис. м³.

Коригування кута нахилу укосу й формування більш крутого геометричного профілю уступу на 10° ($\alpha_1-\alpha_2=47^\circ-37^\circ$) при його висоті $H=20$ м призводить до економічного ефекту $Se=0,72...0,90$ млн. грн на 1 км довжини фронту гірничих робіт при середній собівартості розкриву $C_e=10,85...13,40$ грн/м³.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі вперше встановлених закономірностей зниження стійкості укосів кар'єрів, складених м'якими розкривними породами, обґрунтовані раціональні геометричні параметри уступів з урахуванням структурно-геологічних, гідрогеологічних та гірничо-технологічних факторів, що дозволило вирішити актуальну науково-технічну задачу надійності прогнозу зсувонебезпечних ділянок при відкритій розробці корисних копалин.

Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному.

1. Виконаний аналіз стійкості укосів на кар'єрах №7 "Північ" й №7 "Південь" Вільногірського ГМК результати якого довели можливість зменшення обсягу вилучення розкривних порід за рахунок обґрунтування безпечних технологічних параметрів відкритої розробки.

2. Доведено, що процес порушення стійкості укосів на кар'єрах з м'якими розкривними породами пов'язаний з утворенням специфічних областей критичних напружень в укосі, що веде до виникнення максимальних деформацій та ініціює процес зрушення масиву порід за круглоциліндричною поверхнею ковзання.

3. Розроблена нова гідрогеомеханічна модель, що дозволяє визначати коефіцієнт запасу стійкості укосів кар'єрів з урахуванням складної геологічної структури, вологості розкривних порід і навантажень від гірничо-транспортного устаткування.

4. Встановлено, що для існуючих гідрогеологічних умов з урахуванням фізико-механічних властивостей розкривних порід рекомендоване значення $K_{3C}=1,1...1,3$ буде забезпечено при куті нахилу укосу $\alpha=37^\circ...47^\circ$.

5. В результаті комплексної оцінки геомеханічної стійкості укосів, складених м'якими породами, розроблені методичні рекомендації, частиною яких є номограма для розрахунку K_{3C} й раціональних геометричних параметрів уступів, що дозволяє визначити умови їх стійкого стану за наявності вихідних даних фізико-механічних властивостей порід.

6. Очікуваний економічний ефект від збільшення кута нахилу укосу з проектних 37° до рекомендованих в роботі 47° для гірничо-геологічних умов Вільногірського ГМК при середній висоті розкривного уступу $H = 20$ м складе $C_e = 720...900$ тис. грн на 1 км довжини фронту гірничих робіт.

Основні результати досліджень опубліковані у наступних роботах:

1. Ковров А.С. Моделирование явления потери устойчивости породных уступов на эквивалентных материалах / А.С. Ковров // Науковий вісник Національного гірничого університету. - 2009. - №9. - С. 27–30.
2. Ковров А.С. Оценка устойчивости откосов на карьерах с учетом структурных особенностей породного массива / А.С. Ковров // Зб. наук. праць Державного підприємства «Науково-дослідний гірничорудний інститут». - Кривий Ріг: ДП «НДГРІ». - 2010. - Вип. 52. - С. 42-52.

3. Ковров А.С. Моделирование устойчивости борта карьера с использованием критерия Друкера-Прагера / А.С. Ковров // Зб. наук. праць Національного гірничого університету. – 2010. - №35. - Т.1. - С. 92-98.
4. Ковров А.С. Об устойчивости откоса правобережной плотины Днепродзержинской ГЭС / Б.М. Усаченко, А.Н. Шашенко, А.С. Ковров // Науковий вісник Національного гірничого університету. - 2010. - №11-12. - С. 82-88.
5. Ковров А.С. Современные тенденции развития открытого способа разработки месторождений полезных ископаемых в Украине / А.С. Ковров // Зб. наук. праць Національного гірничого університету. - 2010. - №35. - Т.2.- С. 204-212.
6. Ковров А.С. Оценка устойчивости естественных и искусственных породных откосов / А.Н. Шашенко, А.С. Ковров // Геотехническая механика. – Д.: Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. - 2010. - Вып. 91. - С. 43-54.
7. Ковров А.С. Анализ некоторых теорий прочности применительно к оценке устойчивости откосов и бортов карьеров / А.Н. Шашенко, А.С. Ковров // Проблеми гірського тиску. – Донецьк: Донецький національний технічний університет. - 2010. - №18. - С. 5-26.
8. Ковров О.С. Вплив складної геологічної структури та обводнення масиву порід на стійкість укосів кар'єрів / О.М. Шашенко, О.С. Ковров // Науковий вісник Національного гірничого університету. - 2011. - №3. - С. 63-68.
9. Ковров А.С. Моделирование процесса потери устойчивости породного уступа при управляемом обрушении / А.Н. Шашенко, А.С. Ковров // Форум гірників-2009: Матер. міжнар. конф. 30 вер. – 3 жовт. 2009 р.: тези доп. – Д.: Національний гірничий університет, 2009. - Т.2. - С. 202-208.
10. Kovrov A.S. Modeling of the rock slope stability at the controlled failure / A.N. Shashenko, E.A. Sdvizhkova, A.S. Kovrov // “EUROCK 2010: Rock Mechanics in Civil and Environmental Engineering”: Proceedings and monographs in engineering, water and earth sciences, June 15-18, 2010, Lausanne, Switzerland. – London: CRC Press / Balkema, 2010. - P. 581-584.
11. Ковров А.С. Оценка устойчивости откосов на карьерах с учетом структурных особенностей породного массива / А.С. Ковров // Моніторинг та мінімізація негативного впливу господарської діяльності залізрудних підприємств України на навколишнє природне середовище: Матер. міжнар. наук.-техн. конф. 8-9 жовт. 2010 р.: тези доп. - Кривий Ріг: ДП «НДГРІ», 2010. – С. 75-77.
12. Ковров А.С. Моделирование устойчивости борта карьера с использованием критерия Друкера-Прагера / А.С. Ковров // «Неделя эколога-2010», «Экологические проблемы горно-металлургических регионов. Прогрессивные информационные и технологические решения»: Материалы междунар. симп. 12-15 окт. 2010 г.: тез. докл. - Днепродзержинск: ДГТУ, 2010. - С. 138-140.
13. Ковров А.С. Моделирование устойчивости борта карьера методом конечных элементов / А.С. Ковров // Форум гірників-2010: Матеріали міжнар. конф. 21-23 жовт. 2010 р.: доп. – Д.: Національний гірничий університет, 2010. - Т.2. - С. 94-102.

14. Ковров А.С. Влияние сложной геологической структуры и обводнения массива пород на устойчивость откосов карьеров / А.С. Ковров // Наукова весна-2011: Матеріали 2-ї наук.-техн. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених, 25 берез. 2011 р.: тези доп. – Д.: ДВНЗ «НГУ», 2011. - С. 112-113.
15. Ковров А.С. Оценка влияния сложной геологической структуры и обводнения массива пород на устойчивость откосов карьеров / А.С. Ковров // Образование. Инновации. Карьера: Материалы 1-й междунар. науч.-практ. конф., 12-14 апр. 2011 г.: тез. докл. – Междуреченск: Изд-во филиала ГУ КузГТУ, 2011. – С. 71-75.

Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих у співавторстві: [4] – моделювання гідргеомеханічних процесів в укосах греблі та оцінка стійкості споруди, аналіз результатів; [6, 7] – аналіз критеріїв міцності для оцінки стійкості укосів та бортів кар'єрів; [8] - гідргеомеханічна оцінка стійкості укосів та бортів кар'єрів методами чисельного моделювання; [9, 10] - виконання лабораторних експериментів на моделях із еквівалентних матеріалів, аналіз результатів.

АНОТАЦІЯ

Ковров О.С. Геомеханічне обґрунтування параметрів стійких укосів кар'єрів в складноструктурному масиві м'яких порід. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнична механіка». – ДВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ, 2011.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі вдосконалення геомеханічної оцінки стійкості укосів уступів на кар'єрах, що складаються з м'яких розкривних порід, з урахуванням складної геологічної структури, гідргеологічних характеристик родовища й навантажень від гірничо-транспортного устаткування.

У роботі виконаний аналіз впливу фізико-географічних, природно-геологічних, гідргеологічних, інженерно-геологічних і гірничо-технічних факторів на геомеханічну стійкість укосів і бортів кар'єрів. Результати моделювання на еквівалентних матеріалах та чисельного моделювання методом кінцевих елементів дозволило проаналізувати геомеханічні процеси у породних уступах і встановити закономірності порушення їх стійкості.

Отримані експериментальним шляхом фізико-механічні характеристики розкривних порід (суглинки, глини) для гірничо-геологічних умов кар'єрів №7 "Північ" й №7 "Південь" Вільногірського ГМК використані для геомеханічної оцінки стійкості укосів уступів залежно від фізико-механічних характеристик, вологості порід і навантажень від гірничо-транспортного устаткування.

Закономірності, отримані в результаті експериментальних досліджень зразків гірських порід і чисельного моделювання використані для розробки рекомендацій із забезпечення геомеханічної стійкості укосів розкривних уступів для гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов Мотроні-

всько-Анновської ділянки Малишевського комплексного циркон-рутил-ільменітового родовища, що планується до введення в експлуатацію на ВГМК.

Ключові слова: стійкість укосів, коефіцієнт запасу стійкості, складно-структурний масив порід, критерій Кулона-Мора, поверхня ковзання

АННОТАЦІЯ

Ковров А.С. Геомеханическое обоснование параметров устойчивых откосов карьеров в сложноструктурном массиве мягких пород. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.09 – «Геотехническая и горная механика». – ГВУЗ «Национальный горный университет», Днепропетровск, 2011.

Диссертация посвящена усовершенствованию геомеханической оценки устойчивости откосов уступов на карьерах, сложенных мягкими вскрышными породами, с учетом сложной геологической структуры, гидрогеологических характеристик месторождения и нагрузок от горно-транспортного оборудования.

В работе выполнен анализ влияния физико-географических, природно-геологических, гидрогеологических, инженерно-геологических и горно-технических факторов на геомеханическую устойчивость откосов и бортов карьеров; рассмотрены основные подходы к расчету потенциальных поверхностей скольжения в прибортовом массиве пород, а также аналитические и эмпирические критерии прочности, которые наиболее часто используются в практике геомеханических исследований.

Для моделирования устойчивости откосов и бортов карьеров, сложенных мягкими вскрышными породами, принят критерий прочности Кулона-Мора. В качестве инструмента численного моделирования использована программа конечно-элементного анализа Phase2 компании Rocscience Inc. широко используемая в практике инженерного анализа как в Украине, так и за рубежом.

Использование метода моделирования на эквивалентных материалах позволило проанализировать геомеханические процессы, происходящие при сдвиге массива пород, слагающих породный уступ, и установить закономерности нарушения его устойчивости.

Выполнены серийные испытания образцов на одноплоскостном срезном приборе П10-С и определены физико-механические характеристики вскрышных пород (суглинки, глины) для горно-геологических условий карьеров №7 «Север» и №7 «Юг» Вольногорского ГМК. Полученные экспериментальным путем значения сцепления и угла внутреннего трения использованы для геомеханической оценки устойчивости откосов уступов действующих и проектируемых карьеров ВГМК.

Разработана гидрогеомеханическая модель, описывающая распределение деформаций и напряжений в откосах уступов карьера с учетом физико-механических характеристик верхнего слоя вскрыши и влагонасыщения пород за счет инфильтрации атмосферных осадков. По результатам моделирования определе-

ны коэффициенты запаса устойчивости борта карьера в зависимости от физико-механических характеристик, влажности вмещающих пород и внешних нагрузок горно-транспортного оборудования.

Закономерности, полученные в результате экспериментальных исследований образцов горных пород и численного моделирования использованы для разработки рекомендаций по обеспечению геомеханической устойчивости откосов вскрышных уступов для горно-геологических и горнотехнических условий Мотроновско-Анновского участка Малышевского комплексного циркон-рутил-ильменитового месторождения, которое планируется к введению в эксплуатацию на ВГМК.

Разработан алгоритм оценки долговременной геомеханической устойчивости откосов и бортов карьеров, учитывающий геометрические параметры уступов, сложную геологическую структуру породного массива, гидрогеологические характеристики месторождения и нагрузки от горно-транспортного оборудования. Рассчитаны зависимости угла откоса уступа от влажности верхнего вскрышного горизонта суглинков. Установлено, что для существующих гидрогеологических условий с учетом физико-механических свойств пород рекомендуемые значения КЗУ=1,1...1,3 будут обеспечены при угле наклона откоса $\alpha=37...47^\circ$.

В результате комплексной оценки геомеханической устойчивости откосов разработана номограмма для расчета КЗУ и рациональных геометрических параметров вскрышных уступов, сложенных суглинками. Установлено, что при средней высоте вскрышного уступа 20 м и изменении угла наклона откоса с проектных 37° до рекомендуемых 47° для условий Вольногорского горно-металлургического комбината сокращение объемов вскрышных работ на 1 км длины фронта работ составит $\Delta V=78,91$ тыс. м³. В результате корректировки угла наклона откоса и формирования более крутого геометрического профиля уступа, при его высоте $H=20$ м, на 10° ($\alpha_1-\alpha_2=47^\circ-37^\circ$) рассчитан экономический эффект $C_3=0,72...0,90$ млн. грн на 1 км длины фронта горных работ при средней себестоимости вскрыши $C_6=10,85...13,40$ грн/м³.

Ключевые слова: устойчивость откосов, коэффициент запаса устойчивости, сложноструктурный массив пород, критерий Кулона-Мора, поверхность скольжения

ANNOTATION

Kovrov O.S. Geomechanical justification of stable open-pit slopes parameters in complex structure massif of soft rocks. - Manuscript.

Thesis for obtaining scientific degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.15.09 - Geotechnical and rock mechanics. – State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovs’k, 2011.

The dissertation is devoted to solving an actual scientific and technical task of improving geomechanical evaluation of slope stability in open-pit benches composed of soft rocks with consideration of complex geological structure, deposit hydro-geological characteristics and loads of mining-transportation equipment.

Analysis of influence of physiographic, geological, hydro-geological, geotechnical and mining-technical factors on geomechanical stability of slopes and pit edges is carried out. Results of simulation of equivalent materials and FEM numerical modeling allowed analyze geomechanical processes in rock benches and ascertain laws of their instability.

Experimentally derived physical and mechanical characteristics of overburden rocks (loams, clays) for geological conditions of open-pits №7 "Sever" and №7 "Yug" of Vil'noghirs'k Mining and Metallurgical Plant (VGМК) are used for geomechanical evaluation of slope stability depending on physical and mechanical characteristics, rock moisture, and external loads from mining and transport equipment.

Regularities obtained in experimental research of rock samples and numerical modeling are used to develop recommendations for ensuring geomechanical slope stability of overburden benches for geological and mining conditions of Motronivs'ko-Annovs'kyi section of Malyshevs'ke complex zircon-rutile-ilmenite placer deposit which is planned to put into exploitation on VGМК.

Keywords: slope stability, safety factor, complex structure rock massif, Coulomb-Mohr failure criterion, failure surface

КОВРОВ ОЛЕКСАНДР СТАНІСЛАВОВИЧ

ГЕОМЕХАНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СТІЙКИХ
УКОСІВ КАР'ЄРІВ В СКЛАДНОСТРУКТУРНОМУ
МАСИВІ М'ЯКИХ ПОРІД

(Автореферат)

Підписано до друку 20.10.2011. Формат 60×90/16.
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. № 296.

ДВНЗ «Національний гірничий університет»
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.