

Національна академія наук України  
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова

Романенко Андрій Олександрович

УДК 622'1-047.44:622.271.33

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СТАНУ  
МАСИВУ ГІРСЬКИХ ПОРІД ПРИ РОЗРОБЦІ ГЛИБОКИХ ЗАЛІЗОРУДНИХ  
КАР'ЄРІВ

05.15.09 – «Геотехнічна і гірничча механіка»

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпро – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Криворізькому національному університеті Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, проф.  
**Сидоренко Віктор Дмитрович,**  
Криворізький національний університет  
Міністерства освіти і науки України,  
завідувач кафедри геодезії.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор,  
**Четверик Михайло Сергійович,**  
Інститут геотехнічної механіки  
ім. М.С. Полякова, провідний науковий  
співробітник відділу геомеханічних  
основ технологій відкритої розробки  
родовищ

доктор технічних наук, професор,  
**Ковров Олександр Станіславович**  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка», МОН  
України, професор кафедри екології та  
технологій захисту навколишнього  
середовища

Захист відбудеться «14» травня 2021 року о «15:00» годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.188.01 при Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України за адресою: 49005, м. Дніпро, вул. Сімферопольська, 2а.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України за адресою: 49005, м. Дніпро, вул. Сімферопольська, 2А.

Автореферат розісланий «14» квітня 2021 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
д.т.н., проф..



В.Г. Шевченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Розвиток відкритих гірничих робіт у Криворізькому залізорудному басейні пов'язаний з освоєнням родовищ зі складними геолого-геоморфологічними умовами, збільшенням глибини кар'єрів до відміток понад 600 м. Аналіз перспектив подальшого відпрацювання родовищ залізистих кварцитів на кар'єрах Кривбасу свідчить про те, що питання організації економічно ефективного та безпечного ведення гірничих робіт, набувають усе більшого значення.

Не дивлячись на те, що існують обґрунтовані проектні рішення з розробки родовищ відкритим способом, зсувні явища на бортах кар'єрів мають місце на практиці. Відпрацювання глибоких кар'єрів обумовлює необхідність оцінки поточного стану приконтурного масиву з метою корегування конструктивних параметрів уступів і бортів. Разом з тим, жоден з методів оцінки стійкості бортів кар'єрів не може охопити і врахувати все різноманіття факторів, що впливають на стан гірського масиву (стійкий, граничний, нестійкий). Тому, застосування одних лише розрахунків стійкості є недостатнім для визначення раціональних і безпечних параметрів бортів кар'єрів, що зможуть забезпечити відсутність критичних деформацій гірських порід. Для підвищення достовірності оцінки стану бортів кар'єру використовуються маркшейдерські методи моніторингу. Збільшення глибини відпрацювання визначає необхідність комбінованого застосування інструментальних методів контролю стану прибортового масиву разом із теоретичними методами оцінки стійкості бортів уступів і відкосів.

Гірничо-геологічні умови розробки та прийняті проектні рішення обумовлюють той факт, що окремі дільниці рудного тіла і покладу родовища знаходяться в різних умовах, або характеризуються різними значеннями коефіцієнту запасу стійкості. При зміні певних умов стан стійкості борту може змінитись. Ділянки, де можуть виникнути ці зміни мають назву потенційно небезпечних, тобто там є велика вірогідність виникнення деформацій (зрушень, обвалень, зсувів тощо).

На даний момент не розроблено методу, який може об'єднати весь комплекс взаємовпливаючих факторів, що формують стійкість масиву гірських порід. Тому, встановлення закономірностей та обґрунтування параметрів стану масиву гірських порід та розробка методу комплексної оцінки стану бортів кар'єрів є **актуальним науковим завданням**, що має суттєве значення для підвищення ефективності оцінки стійкості бортів кар'єрів та підвищення безпеки при максимально повному вилученні запасів корисних копалин.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана відповідно до «Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року» (Закону України від 21 квітня 2011 року № 3263 VI), а також плану наукових досліджень кафедри маркшейдерії «Криворізького національного університету», і є складовою частиною науково дослідницької роботи: «Розробка методів та засобів для дослідження геомеханічних процесів у гірничовидобувних регіонах», номер державної реєстрації теми:

0112U000361 в якій автор брав участь як виконавець.

**Метою роботи є:** встановлення закономірностей та обґрунтування параметрів інтегрального показника при розробці методики комплексної оцінки стану гірського масиву для підвищення достовірності визначення потенційно небезпечних ділянок кар'єрного поля.

Для досягнення поставленої мети сформульовані й вирішені наступні науково-практичні задачі:

- встановлення закономірностей та вибір критеріїв для оцінки факторів, що характеризують напружено-деформований стан гірського масиву;
- обґрунтування й вибір оптимальних методів оцінки впливу факторів різної природи на стійкість бортів кар'єру;
- розробка методу визначення потенційно небезпечних ділянок кар'єрного поля, які потребують організації моніторингу гірського масиву через проведення спеціальних маркшейдерських спостережень;
- розробка методики районування кар'єрного поля за комплексом факторів та обґрунтування інтегрального критерію оцінки стану бортів кар'єру;
- розробка та впровадження рекомендацій з ведення маркшейдерського контролю стану бортів у зоні впливу підземних гірничих виробок.

**Об'єкт досліджень** – процес формування потенційно небезпечного стану ділянки борту кар'єру під комплексним впливом факторів, що порушують стійкість масиву гірських порід.

**Предмет досліджень** – закономірності та параметри при оцінці стану гірського масиву на основі комплексного аналізу факторів, які впливають на стійкість бортів глибоких залізрудних кар'єрів.

**Методи досліджень.** Для розв'язання поставлених у роботі задач використано комплексний метод досліджень, що включає: методи аналізу й синтезу – при розгляді сучасного стану й особливостей ділянки кар'єрного поля, виявленні й виділенні основних факторів, які обумовлюють прояв і виникнення деформацій; методи математичного аналізу й аналітичної геометрії – при комплексному багатфакторному підході до районування кар'єрного поля; методи геотехнічної механіки – при проведенні розрахунків стійкості; комп'ютерні технології – при камеральній обробці й аналізі маркшейдерських спостережень, розрахунках фрактальної розмірності тріщин і побудові 3-D моделі шахти для суміщення з просторовою моделлю зон впливу підземних гірничих виробок; інструментальні методи маркшейдерського контролю – при проведенні досліджень у зоні впливу підземних гірничих виробок шахти й визначенні характеристик об'єкту.

**Ідея роботи** полягає у використанні встановлених закономірностей при розробці методу визначення стійкості ділянки борту кар'єру, який полягає у об'єднанні розрахунків стійкості бортів кар'єру з районуванням кар'єрного поля за факторами, що впливають на стан прибортового масиву, для більш точного прогнозування розвитку деформаційних процесів.

**Основні наукові положення**, які виносяться автором на захист.

1. Коефіцієнт структурного ослаблення зростає в лінійній залежності зі збільшенням фрактальної розмірності тріщин, і залежить від масштабного ефекту зображення, так при масштабному ефекті 1:100 і шагу росту фрактальної

розмірності у 0,05, відповідний йому коефіцієнт структурного ослаблення буде зменшуватись у 1,26 разів, при масштабному ефекті 1:1000 у 1,41 рази, і при 1:10000 у 1,58 рази.

2. Коефіцієнт запасу стійкості бортів кар'єрів знаходиться в поліноміальній багатофакторній залежності від стійкості, тріщинуватості, фактору впливу буровибухових робіт, фактору впливу шахти, фактору об'ємності, так при значеннях інтегрального показника в інтервалі від 50 до 30 % від максимально можливого, стан масиву можна охарактеризувати як «доволі стійкий», задовільний стан досягається при значеннях у діапазоні 10–30%, значенням інтегрального показника нижче 10% характеризують небезпечний стан гірського масиву.

**Наукова новизна** отриманих результатів досліджень полягає в тому, що:

- вперше встановлена закономірність між коефіцієнтом структурного ослаблення та фрактальною розмірністю тріщин на оголеній ділянці борту кар'єру, на основі розробленого методу аналізу зображення ділянки борту кар'єру, досягнуто уточнення коефіцієнту структурного ослаблення на 5-10%.

- вперше розроблено метод врахування фрактальної розмірності систем тріщин, при розрахунках коефіцієнта структурного ослаблення гірських порід у масиві;

- обґрунтовано новий підхід до розв'язку науково-практичної задачі врахування відпрацьованих підземними роботами бортів кар'єру, за рахунок встановлення просторового положення відпрацьованих зон прибортового масиву; вперше запропоновано комплексний багатофакторний підхід до розв'язку задач оцінки стану стійкості масиву, що полягає в районуванні кар'єрного поля за комплексом факторів впливу на масив та розроблені нові методологічні принципи проведення інтегральної оцінки кар'єрного поля на основі його районування за факторами різної природи, які впливають на стан стійкості бортів кар'єру;

- розроблено метод розрахунку інтегрального показника, практичне застосування якого дозволило підвищити достовірність оцінки стану гірського масиву і виявити потенційно небезпечні ділянки кар'єрного поля.

**Наукове значення** роботи полягає у встановленні закономірностей дії факторів на стан гірського масиву та розробці методу інтегральної оцінки стійкості бортів кар'єрів.

**Практичне значення** отриманих результатів полягає в:

- розробці науково обґрунтованої методики районування кар'єрного поля за факторами, які впливають на стійкість гірського масиву. Застосування запропонованого багатофакторного підходу до оцінки стану гірського масиву, дає можливість проводити безпечну і ефективну розробку родовища корисних копалин на значних глибинах;

- розробці рекомендацій з удосконалення організації системи маркшейдерського моніторингу за станом стійкості бортів кар'єру ПрАТ «ІнГЗК».

**Реалізація результатів досліджень.** Результати дисертаційної роботи знайшли своє відображення на практиці і використані на підприємствах ПрАТ «ІнГЗК» (довідка від 27 листопада 2014р), ПрАТ «ЦГЗК» (довідка від 5 грудня 2014р.), ПрАТ «Полтавський ГЗК» (довідка від 23 листопада 2018р.) та у роботах «КП «Акадими́чний дім» (довідка від 14 травня 2015р.). При впровадженні досягнуто неяви́й економічний ефект, який полягає у підвищенні безпеки при веденні

гірничих робіт.

**Обґрунтованість** і достовірність наукових результатів, висновків і рекомендацій підтверджується використанням загальноновизнаних положень щодо теорії стійкості бортів кар'єрів, правильністю використання методів моделювання досліджуваних факторів і процесів; достатнім обсягом проведених експериментів, які відповідають критеріям математичної статистики; використанням у розрахунках реальної маркшейдерсько-геологічної документації і фактичних даних спостережень; адекватністю розробленої методики теоретичним положенням, за якими вона розроблялася; збіжністю отриманих результатів з фактичними даними, щодо стану ділянок кар'єру.

**Особистий внесок** здобувача полягає у формулюванні мети, ідеї, наукових положень, задач досліджень, одержанні наукових результатів, висновків і рекомендацій на розробку методики для кількісної оцінки стійкості ділянок борту кар'єру як по окремому фактору, так і за комплексом факторів, зведених до єдиного інтегрального показника. Автор особисто виконав районування кар'єрного поля та провів розрахунок інтегрального показника для умов Інгулецького кар'єру. Здобувач, брав безпосередню участь у проведенні маркшейдерських спостережень, та виконанні натурних робіт по фотозніманню ділянок бортів кар'єру. Розробив основні положення методики «Районування та оцінки стану бортів в межах кар'єрного поля за факторами стійкості». Текст дисертації та автореферату викладено автором особисто.

**Апробація результатів** дисертаційного дослідження. Основні результати досліджень, які увійшли в дисертацію по мірі її виконання були апробовані: на наукових конференціях, зокрема: міжнародна науково - практична конференція студентів та молодих науковців: «Молодий науковець XXI століття» (з 17 по 18 листопада 2008 р.), міжнародний форум-конкурс молодих вчених: «Проблеми недропольовання» (з 20 по 22 квітня 2010р.), міжнародна науково-технічна конференція «Гірничо-металургійний комплекс: досягнення, проблеми й перспективи розвитку – 2010» (26–28 травня 2010 р. м. Кривий Ріг); міжнародна конференція студентів, аспірантів і молодих учених: «Іноземна мова як засіб мобільності майбутніх фахівців у контексті Болонської декларації» (19 березня 2009 р., м. Кривий Ріг); міжнародна конференція студентів і молодих фахівців «Актуальні проблеми раціонального використання природних ресурсів», (12-16 вересня 2011р, Санкт-Петербург); науковий симпозіум «Тиждень еколога – 2012» (м. Дніпродзержинськ, ДДТУ, 12 жовтня 2012 р.); міжнародна науково-технічна конференція «Стабільний розвиток гірничо-металургійної промисловості: досягнення, проблеми, та перспективи розвитку» (м. Кривий Ріг, 23-25 травня 2011); міжнародна науково-практична конференція «Комбіновані технології розробки родовищ глибокими кар'єрами й шахтами» (м. Кривий Ріг, 12 травня 2011 р.); всеукраїнська науково-практична конференція «Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова постійного розвитку України» (м. Кривий Ріг, 5 квітня 2012 р.); міжнародна науково-технічна конференція «Геомеханічні аспекти й екологічні наслідки відпрацювання рудних покладів» (м. Кривий Ріг, 21-22 грудня 2012 р.); міжнародна науково-практична конференція «Енергетика, екологія, комп'ютерні технології в будівництві» ГВУЗ ПДАБА (м. Дніпропетровськ, 11 квітня

2014р.), міжнародна науково-практична конференція «Енергетика, екологія, комп'ютерні технології в будівництві» ГВУЗ ПДАБА (м. Дніпропетровськ, 14-16 жовтня 2015р.); міжнародні науково-практичні конференції «Розвиток промисловості й суспільства» (14-16 травня 2013р.; з 20 по 22 травня 2015, з 25 по 27 травня 2016р.); міжнародні науково-технічні конференції «Розвиток промисловості та суспільства» (24-26 травня 2017 р., 23-25 травня 2018р., 22-24 травня 2019р.); міжнародна науково-технічна конференція «Форум гірників – 2018» (11 жовтня 2018р., НТУ «Дніпровська політехніка»).

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 17 наукових виданнях, затверджених МОН України, зокрема 2 статті у виданнях, які включено до міжнародних наукометричних баз, 15 у наукових виданнях, визначених як фахові.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів і висновків. Містить 212 сторінок машинописного тексту (обсяг основного тексту 128 сторінок), в тому числі 42 рисунка, 10 таблиць, 65 формул, включаючи список використаних джерел з 124 найменувань і 11 додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі виконано аналіз наукових підходів і методів оцінки стійкості бортів залізородних кар'єрів. Розглянуто теоретичні основи геомеханічної оцінки стійкості бортів кар'єрів на основі теорії граничної рівноваги та інженерні методи оцінки стійкості бортів залізородних кар'єрів. Встановлено, що із розроблених методів розрахунків запасу стійкості породних відкосів, більшість базується на теорії Кулона-Мора, а в якості вихідних даних при розрахунках використовують міцнісні характеристики гірських порід, такі як: зчеплення і кут внутрішнього тертя. У сучасній практиці в якості нормативних методів розрахунків рекомендовані метод алгебраїчного додавання сил і побудови багатокутника сил.

Розгляд діючих інструкцій і методичних вказівок по оцінці стійкості бортів кар'єрів і доповнень до них дозволило встановити вимоги до визначення оптимальних кутів нахилу бортів, уступів і груп уступів залізородних кар'єрів. На основі аналізу накопиченого досвіду вивчення деформацій, що застосовується у методі спостережень за деформаціями бортів, вибрані оптимальні рішення що до створення спостережних мереж і закладці спостережних станцій для умов залізородного родовища, описані схеми і методики спостережень за деформаціями бортів кар'єрів, розглянуті питання обґрунтування точності і періодичності спостережень, а також методика камеральної обробки і інтерпретації результатів досліджень.

Питання стійкості бортів кар'єрів вирішувались багатьма інститутами, до яких відносяться: Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова, Криворізький національний університет, Науково-дослідний інститут гірничої механіки і маркшейдерської справи, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Науковий гірничо-дослідний Інститут та ін.

У практиці гірничої справи для розрахунку стійкості бортів кар'єру найбільш широко використовуються методи, в основі яких покладено відношення сил

зрушуючих до сил утримуючих або побудова багатокутника сил (метод алгебраїчного додавання сил, метод Спенсера, метод багатокутника сил). Найбільш сучасним та перспективним методом визначення стійкості бортів кар'єру є метод кінцевих елементів, але усі ці методи мають недолік, який полягає у недостатньому врахуванні усіх факторів, що спричиняють вплив на масив гірських порід. Є методики визначення стійкості, що більш повно враховують один з факторів, але задача врахування усього комплексу взаємовпливаючих факторів на даному етапі розвитку гірничої справи до кінця не вирішена.

Базуючись на розробках виконаних досліджень попередніх років виділено природні і техногенні фактори, що впливають на стійкість відкритих гірничих виробок. Розглянуто основні положення теорії районування, визначено оптимальні зони районування для дослідження кар'єрів в залежності від їх форми. Для глибоких кар'єрів визначена залежність між оптимальною кількістю розрахункових профілів і параметрами досліджуваного кар'єру.

**Другий розділ** присвячено проблемам, які пов'язані з визначенням параметрів для оцінки факторів та їх взаємозв'язок зі стійкістю бортів кар'єру. Розглянуто вплив природної та техногенної тріщинуватості на загальну стійкість ділянки борту кар'єру, методи її врахування у вигляді коефіцієнта структурного ослаблення.

На основі використання методів фрактальної геометрії для умов оцінки тріщинуватості гірського масиву, використовуючи метод сіток, який базується на визначенні фрактальної розмірності деформуємих зразків гірських порід і закономірностей її розподілення при зміні умов зовнішнього силового впливу на зразки. Встановлено, що деформування зразків супроводжується зародженням і розвитком (розгалуження, злиття і т.п.) тріщин. Взаємодіючі тріщини утворюють джерела порушень – кластери. Динаміка цього процесу є не що інше, як саморозвиток під дією навантаження кластерної структури гірських порід. У результаті встановлено стійкий нелінійний ріст фрактальної розмірності дефектів поверхні по мірі навантаження зразків гірських порід (рис. 1).

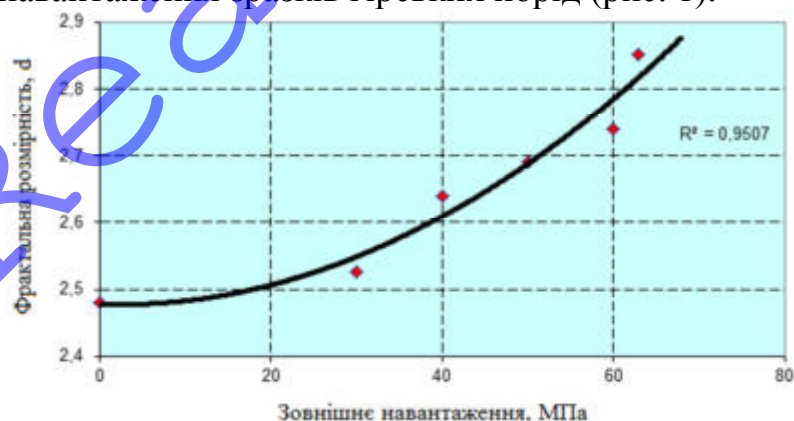


Рисунок 1 – Залежність фрактальної розмірності зразка гірської породи зі збільшенням навантаження на нього

Отримані результати служать базою для прогнозу руйнації гірських порід і для визначення ступеня стійкості як підземних, так і відкритих гірничих виробок. Визначаючи фрактальну розмірність породного масиву по фотознімках укосів скельних уступів, кількісно оцінюємо величину ступеню тріщинуватості масиву і виражаємо її в безрозмірному коефіцієнті структурного ослаблення.



Механізм сейсмічного впливу буро-вибухових робіт на стан стійкості бортів кар'єрів і утворення тріщин, представляємо як момент виникнення сейсмічної події з гіпоцентру (точка (А) в масиві, де відбулося вивільнення енергії, епіцентр якої є проекція на земну поверхню), коли починають поширюватись пружні сейсмічні хвилі, які поділено на поздовжні і поперечні (рис. 2.).

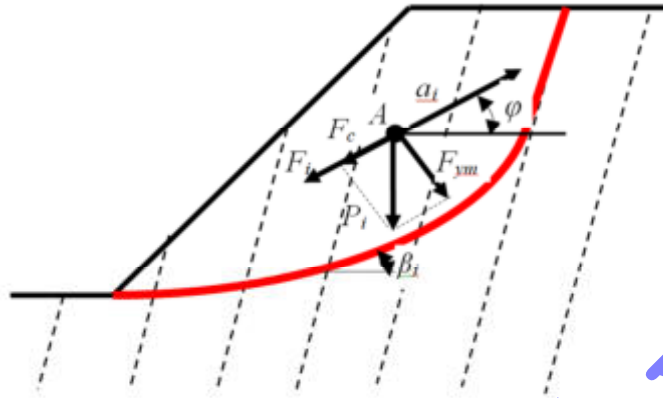


Рисунок 2 – Схема до розрахунків стійкості дільниці кар'єру при наявності крутопадаючих поверхонь ослаблення і сил інерції

Поширення хвиль приводить до пружних коливань середовища (часток гірської породи) з деяким прискоренням. Згідно із принципом Даламбера, прискорення породжує сейсмічну інерційну силу, спрямовану протилежно.

Визначення сейсмічного впливу буро-вибухових робіт на стійкість масиву при веденні відкритих гірничих робіт, реалізовано через врахування сейсмічної складової при розрахунках стійкості. На кожний відсік призми зсуву діє сила, прямо пропорційна його масі і прискоренню часток середовища. Інтенсивність сейсмічної події (землетрусу) вимірюємо в балах. Модуль сейсмічної сили визначаємо за формулою:

$$F_c = \frac{1}{1-T_0^2} k_c F, \quad (1)$$

де,  $T_0$  – період власних коливань часток породи (динамічний коефіцієнт у практичних розрахунках приймаємо рівним одиниці);  $k_c = a/g$  – коефіцієнт сейсмічності, що дорівнює відношенню прискорення сейсмічної хвилі до прискорення вільного падіння, визначаємо з даними, наведеними в табл. 1;  $P$  – вага розглянутого обсягу (відсіку, блоку).

Таблиця 1 – Значення коефіцієнта сейсмічності, та розподілення ВР по ділянкам кар'єрного поля

Розрахункова сейсмічність, бали (MSK–64)					6	7	8	9	10
Коефіцієнт сейсмічності, $k_c$					0,01	0,025	0,05	0,1	0,25
Номер профілю	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Заряд Україниту, т	2216	8590	7686	7066	13593	9005	34727	2836	2456
Номер профілю	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Заряд Україниту, т	1307	1674	706	952	8422	10397	1279	937	1999

Фактичне прискорення сейсмічних коливань часток гірської породи перебуває з величиною наведеного заряду ВР у наступній залежності:

$$a_{\phi} = k_a \cdot \left( \frac{\sqrt[3]{q}}{r} \right)^{n_a}, \quad (2)$$

де,  $a_{\phi}$  – фактичне прискорення сейсмічних коливань породи, м/с<sup>2</sup>;  $q$  – маса ВР, що доводиться на ступінь уповільнення, кг;  $r$  – відстань від масового вибуху до точки спостереження, м;  $k_a$ ,  $n_a$  – емпіричні коефіцієнти.

Математичний вираз для визначення коефіцієнта запасу стійкості породного укосу з урахуванням сейсмічного впливу масових вибухів:

$$\eta_3 = \frac{\sum_{i=1}^N m_i g \cos \beta_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + \sum_{i=1}^N C_i l_i}{\sum_{i=1}^N m_i g \sin \beta_i + \sum_{i=1}^N m_i k_a \cdot \left( \frac{\sqrt[3]{q}}{r} \right)^{n_a}}, \quad (3)$$

де,  $l_i$  довжина поверхні ковзання в межах окремого розрахункового блоку, м;  $\varphi_i$  – кут між горизонталлю і дотичною до кривої в точці, що є серединою основи розрахункового блоку, градус;  $C_i$  – молекулярне зчеплення в межах даного розрахункового блоку, Па.

Розглянувши вплив, на загальний стан стійкості, фактору підпрацювання борту кар'єру шахтними виробками, встановлено, що основну частину цього впливу проявляє порушення цілісності масиву і втрата сил зчеплення на частині зсувного тіла. Для визначення впливу підпрацювання масиву на ступінь стійкості борту кар'єру існують підходи тільки в плоскій задачі з оцінкою лінійної залежності коефіцієнта запасу стійкості від порушеності борту процесами воронкоутворення.

Вдосконалювання методів врахування фактора порушеності прибортового масиву підземними гірничими роботами виконується за рахунок розвитку методів геометризації порушеної частини масиву, розробки математичного апарату розрахунків прибортового масиву в об'ємі, визначення залежності між зниженням ступеня стійкості борту кар'єру порушеного підземними гірничими роботами і об'ємною характеристикою порушеності сектору з урахуванням просторового положення ділянки дослідження. Таким чином вирішена задача з обґрунтування й вибору оптимальних методів оцінки впливу факторів різної природи на стійкість бортів кар'єру;

Дослідження, приведені у **третьому розділі**, направлені на розробку методу комплексної оцінки стійкості уступів і бортів глибоких кар'єрів, що розташовані у складних гірничо-геологічних умовах, де має місце вплив багатьох факторів і є необхідність у виконанні комплексної оцінки стану гірського масиву, враховуючи весь спектр умов.

Методологія приведення безрозмірних показників по окремим районам кар'єрного поля до єдиної шкали заснована на узгодженні трьох точок з різних

діапазонів зміни показників. А саме: лівою та правою межових величин та величини, яка відповідає середньому значенню показника. Якщо показник  $K_a$  змінюється в діапазоні від  $A_0$  до  $A_1$ , а показник  $K_b$  – в інтервалі значень від  $B_0$  до  $B_1$ , то взаємозв'язок між значенням першого показника  $K_A$  з другим  $K_b$  має наступний вигляд:

$$K_b = \begin{cases} 1 - (1 - K_A) \frac{1 - B_0}{1 - A_0}, & A_0 \leq K_A \leq 1 \\ 1 - (1 - K_A) \frac{B_1 - 1}{A_1 - 1}, & 1 \leq K_A \leq A_1 \end{cases}; \quad (4)$$

З цих виразів випливає, що при  $K_A=1$  і  $K_b=1$ , а при  $K_A=A_0$ ,  $K_b=B_0$ , при  $K_A=A_1$ ,  $K_b=B_1$ , тобто досягнуто узгодження між собою двох різних діапазонів.

Далі локальні індекси навантаження по зонах приводяться до єдиної шкали у безрозмірному вигляді. Таким чином, процедура сумарної оцінки впливу факторів на стан гірничого масиву ґрунтується на наступних чинниках: уніфікованість інтегральної оцінки, її застосування для оцінки впливу на загальний стан стійкості бортів кар'єру кожного окремого фактора і поєднання набору факторів у єдиний зведений фактор; використання ієрархічної структури показників та врахування всіх основних факторів, що впливають на стан стійкості бортів кар'єру; застосування оцінок у безрозмірному вигляді; ранжування факторів впливу за значимістю;

– аналогічність оцінок впливу для всіх основних факторів;

– можливість врахування подальшого впливу факторів при перспективному відпрацюванні корисної копалини.

Розроблено метод розрахунку коефіцієнту структурного ослаблення на основі визначення фрактальної розмірності ( $d_1 = \operatorname{tg} \varphi_i + 1$ ) тріщин. Проведені дослідження по визначенню фрактальної розмірності тріщин в укосах скельних уступів південно-західного борту кар'єру ІнГЗКа при різних умовах сейсмічної дії на масив (рис. 3): природна тріщинуватість породного укосу ( $d = 2,27$ ); тріщинуватість, що утворилась при контурному підриванні з використанням стандартних гірлянд ВР ( $d = 2,38$ ); що утворилась при контурному підриванні з використанням укорочених свердловин ( $d = 2,63$ ).

Для визначення коефіцієнта структурного ослаблення породного масиву залежно від його фрактальної розмірності виконано за формулою:

$$k_c = 10^{(2-d) \cdot \lg \frac{V}{V_0}}, \quad (5)$$

де  $V$  – ймовірний об'єму призми зрушення, а  $V_0$  об'єм структурного блоку.

З урахуванням значень фрактальної розмірності для породного масиву, на підставі виразу (5), розраховані чисельні значення коефіцієнта структурного ослаблення, необхідні для визначення ступеня стійкості здвоєних уступів на ділянках кар'єру, при постановці їх на граничний або тимчасово неробочий контур:

– для природної тріщинуватості породного укосу,  $k_c = 0,021$ ;

- для тріщинуватості, що утворилась при контурному підриванні з використанням стандартних гірлянд ВР,  $k_c = 0,0195$ ;
- при контурному підриванні з використанням укорочених свердловин,  $k_c = 0,015$ .

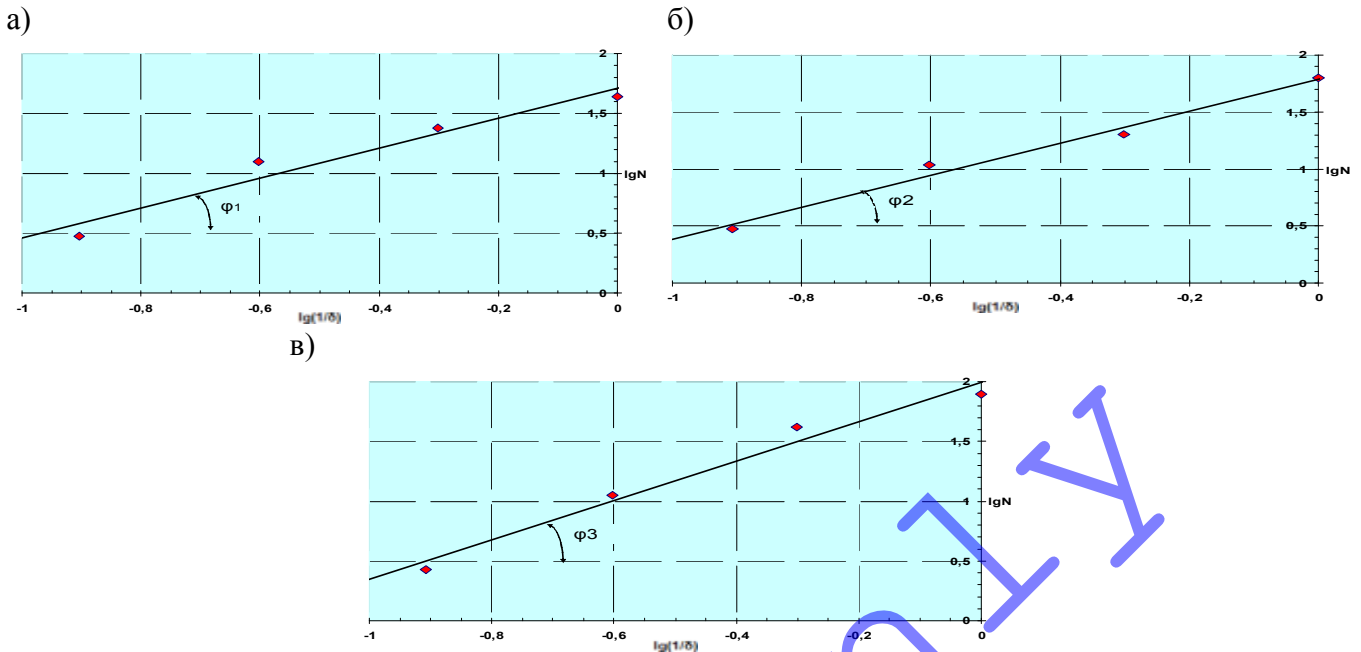


Рисунок 3 – Результати визначення фрактальної розмірності породних масивів в укосах скельних уступів кар'єру ПрАТ «ІнГЗКа»: а) природна тріщинуватість; б) стандартне контурне підривання; в) контурне підривання свердловинами мінливої глибини.

Співставлення отриманих значень коефіцієнта структурного ослаблення показали, що використання традиційного методу контурного підривання не приводить до суттєвого збільшення (усього на 7,1%) ступені порушеності законтурного масиву в порівнянні з його природною тріщинуватістю. Використання при контурному підриванні укорочених свердловин приводить до ослаблення законтурного масиву в порівнянні з його природною порушеністю (на 28,6%). Встановлена залежність між коефіцієнтом структурного ослаблення та фрактальною розмірністю масиву (рис. 4).

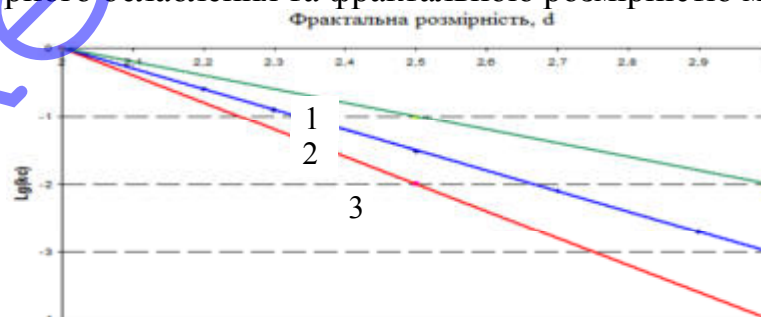


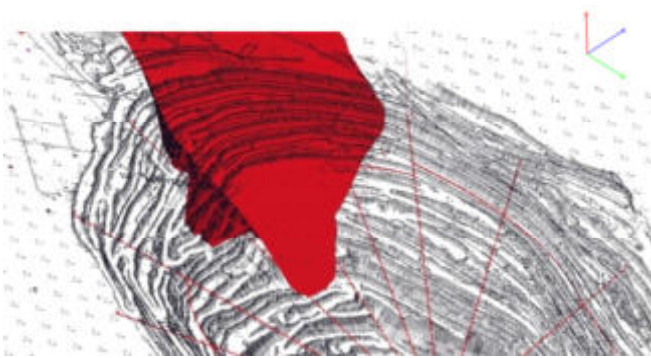
Рисунок 4 – Залежність коефіцієнта структурного ослаблення  $k_c$  породного масиву від величини його фрактальної розмірності при різних значеннях масштабного фактора (1.  $V/V_0=100$ ; 2.  $V/V_0=1000$ ; 3.  $V/V_0=10000$ )

Отримані результати значення коефіцієнта структурного ослаблення для ділянок бортів Ігулецького кар'єру, що розраховані традиційним способом, у порівнянні з використанням методу розрахунків коефіцієнта структурного

ослаблення, який дозволяє врахувати фрактальну розмірність масиву, і уточнити його величину на 5–10%.

Для дослідження впливу підземних виробок на стійкість ділянок бортів кар'єру, на основі вихідної маркшейдерської документації, було виконано побудову цифрових моделей підземних виробок. Отримано кількісну величину порушеності масиву гірських порід в межах впливу шахти, виконана прив'язка зон впливу шахти до положення гірничих робіт у кар'єрі. Побудова 3D моделі дозволила провести районування кар'єрного поля по фактору впливу шахти і прийняти його як один з факторів для розрахунків інтегрального показника стійкості борту кар'єру (рис. 5.а). Враховувати вплив шахтних виробок на стійкість борту кар'єру протягом усього періоду його відпрацьовування, як при проектуванні, так і при поточному обслуговуванні гірничих робіт (рис. 5.б).

а)



б)

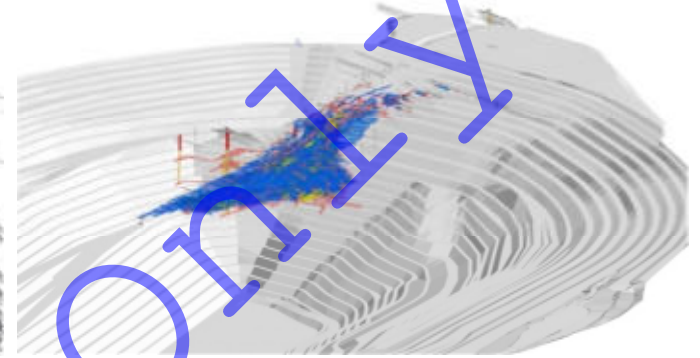


Рисунок 5 – 3D модель виробок шахти «Центральна» та Інгулецького кар'єру з: а) мульдою зрушення; б) положення виробок на кінець відпрацювання родовища.

Для розрахунків стійкості бортів кар'єру з урахуванням зон воронкоутворення пропонується використовувати рівняння наступного виду:

$$\eta_3 = \eta'_3 - \frac{\sum_{i=1}^N C_i S_i}{\sum_{i=1}^N V_i \gamma_i} K_{HP} / 100\%, \quad (6)$$

де  $\eta_3$  – коефіцієнт запасу стійкості борту кар'єру з урахуванням ступеня його порушеності вторинним воронкоутворенням, частки од.;  $C_i$  – усереднене значення молекулярного зчеплення гірських порід по  $i$ -му розрахунковому блоку, Па;  $S_i$  – площа поверхні ковзання  $i$ -го розрахункового блоку, м<sup>2</sup>;  $\eta'_3$  – коефіцієнт запасу стійкості борту кар'єру не порушеного вторинним воронкоутворенням, частки од.;  $V_i$  – об'єм  $i$ -го розрахункового блоку, м<sup>3</sup>;  $\gamma_i$  – усереднена об'ємна вага гірських порід в  $i$ -му розрахунковому блоці, Н/м<sup>3</sup>;  $n$  – число розрахункових блоків.  $K_{HP}$  – коефіцієнт порушеності масиву.

Розглянутий спосіб недостатньо точний для врахування порушеності масиву в розрізі, а не в об'ємі. Для усунення даної неточності пропонується його вдосконалення за рахунок переходу до просторової порушеності масиву гірських порід за наявними даними про положення мульди зрушення. Коефіцієнт

порушеності визначається з відношення площ порушеної і загальної площі сектору борту:

$$K_{HP} = \frac{S_m}{S_c} \cdot M \cdot 100\%, \quad (7)$$

де,  $S_m$  – площа мульди зрушення в розглянутому секторі борту,  $m^2$ ;  $S_c$  – площа розглянутого сектору борту,  $m^2$ ;  $M$  – вплив коефіцієнту порушеності масиву, прив'язаний до певної зони мульди зрушення, для зони воронкоутворення даний коефіцієнт дорівнює 1, для зони тріщин і терас 0,5, а для зони плавних зрушень 0,25.

На основі розрахунку поправок до кута нахилу борту кар'єру, за рахунок впливу фактору об'ємності на стійкість укосів, встановлено, що він розподілен нерівномірно по периметру кар'єру. Найбільше значення поправки  $\Delta\alpha$  до кута нахилу борту кар'єру  $\alpha$ , при розрахунку об'ємності становить до  $1,72^\circ$ . Таке значення досягається на ділянках північно-західного і південного бортів. На рис. 6(а) наведені значення поправок  $\Delta\alpha$  в залежності від кута нахилу борту кар'єру при відношенні радіусу кривизни борту ( $R$ ) до його висоти ( $H$ ). Інший характер має взаємозв'язок поправки до результуючого кута нахилу борту за рахунок об'ємності по відношенню до  $R/H$  (рис. 6.б).

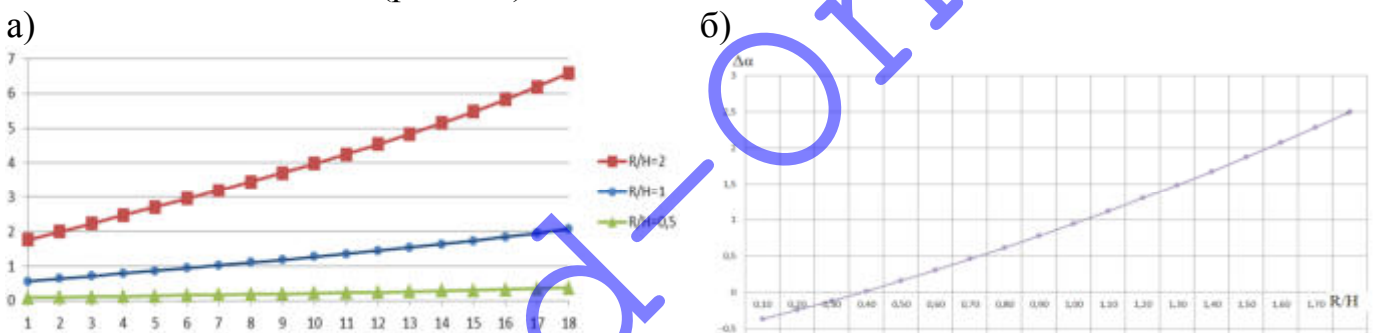


Рисунок 6 – Залежність зміни поправки  $\Delta\alpha$ : а) до результуючого кута нахилу борту кар'єру  $\alpha$ ; б) кута нахилу борту кар'єру при  $\alpha=30^\circ$ .

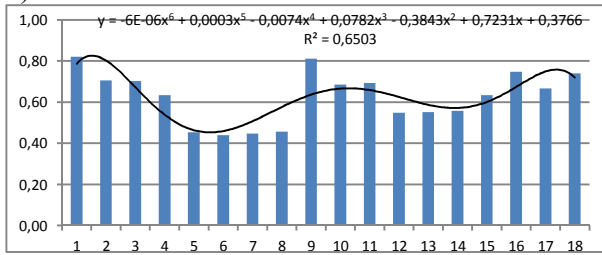
У четвертому розділі приводяться результати промислово-технологічного впровадження досліджень на базі кар'єру ПрАТ «ІнГЗК». Розглянуто особливості геологічної будови родовища, стратиграфія родовища та його гідрогеологічні умови.

На першому етапі обчислення інтегрального показника було виконано зведення діапазону мінливості факторів до єдиної шкали і отримано розподілення значення кожного розглядаемого фактору в межах кар'єрного поля.

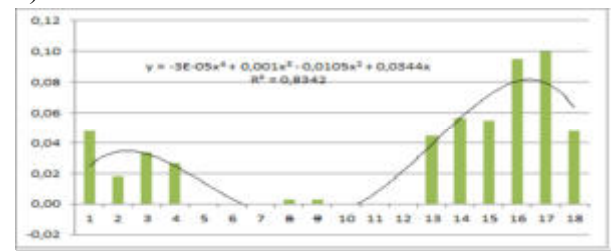
На другому етапі по виділених перерізах були визначені числові значення кожного з п'яти факторів, прийнятих до розгляду і побудовано графіки розподілення факторів по зонах кар'єру, визначено значення мінливості фактору відповідно до (рис. 7).

Для розрахунку значень інтегрального показника, який характеризує стан гірського масиву, на основі попередніх досліджень на об'єкті встановлюється вага факторів в залежності від інтенсивності та значимості (для стійкості) їх впливу на масив. Усі фактори, які включаються до схеми оцінки у сумі складають 100%, і кожний з них має свою вагову величину.

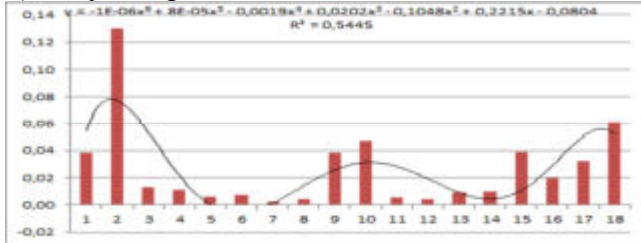
а) стійкість



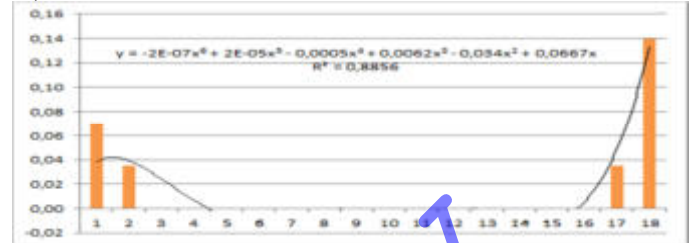
б) об'ємність



в) вибухові роботи



г) вплив шахти



д) тріщинуватість

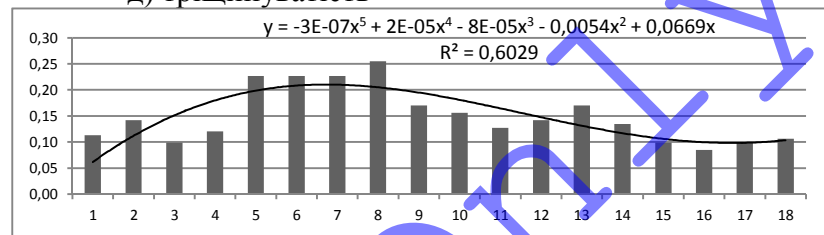


Рисунок 7 – Графіки розподілення числових значень показника для кожного фактору

Відсоток впливу кожного фактору визначається окремо, ґрунтуючись на зміні коефіцієнту запасу стійкості (без урахування порушеності масиву) до коефіцієнту запасу стійкості, що враховує вплив розглядаємого фактору на загальну стійкість масиву гірських порід (8).

$$\Phi = \frac{\eta_c - \eta_\phi}{\eta_c}, (\%) \quad (8)$$

де  $\eta_c$  – коефіцієнт запасу стійкості;  $\eta_\phi$  – коефіцієнт запасу стійкості з урахуванням дії фактору.

За результатами досліджень розроблені рекомендації по організації маркшейдерських спостережень за станом бортів залізородного кар'єру, виділені найбільш нестійкі райони кар'єрного поля.

На основі проведених досліджень, для умов Інгулецького кар'єру, фактори отримали наступне розподілення ваги: 1. – розрахунковий показник стійкості – 63%; 2. – кривизна борту кар'єру в плані – 5%; 3. – буро-вибухові роботи – 8%; 4. – вплив шахтних виробок – 7%; 5. – тріщинуватість порід – 17%.

На завершальному етапі по кожному з перерізів було отримано інтегральний показник. Усі фактори розділені на 2 групи: позитивні та негативні. До позитивних факторів впливу відносяться фактор стійкості та фактор об'ємності. До негативних відносяться: фактор впливу БВР, вплив виробок шахти «Центральна» та тріщинуватість порід. Для зон визначено значення та виконано розподілення ступеню впливу кожного фактору (рис. 8).

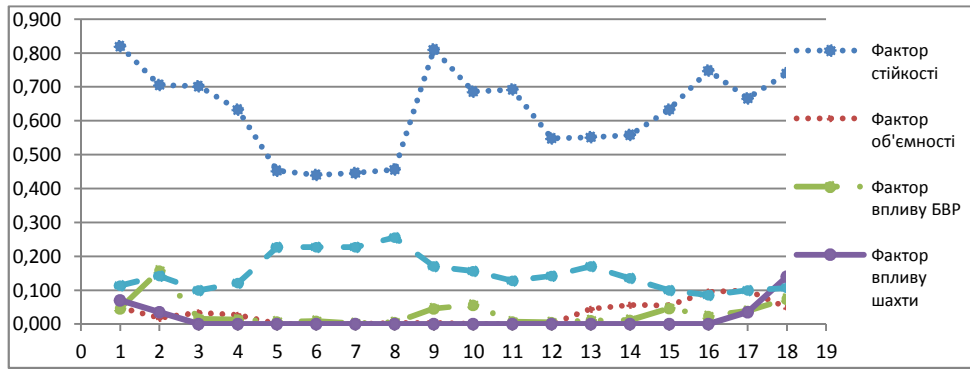


Рисунок 8 – Розподілення значень впливу факторів для умов Інгулецького кар'єру

Математично інтегральний показник  $P_i$  розраховується за формулою:

$$P_i = \sum_{j=1}^n \delta_j \times a_{ij} C_j, \quad (9)$$

де  $n$  – кількість факторів;  $i$  – номер перерізу;  $0 \leq a_{ij} \leq 2$  – числове значення  $j$ -го фактору для  $i$ -го перерізу;  $C_j$  – вага  $j$ -го фактору;  $\delta_j = \pm 1$  в залежності від напрямку дії фактору. Далі знаходимо максимально можливе теоретичне значення інтегрального показника  $P_i$  для умов розглядаємого кар'єру. Провівши розрахунок, виконуємо районування кар'єру за інтегральним показником виконано (рис. 9).

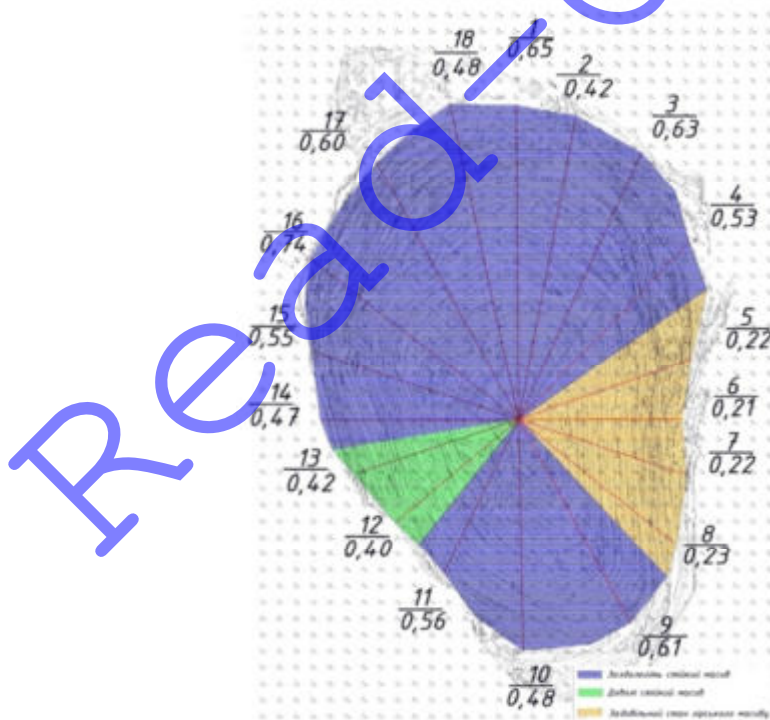


Рисунок 9 – Зведений інтегральний показник для секторів Інгулецького кар'єру

Для проведення аналізу отриманого районування приймаємо, що у випадку, коли значення інтегрального показника більше або дорівнює 50% від максимально теоретично можливого (0,8325), тобто 0,42 і вище, це характеризує заздалегідь стійкий стан масиву. При значеннях  $P_i$  в інтервалі від 50 до 30 % (0,42–0,25) від



максимального, стан масиву можна охарактеризувати як «доволі стійкий», задовільний стан досягається при значеннях  $P_i$  у діапазоні 10–30% (0,25–0,08), значенням  $P_i=(0,08 - 0,04)$  характеризується небезпечний стан гірського масиву. При значеннях  $P_i < 0,04$  стан масиву класифікується як «критичний». За даними рис.9 інтегральні показники  $P_i$  знаходяться в зоні: задовільних (перерізи 5,6,7,8), доволі стабільних (перерізи 12,13,14) та стабільних значень (1–4,9-11,15–18). В середньому значення інтегрального показника відрізняється від коефіцієнту запасу стійкості (КЗС) на 6-15%, але у секторах де ведеться інтенсивне розкриття нових горизонтів, що впливає на порушеність прибортового масиву, ця різниця може становити і значно більше. Для умов Інгuleцького кар'єру такими ділянками стали: 1,2,9,18 сектори. Але ці ділянки перебувають у стійкому стані і не представляють загрози з приводу виникнення на них деформаційних процесів.

За результатами проведеного дослідження розроблені наступні рекомендації: у місці розташування профілю 6 підвищену увагу приділити забезпеченню загальної стійкості борту кар'єру, для профілю 1 при виборі параметрів борту кар'єру доцільно врахувати наявний резерв стійкості за рахунок фактору об'ємності, а для профілю 7 при веденні БВР необхідно максимально забезпечити захист законтурного масиву. Для профілю 5 має місце найбільш негативний вплив підземних виробок. Підвищена тріщинуватість порід обумовлюють можливість прояву локальних деформаційних процесів на ділянках 6 та 7. З точки зору маркшейдерських спостережень, підвищену увагу слід приділити південно-східній ділянці кар'єру, де розташовані перерізи 5–8.

На основі даних досліджень, в роботі приведені рекомендації по організації маркшейдерських спостережень за станом бортів Інгuleцького кар'єру.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, у якій вирішена нова актуальна наукова задача, що полягає у визначенні закономірностей впливу стійкості, тріщинуватості, фактор впливу буро-вибухових робіт, фактору впливу шахти, фактору об'ємності на стійкість борту кар'єру і розробці методу комплексної оцінки стану бортів глибоких кар'єрів, в основу якого покладено районування кар'єрного поля та проведення багатфакторного аналізу, результатом якого є інтегральний показник стану ділянки борту кар'єру, розробці на цій базі науково обґрунтованої методики районування кар'єрного поля та рекомендацій з удосконалення організації системи маркшейдерського моніторингу за станом стійкості бортів кар'єру, що дозволяє підвищити безпеку і економічну ефективність при відпрацюванні глибоких кар'єрів.

Виконані в роботі дослідження, аналіз і узагальнення одержаних результатів дозволяють зробити основні наукові висновки і рекомендації.

1. На основі аналізу досліджень з питання визначення стійкості бортів кар'єрів встановлено, що факторами, які впливають на стійкість бортів залізородних кар'єрів є: базова стійкість масиву, об'ємна геометрія кар'єру, вплив підземних виробок та відпрацьованого простору, буро-вибухові роботи, тріщинуватість.

2. Вперше встановлена закономірність між коефіцієнтом структурного ослаблення та фрактальною розмірністю тріщин в залежності від масштабного ефекту зображення, так при масштабному ефекті 1:100 і шагом росту фрактальної

розмірності у 0,05, відповідний йому коефіцієнт структурного ослаблення буде зменшуватись у 1,26 разів, при масштабному ефекті 1:1000 у 1,41 рази, і при 1:10000 у 1,58 рази.

3. Використання методів фрактальної геометрії дозволило розробити алгоритм розрахунку коефіцієнту структурного ослаблення з урахуванням фрактальної розмірності структурних порушень.

4. Вперше встановлено, що коефіцієнт запасу стійкості бортів кар'єрів знаходиться в поліноміальній багатофакторній залежності від стійкості, тріщинуватості, фактор впливу буро-вибухових робіт, фактору впливу шахти, фактору об'ємності, так при значеннях інтегрального показника в інтервалі від 50 до 30 % від максимально можливого, стан масиву можна охарактеризувати як «доволі стійкий», задовільний стан досягається при значеннях у діапазоні 10–30%, значенням інтегрального показника нижче 10% характеризують небезпечний стан гірського масиву.

5. Розроблена і впроваджена методика районування кар'єрного поля, яка дозволяє описати числові значення різнопланових факторів в уніфікованому виді та звести їх в інтегральний показник стану гірського масиву. Розроблена методика дозволяє уточнити базовий показник стійкості на 6–15 %.

6. На основі районування кар'єрного поля та проведених досліджень з визначення інтегрального показника для умов Інгuleцького кар'єру, розроблені рекомендації з виявлення потенційно небезпечних ділянок кар'єрного поля та визначено значення інтегрального показника, які характеризують «стійкий», «доволі стійкий», «задовільний» та «небезпечний» стан ділянки борту кар'єру.

7. Результати дисертаційної роботи впроваджені на ПрАТ «ІнГЗК», ПрАТ «ЦГЗК», ПрАТ «Полтавський ГЗК» та у роботах «КП «Акадимічний дім». При впровадженні досягнуто неявиного економічного ефекту, який полягає у підвищенні безпеки при веденні гірничих робіт.

#### **Основний зміст дисертації викладено у таких публікаціях:**

Науково періодичні видання, які включені до міжнародних наукометричних баз.

1. Романенко А.А., Болотников А.В., Несмашный Е.А., Устойчивость борта Глееватского карьера, подработанного подземными горными выработками, при расширении его границ // *Металлургия и горнорудная промышленность* 2013 №3. С. 76–79.

2. Романенко А.А., Комплексный прогноз устойчивости бортов глубоких карьеров // *Промышленность Казахстана* 2016. №6 (98). С. 76-78.

Фахові науково-періодичні видання:

3. Романенко А.О., Несмашный Е.А., Ткаченко Г.І., Використання фізичних процесів при вирішенні гідрогеологічних проблем глибоких залізородних кар'єрів // *Вісник КТУ: зб. наук. праць / м-во освіти і науки України, КНУ. Кривий Ріг, 2010. Вип. 26 С. 11-15.*

4. Романенко А.А., Болотников А.В., Романенко А.В. Разработка методики прогнозирования устойчивости открытых горных выработок с учётом их деформаций // «Вісник Криворізького Технічного Університету», зб. наук. праць Кривий Ріг: КТУ, 2011. Вип. №28. С. 85-89.

5. Романенко А.А. Оценка методов наблюдений горных выработок шахты «Центральная» на устойчивость северного борта карьера ПАО «ИнГОК». Вісник Криворізького Національного Університету, зб. наук. праць Кривий Ріг: КНУ, 2012. вип. №31. С. 35.
6. Романенко А.О. Районування кар'єрного поля по фактору тріщинуватості з використанням GNSS-технологій // Вісник Криворізького національного університету, зб. наук. праць. Кривий Ріг: КНУ, 2013. №34. С. 257-260.
7. Романенко А.О. Шолох М.В. Оцінка процесу зрушень гірського масиву в зоні суміжних гірничих робіт // Строительство, материаловедение, машиностроение, сб. научн. трудов, серия: Энергетика, экология, компьютерные технологии в строительстве. Дн-вск, ПГАСА, 2013г. №70 С. 257-262.
8. Романенко А.О. Районування кар'єрного поля за фактором стійкості // Екологія і природокористування, зб. наук. праць Дн-вск, 2013. Вип.17 С. 152-157.
9. Романенко А.О. Оцінка впливу БВР на стійкість масиву при відпрацюванні родовищ відкритим способом // Строительство, материаловедение, машиностроение, сб. научн. трудов, серия: Энергетика, экология, компьютерные технологии в строительстве. Дн-вск., ПГАСА, 2013. вып. № 71 том 2, С. 163-167.
10. Романенко А.О. Шолох М.В. Розроблення методу комплексної оцінки стану масиву кар'єру // Строительство, материаловедение, машиностроение, сб. научн. трудов, серия: Энергетика, экология, компьютерные технологии в строительстве. Днвск, ПГАСА, 2014 вып. №76 С. 307-311.
11. Романенко А. А. Метод сведения безразмерных величин в объединенный интегральный показатель // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. Трудов, серия: Энергетика, экология, компьютерные технологии в строительстве. Дн-вск, ПГАСА, 2015 Вып. 84 С.177-180.
12. Романенко А. А. Оценка вариации значений интегрального показателя и коэффициента запаса устойчивости бортов глубоких карьеров // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. Трудов, серия: Энергетика, экология, компьютерные технологии в строительстве. Дн-вск, ПГАСА, 2016. Вып. 92. С.109-113.
13. Романенко А.О., Шолох М.В. Визначення ваги факторів різної природи, які впливають на стан гірського масиву // Збірник наукових праць Науково-дослідного гірничорудного інституту Державного вищого навчального закладу Криворізький національний університет, 2015. №55. С. 237-246.
14. Романенко А.А., Болотников А.В. Анализ и систематизация методов оценки устойчивости бортов карьеров // Вісник Криворізького національного університету, зб. наук. праць. Кривий Ріг: КНУ. 2017. №44. С. 188-193.
15. Романенко А.О. Порівняння інтегрального показника і коефіцієнта запаса стійкості бортів кар'єру // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2018. №5. 83-88с.
16. Романенко А.О., Кушнір Є.Г., Остапчук А.О. Оцінка тріщинуватості гірського масиву через метод визначення фрактальної розмірності тріщин // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2019. №5. С.83-103.
17. Романенко А.О. Виділення факторів та їх параметрів для проведення оцінки стійкості бортів Глеюватського кар'єру // Сучасні ресурсоенергозберігаючі

технології гірничого виробництва. 2019. №1. С. 28-38.

### **Особистий внесок автора в роботи, опубліковані у співавторстві,**

[1] робота з літературними джерелами, формулювання мети, ідеї та висновків дослідження; [3,4] Розроблені основні поняття методики прогнозування гірничих виробок з урахуванням їх деформацій, розглянуті існуючі методи врахування деформацій при визначенні стійкості борту кар'єру. [5] Постановка задачі дослідження, аналіз проблеми та робота з літературними джерелами. [8] Викладено основні результати досліджень з визначення впливу фактору буро-вибухових робіт, на стійкість ділянок бортів кар'єру. [11] Викладено основні положення розробленого методу з приведення безрозмірних величин до об'єданого інтегрального показника. [16] Формулювання мети, ідеї дослідження, наведення основних результатів дослідження тріщинуватості та розробка методу для визначення фрактальної розмірності тріщин по фотознімкам ділянок бортів кар'єру.

### **АНОТАЦІЯ**

Романенко А.О. комплексна оцінка стану масиву гірських порід при відпрацюванні залізрудних кар'єрів

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – Геотехнічна і гірнича механіка, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Дніпро, 2021.

Дисертація присвячена розробленню комплексного методу оцінки стану гірського масиву при відпрацюванні родовищ залізистих кварцитів відкритим способом.

На основі аналізу наукових підходів і методів оцінки стійкості бортів залізрудних кар'єрів встановлено, що на сучасному етапі розв'язання задачі оцінки стану масиву не враховує весь комплекс факторів, що мають на нього вплив.

Основною метою роботи є встановлення закономірностей та обґрунтування параметрів інтегрального показника при розробці методики комплексної оцінки стану гірського масиву для підвищення достовірності визначення потенційно небезпечних ділянок кар'єрного поля.

Для досягнення вищезазначеної мети запропоновано комплексний багатофакторний підхід для оцінки стану бортів кар'єру, оснований на районуванні кар'єрного поля, розроблено інтегральний показник для оцінки стану ділянки борту кар'єру, який дозволяє виявити найбільш потенційно небезпечні ділянки за досліджуваними факторами, проведена систематизація основних факторів, що обумовлюють ступінь стійкості масиву.

Практичне значення представленої дисертаційної роботи полягає у розробці методики районування кар'єрного поля за основними факторами, які обумовлюють стійкість відкосів. Застосування запропонованого багатофакторного підходу до оцінки стану гірничого масиву, дає змогу проводити безпечну та ефективну розробку родовищ корисних копалин на значних глибинах. На основі використання методів фрактальної геометрії розроблено метод розрахунку коефіцієнту структурного ослаблення з урахуванням фрактальної розмірності структурних порушень. За

результатом розрахунку коефіцієнту структурного ослаблення масиву для бортів Інгулецького кар'єру вдалось уточнити його величину на 5–10%. Як результат комплексного проведення досліджень були розроблені рекомендації по вдосконаленню організації системи маркшейдерських спостережень.

Результати роботи пройшли випробування на Інгулецькому гірничозбагачувальному комбінаті та в кар'єрі №1 ПРАТ «ЦГЗК», прийняті до застосування відповідними службами комбінатів.

**Ключові слова:** кар'єр, стійкість, гірський масив, районування, зрушення, факторний аналіз.

## АННОТАЦИЯ

Романенко А.А. Комплексная оценка состояния массива горных пород при отработке железорудных карьеров

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности – 05.15.09 Геотехническая и горная механика, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Днепр, 2021.

Диссертация направлена на разработку комплексного метода оценки состояния горного массива при отработке месторождений железистых кварцитов открытым способом.

На основе анализа научных подходов и методов оценки устойчивости бортов железорудных карьеров установлено, что на современном этапе решения задачи оценки состояния массива не учитывает весь комплекс факторов, имеющих на него влияние.

Основной целью работы является установление закономерностей и обоснование параметров интегрального показателя при разработке методики комплексной оценки состояния горного массива для повышения достоверности определения потенциально опасных участков карьерного поля.

Для достижения этой цели предложен комплексный многофакторный подход для оценки состояния бортов карьера, основанный на районировании карьерного поля по комплексу факторов, разработан интегральный показатель к оценке устойчивости участков бортов карьера, который позволяет определить наиболее потенциально опасные участки за исследуемыми факторами, проведенная систематизация основных факторов, которые обуславливают степень устойчивости массива.

Практическое значение представленной диссертационной работы состоит в разработке методики районирования карьерного поля по основным факторам, которые обуславливают устойчивость откосов. Применение предложенного многофакторного подхода к оценке устойчивости горного массива, дает возможность проводить безопасную и эффективную отработку железорудных карьеров на значительных глубинах. На основе использования методов фрактальной геометрии разработан метод расчета коэффициента структурного ослабления с учетом фрактальной размерности структурных нарушений. По результатам расчета коэффициента структурного ослабления массива для бортов Ингулецького кар'єра удалось уточнить его величину на 5–10%. В результате комплексного проведения

исследований были разработаны рекомендации по совершенствованию организации системы маркшейдерских наблюдений.

Результаты работы прошли испытание на Ингулецком горнообогатительном комбинате и в карьере №1 ЧАО «ЦГОК», приняты к применению соответствующими службами комбинатов.

**Ключевые слова:** карьер, устойчивость, горный массив, районирование, сдвигение, факторный анализ.

## SUMMARY

Romanenko A.A. Comprehensive assessment and justification of statement rock massif parameters during the development of deep iron pit

The dissertation on competition of a scientific degree of Cand. Tech. Sci. on specialty – 05.15.09 Geotechnical and mining mechanics. Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Polyakov, Dnipro, 2021.

The dissertation directed on research the complex method to prognoses slope stability of ferruginous quartzite massif.

On the basis of the analysis of scientific approaches and methods of assessing the stability of bits of iron ore quarries, it is established that at the present stage of the solution of the problem of estimating the state of an array does not take into account the whole complex of factors having an influence on it.

The main goal of the work is to establish regularities and substantiate the parameters of the integral indicator to developing a methodology for a comprehensive assessment of the state of a rock mass in order to increase the reliability of identifying potentially hazardous areas of a pit field.

For achievement of the abovementioned purpose integrated multiplefactor approach for an assessment of a slope stability, based on division into districts of a career field by a offered factors, the integral result that developed for an assessment of pit boards sections stability that allows to define most potentially dangerous sections behind the researched factors. Carriedout systematization of pacing factors that cause a level of stability of an array, with determination each of them specific weight.

Practical importance of the presented dissertation work consists in development of a technique of division into districts of a quarry field behind major factors which cause stability of slopes. Application of the offered multiplefactor approach to an assessment of a status of a massif, gives the chance to carry out safe and effective development of mineral deposits at the considerable depths. On the basis of fractal geometry methods use, a method of calculating the coefficient of structural weakening is developed, taking into account the fractal dimension of structural disturbances. As a result of calculating the coefficient of structural weakening of the array for the Ingulets pit, it was possible to specify its value by 510%. As a result of complex research, recommendations were developed to improve the organization of mine surveying observations.

Results of work passed test in Ingulets pit and quarry №1 in PJSC «CGOK» and have been accepted for provide as application by the relevant groups of service.

**Keywords:** pit, slope stability, massif, division into districts, movements of rock, factor analysis.

Романенко Андрій Олександрович

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СТАНУ  
МАСИВУ ГІРСЬКИХ ПОРІД ПРИ РОЗРОБЦІ ГЛИБОКИХ ЗАЛІЗОРУДНИХ  
КАР'ЄРІВ

(Автореферат)

Підписано до друку 12.04.21. Формат 60x90/16

Гарнітура Times. Друк різнографічний.

Папір офсетний. 1,1 умов. друк. арк.

Тираж 150 прим. Зам. № 15

Друкарня «Гелиос-Принт»

Україна, Дніпропетровська область, Кривий Ріг, вул. Пушкіна, 2, 50000