

УДК 550.834

А. О. РОМАНЕНКО, канд. техн. наук, маркшейдер кар'єру,
ПРАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат»
В.Д. СИДОРЕНКО, д-р техн. наук, проф.,
Криворізький національний університет

ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІРСЬКИХ ПОРІД ПО СЕЙСМІЧНИХ СИГНАЛАХ ТА ВИЯВЛЕННЯ МІКРОРУЙНУВАНЬ МАСИВУ ГЛЕЮВАТСЬКОГО КАР'ЄРУ

Метою досліджень є визначення оптимальних частотних діапазонів та чутливості сейсмотатчиків, що необхідні для виконання замірів фізичних параметрів стану гірського масиву та провести дослідження, спрямовані на виділення мікросейсмічних подій в межах досліджуваної ділянки. У статті розглядаються напрямки напрацювань відомих українських вчених в галузі сейсмічного контролю стану масиву та звукометричних методів для визначення фізико-механічних властивостей гірських порід, що займалися питаннями мікросейсмічного та розглядається можливість визначення щільності та пружності гірських порід за допомогою аналізу мікросейсмічних сигналів.

Методи використовувались при виконанні досліджень наступні: для збору і аналізу звукової інформації та вивчення стану та характеристик гірничого масиву використано методи акустичної емісії, що полягає в зборі звукових сигналів, які виникають в результаті деформації гірничого масиву; сейсмічні методи, які використовують збір звукових сигналів, що виникають в результаті сейсмічних подій, таких як землетруси, для вивчення структури та характеристик гірничого масиву; метод зондування (розміщення зонду в межах ділянки дослідження), для збору звукових сигналів, які виникають у гірничому масиві, що дозволяє вивчати структуру та характеристики гірничого масиву.

Наукова новизна статті полягає у виборі оптимальних технічних параметрів для сейсмотатчиків та визначенні частотних діапазонів для проведення досліджень в Глеюватському кар'єрі. Розробка алгоритму ідентифікації явищ та параметрів вибіркового технологічних процесів дає можливість оцінювати напружено-деформований стан гірського масиву.

Практичне значення отриманих результатів полягає в отриманні оптимальних параметрів технічного обладнання для мікросейсмічного контролю гірських порід в кар'єрах, що дозволяє підвищити ефективність виробництва та зменшити ризик аварій через оцінку напружено-деформованого стану гірського масиву.

Результати по статті включає: визначені оптимальні параметри сейсмотатчиків та частотний діапазон для досліджень сейсмічних подій в Глеюватському кар'єрі, а також плани щодо детальної класифікації явищ та розроблення алгоритму їх ідентифікації.

Ключові слова: звукометрія, кар'єр, сейсміка, явища, мікросейсми, сейсмореєстратор, гірські породи.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-56-139-143

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Вивчення фізико-механічних властивостей гірських порід та їх змін у процесі експлуатації кар'єрів та рудників є важливим завданням в гірничій промисловості. Один із способів вивчення цих властивостей полягає у використанні сейсмічних методів, які дозволяють отримувати інформацію про структуру та механічні властивості гірських порід шляхом аналізу сейсмічних сигналів.

У даній статті розглядається проведення досліджень з визначення фізико-механічних властивостей гірських порід на прикладі масиву Глеюватського кар'єру. В результаті досліджень були зібрані та оброблені дані про сейсмічні сигнали, отримані за допомогою спеціальних пристроїв, які були встановлені на поверхні та внутрішній частині масиву.

Аналіз досліджень і публікацій. Звукометричні та сейсмічні дослідження гірських масивів є актуальною та складною проблемою для науковців у багатьох галузях, включаючи геологію, геофізику та геотехніку. За останні десятиліття значні зусилля були спрямовані на розробку нових методів вимірювання та аналізу даних з цих досліджень. Серед найвизначніших науковців, що займалися цими питаннями, можна згадати імена таких дослідників, як Джон А. Хадден, Міккель Х. Фабер, Жан-Жак Рінджер, Ян М. Мюллер та багатьох інших. Їх внесок у розвиток знань про гірські масиви та їхні властивості неоціненний, а їхні досягнення та методи дослідження досі є актуальними для сучасних наукових досліджень.

Серед сучасних дослідників додатково хочу відзначити українських вчених, що займалися розв'язанням задач, пов'язаних з сейсмічними та звукометричними дослідженнями: Хмелевський Г.О. професор з інституту гірничого та нафтогазового машинобудування Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Займався дослідженнями використання звукометричних методів для визначення фізико-механічних властивостей гірських порід та виявлення мікроруйнувань [1,2]. Ільченко А.О. провідний науковий співробітник з Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна Національної академії наук України. Досліджує використання сейсмічних методів для вивчення структури та динаміки гірських масивів [3,4].

Постановка задачі – визначити оптимальні частотні діапазони та чутливість сейсмоматчиків, що необхідні для виконання замірів фізичних параметрів стану гірського масиву та провести дослідження, спрямовані на виділення мікросейсмічних подій в межах досліджуваної ділянки.

Викладення матеріалу та результати досліджень. Такі параметри мікросейсмічних сигналів, як швидкість розповсюдження хвиль, частота сигналу мікросейсми і частота сигналу явища формуються фізико – механічними якостями породи, а саме модулем пружності та щільністю породи ((закон Бйорча, криві Нейфа – Дрейка). Звідси, по результатах неруйнівного, чи дистанційного контролю можливо вирішувати як пряму, так і зворотну задачі поточного визначення пружності і щільності породи [5-7]. Більш того, наприклад, наявність двох частот в сигналі мікросейсми вказує, що вимірювальний зонд розташований біля границі рудного тіла і масиву вміщуючих порід. Наявність одної частоти по координаті X і двох частот по координаті Y вказує, що границя розділу двох середовищ (наприклад рудного тіла і вміщуючої породи) знаходиться по координаті Y. Частота сигналу мікросейсми залежить від рівня і напрямку напруги. Частіше більша частота по координаті Z (рис. 1), вказує на більшу напругу в вертикальному напрямку – тиск налягаючих порід.

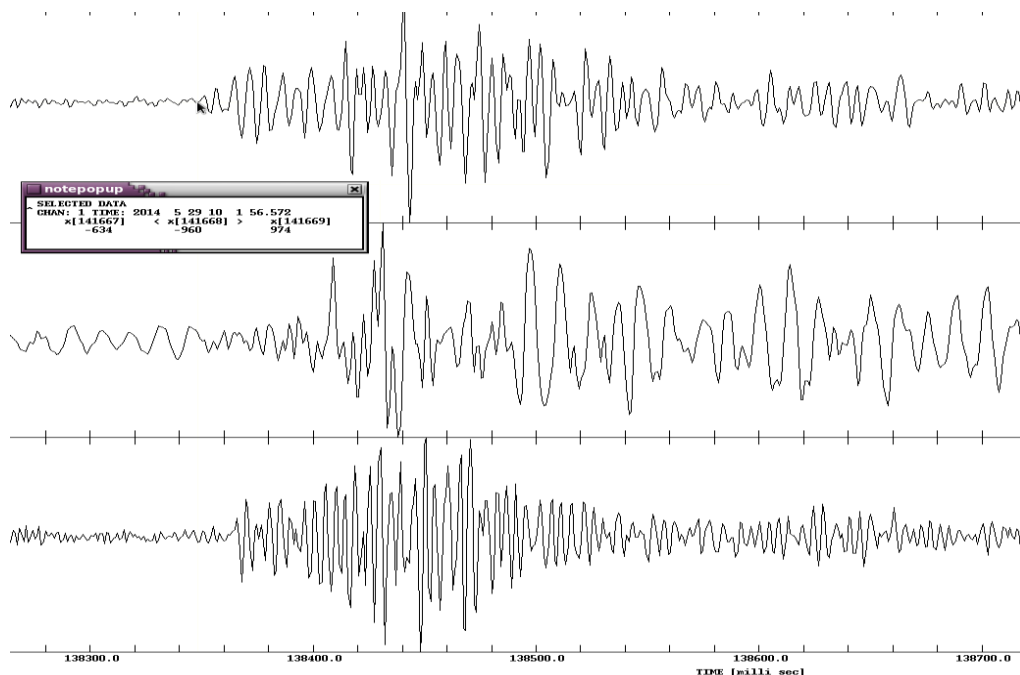


Рис. 1. Приклад сигналу мікросейсми з більшою частотою по координаті Z, що вказує на більшу напругу в вертикальному напрямку

По співвідношеннях щільностей і пружностей, зазвичай вища частота відповідає коливанням в скельному масиві вміщуючих порід, а нижча коливанням в рудному тілі. На жаль, навіть в найбільш докладних довідниках [8] для кожного родовища і покладу вказана щільність і міцність порід і в більшій частині відсутні дані про пружність, що зумовлює труднощі в використанні результатів дистанційного контролю. Кореляція між модулем пружності і міцністю по М.М. Протод'яконову доволі низька. Відповідно низька кореляція і між частотою мікросейсми і міцністю. А в інженерних розрахунках здебільшого використовується міцність по М.М. Протод'яконову. Це зумовлює деякі труднощі у використанні результатів вимірювання фізико-механічних властивостей гірських порід по сигналу мікросейсми.

Тим не менш в [9] обґрунтована теоретична залежність, яка зв'язує напруження скельного масиву з амплітудою резонансу спектральної щільності частоти коливань масиву, резонансною частотою, чистотою (достовірністю) отриманого сигналу, швидкістю осциляції скельного масиву і щільністю масиву, а в [10-12] обґрунтована теоретична залежність модулю пружності і щільності породи масиву від показників спектральної щільності сигналу мікросейсми. Залежності отримані як для модулю вектору, так і окремо по трьох координатах.

Як видно з розділу, тільки по сигналу мікросейсми можливо визначати щільність і пружність середовища, рівень і напрямок напруження, наявність і напрямок границі розділу двох середовищ. І цю інформацію можливо одержувати з сейсмореєстраторів додатково до основної інформації про мікросейсмічну активність. Без залучення додаткового апаратного ресурсу. На основі програмної обробки сигналу вимірювального каналу наявного сейсмореєстратора. В разі потреби таких даних, додатково потрібні тільки алгоритми і програмне забезпечення відповідної обробки.

На сейсмограмах чутливих датчиків завжди є слабкі сигнали, що складаються з випадкового сейсмічного шуму і квазістаціонарних коливань. Природні мікросейсмічні шуми присутні як на поверхні Землі, так і на нижніх горизонтах шахт, що з'являються на сейсмічних записях у вигляді постійно спостережуваних коливань.

Інтенсивність сейсмічного шуму може сильно змінюватися, а може бути і не помітна на сейсмограмах через маскування більш потужними техногенними шумами. При дослідженні геомеханічних явищ в межах кар'єрного поля, випадкова складова більше обумовлена шумом, проведенням технологічних процесів та роботою механізмів і транспорту.

Вплив техногенних шумів можливо зменшити розташуванням вимірювальних зондів і самих станцій. Нерегулярні сейсмічні події, такі як віддалене руйнування гірських порід, представлені на записях досить контрастними сплесками. Для контролю руйнування гірських порід і призначені сейсмічні станції - це корисні інформативні сигнали. Третім компонентом є квазістаціонарні коливання, присутні скрізь і завжди. Ці постійно присутні коливання називаються мікросейсмами Землі або коротко мікросейсмами.

Для проведення досліджень спеціалізованим обкладенням, чутливі сейсмодатчики були вибрані, основується на чотирьох найбільш важливих критеріях: вимірюваній фізичній величині, частотним діапазоном, чутливістю і розмірами.

Вимірювана фізична величина. Інтенсивність сейсмічних коливань може вимірюватись величиною зрушення, м; швидкості, м/с; прискорення, м/с². В зв'язку зі складністю практичної реалізації, вимірювання зрушень в реальних промислових умовах, цей метод не використовується. Вимірювання як швидкості, м/с; так і прискорення, м/с² сейсмічних коливань мають свої позитивні сторони і недоліки.

Зважаючи на реальні умови проведення досліджень, вимірювання в спостережних свердловинах, з опусканням зонду на глибину до 200м, вимагає використання датчиків і зондів в цілому, які не потребують точної орієнтації в просторі. Такими датчиками є п'єзоелектричні акселерометри, що вимірюють прискорення сейсмічних коливань.

Таким чином, за основний спосіб прийнято вимірювання прискорення сейсмічних коливань із спостережних свердловин.

На випадок необхідності вимірювань в місцях, де відсутні спостережні свердловини рекомендується вимірювати швидкість сейсмічних коливань з поверхні.

Чутливість сейсмодатчиків. При сучасних апаратних можливостях достатня чутливість вимірювального каналу обмежена амплітудою мікросейсми. При промисловому моніторингу гірських порід шахт і кар'єрів немає сенсу в вимірюванні сигналів менше амплітуди мікросейсми. У той же час, з позиції доцільної дискретизації, амплітуда мікросейсми повинна бути зафіксована у 100-500 одиниць АЦП (аналогу-цифровий перетворювач). Отже, чутливість вимірювального каналу може бути представлена в розмірності (м/с)/од. АЦП чи в (м/с²)/од. АЦП. При ручній "візуальній" обробці записів значущими доцільно приймати тільки сигнали в 3 рази вище, ніж мікросейсми, і при автоматичній обробці принаймні в 10 разів. Тому бажано враховувати не чутливість приладу, а зону (радіус) моніторингу явищ певної сили. Ця зона, на додаток до вище названих коефіцієнтів 3 або 10, визначається рівнем мікросейсми (або іншого порушення відповідної частоти) в точці вимірювання; згасанням коливань, що є власністю масиву і енергією явища. Наприклад, для явищ з ємністю 4 Дж. зона моніторингу становить 100 м, для 40 Дж 400м, а для Масових вибухів в кар'єрі 40 км.

Частотний діапазон. Діапазон частот явищ, що входять до складу інформаційних для спеціалізованих геоінформаційних систем моніторингу напруженого стану масиву гірських порід складається з наступних складових: частота сигналів далеких мікросейсми далеких землетрусів 0,3-1Гц. Частота сигналів, близьких до мікросейсми в шахті становить 25-40Hz. Приклади техногенного шуму частота 8Hz (перфоратор); частота 25Hz (двигун 1500об/хв); -50 Гц (двигун 3000об/хв). Частота сигналів масових вибухів у кар'єрах на відстані 30 км і більше проявляється на частотах близько 16Гц, а на відстані 5-10 км на частотах близько 25Гц. Сигнали тріщиноутворення (найбільш корисна інформація) і очисні вибухи 2-8кг ВВ на відстані 100-400м проявляються на частотах 120-60Гц, іноді бувають сплески спектральної щільності на частотах 180, 250, 300 і менше 350 Гц. Утворення мікротріщин на відстані 20-40 м проявляється на частотах 600-750 Гц. Коливання 0,3-1Hz і 600-700Гц бажано вміти реєструвати, але це не є основною метою геоінформаційної системи.

По результатах досліджень безпосередньо в Глеюватському кар'єрі мікросейсми присутні на частотах від 25 до 66Гц, при середній частоті 38Гц. Явища при вимірюванні на поверхні присутні на частотах від 50 до 360Гц, при середній частоті 102Гц. Явища при вимірюванні в свердловині присутні на частотах від 26 до 33Гц, при середній частоті 31Гц. Відмічається значна різниця частот по різних напрямках вимірювань (в свердловині і шахті в вертикальному напрямі частота вища ніж в горизонтальному за рахунок напружень стискання. В кар'єрі можливо частоти відрізняються вздовж борту і в перпендикулярному напрямку.

Таким чином, для умов Глеюватського кар'єру, з позиції наявних інформативних частот коливань, доцільно мати частотний діапазон вимірювальних каналів 26-360Гц. З позиції використання всього діапазону частот наявних датчиків доцільно мати частотний діапазон вимірювальних каналів 0,5-1000Гц з можливістю фільтрування верхніх чи нижніх частот.

Аналогові передпідсилювачі зазвичай мають значно ширші частотні діапазони. Більша проблема з АЦП, частотою опитування датчиків і відповідно з об'ємами пересилаємої і реєструємої інформації.

В технічній літературі і в аналогах частота опитування (часова дискретизація) датчиків приймається 100-1000 в секунду. Зважаючи на те, що сигнал явища є умовно періодичним через девіацію частоти і через фазові коливання, відрізняється від синусоїдального на коротких відстанях до явища за рахунок накладення на сигнал поздовжніх хвиль, складових заломлення, відбитих і поперечних хвиль, а також такий, що має обмежену тривалість (кількість коливань) часу, він не підкоряється теоремі Котельникова.

Точність відтворення форми напів-періоду несинусоїдального сигналу визначається частотою опитування зондів. Залежно від ступеня спотворення сигналу явища (відмінності від синусоїдальної форми) і повинна обиратися частота опитувань. Досвід обробки сигналів явищ показує, що для мікросейсмічного контролю частота опитування повинна перевищувати в 20 разів основної частоти сигналу і в 10 разів верхню складову сигналу явища. Наприклад, для спектральної щільності сигналу, для головної частоти 60 Гц і верхньої складової 110 Гц необхідна частота 2200 опитувань/с.

Висновки та напрямки подальших досліджень. За результатами досліджень сейсмічних подій в межах Глеюватського кар'єру вибрані оптимальні технічні параметри для сейсмодатчиків та визначені частотні діапазони, які необхідно використовувати при проведенні досліджень.

З досліджень в Глеюватському кар'єрі встановлено, що мікросейсмічні явища спостерігаються на частотах від 25 до 66 Гц, при середній частоті 38 Гц, на поверхні - на частотах від 50 до 360 Гц, при середній частоті 102 Гц, в свердловині - на частотах від 26 до 33 Гц, при середній частоті 31 Гц. Різниця частот по різних напрямках вимірювань значна через напруження стискання, тому доцільно мати частотний діапазон вимірювальних каналів 26-360 Гц для умов Глеюватського кар'єру. Точність відтворення форми напів-періоду несинусоїдального сигналу визначається частотою опитування зондів, тому повинна обиратися частота опитувань, залежно від ступеня викривлення сигналу. Для мікросейсмічного контролю частота опитування повинна перевищувати 1000 Гц, а частотний діапазон вимірювальних каналів може бути 0,5-1000 Гц з можливістю фільтрування верхніх чи нижніх частот. Аналогові передпідсилювачі мають значно ширші частотні діапазони, але більша проблема з АЦП полягає в частоті опитування датчиків і об'ємах пересилаємої і реєструємої інформації.

В подальшому планується виконати детальну класифікацію явищ з фіксацією їх параметрів. За результатами даної класифікації буде розроблен алгоритм ідентифікації явищ та параметри вибірки явищ, які виникають в процесі розробки, тобто відбраковка технологічних процесів від

процесів, які відбуваються безпосередньо у масиві гірських порід. Це дасть можливість оцінювати напружено-деформований стан гірського масиву в межах досліджуваної ділянки.

Список літератури

1. **Khmelevsky, H., Kornev, A., & Kyshakevych, I.** (2016). Acoustic method for determining the strength characteristics of rock masses. *Journal of Mining Science*, 52(6), 1134-1141.
2. **Khmelevsky, H., & Kornev, A.** (2015). The acoustic emission method for studying the dynamic properties of rocks. *Journal of Mining Science*, 51(6), 1186-1192.
3. **Ільченко, А. О., & Гаркуша, В. В.** (2019). Аналіз мікросейсмічних даних для оцінки напруженого стану гірських порід під час видобутку корисних копалин. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Фізика*, (35), 96-102.
4. **Ільченко, А. О., & Ткаченко, О. Є.** (2021). Дослідження сейсмічних сигналів при вибухах на рудниках. *Наукові праці Інституту геофізики*, 3(58), 75-82.
5. **Серебренников В.М., Рыбалко Б.И., Русаков М.И.** Математическое моделирование сейсмических волн. *Збірник наукових праць за результатами роботи V Міжнародної наукової конференції (Кривий Ріг, 23 - 24 листопада 2018р.)*. НДГРІ ДВНЗ «КНУ». Кривий Ріг: Вид. Р.А. Козлов, 2018. 180с.
6. Стор. 107 - 109.
7. **Попов С.О.** Визначення напруженого стану гірських порід на основі явища релаксації коливань масиву. / **С.О. Попов** Збірник наукових праць за результатами роботи Міжнародної наукової конференції (Кривий Ріг, 22-23 квітня 2011р.) ДП НДГРІ. Кривий Ріг, «Видавничий дім», 2011.
8. **Тарапата В.Я.** Определение прочностных характеристик массива горных пород и его трещиноватости сейсмическим методом. / **В.Я. Тарапата, Ф.И. Караманиц, В.С. Ричко, Ю.А. Плужник.** – Сборник научных трудов. Качество минерального сырья 2011. Академия горных наук Украины, Криворожский технический университет. Кривой Рог, 2011, 266-270с.
9. **Доценко В.Д., Воробьев А.Н., Радчук А.Г.** Справочник по физико – механическим свойствам железистых кварцитов, продуктов их переработки и других мелкозернистых материалов. Дионис. Кривой Рог. 2013. 276с.
10. **Рыбалко Б.И., Серебренников В.М.** Определение физико – механических свойств массива горной породы по сигналу микросейсм. *Збірник наукових праць за результатами роботи VI Міжнародної науково-технічної конференції (Кривий Ріг, 22 листопада 2019р.)* Кривий Ріг. Видавець Роман Козлов. 2019. 198с. Стор. 115 – 120.
11. **Рыбалко Б.И., Серебренников В.М.** Оценка напряженного состояния массива по характеристике спектральной плотности микросейсм. *Збірник наукових праць за результатами роботи VI Міжнародної науково-технічної конференції (Кривий Ріг, 22 листопада 2019р.)* Кривий Ріг. Видавець Роман Козлов. 2019. 198с. Стор. 126 – 130.
12. **Рыбалко Б.И., Серебренников В.М.** Определение физико – механических свойств массива горной породы по сигналу микросейсм. *Збірник наукових праць за результатами роботи VI Міжнародної науково-технічної конференції (Кривий Ріг, 22 листопада 2019р.)* Кривий Ріг. Видавець Роман Козлов. 2019. 198с. Стор. 115 – 120.

УДК 658.5:334.012.6

А.Ю. ШАХНО*, д-р екон. наук, доц.
Криворізький національний університет

СТАН ТА ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ БІЗНЕСУ В УМОВАХ ІННОВАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Мета. Метою даної статті є визначення сучасного стану розвитку вітчизняного бізнесу та проблем його розвитку, розробка комплексу заходів щодо забезпечення ефективного розвитку бізнес-структур в умовах інноваційної діяльності й трансформації глобалізаційних процесів.

Методи дослідження. Результати і наукові положення отримані з використанням певних методів: узагальнення результатів попередніх досліджень, комплексного аналізу та синтезу, логіко-структурного й логіко-динамічного аналізу, науково-аналітичного, порівняння й аналогії, табличного тощо.

Наукова новизна. В ході дослідження надано оцінку стану функціонування вітчизняного бізнесу та визначено основні проблеми його розвитку, що дало можливість представити авторське бачення стратегічно-орієнтованої моделі державного управління розвитку бізнесу та запропонувати комплекс заходів щодо ефективного формування сприятливого бізнес-середовища з боку держави, що позитивно вплине на соціально-економічний розвиток країни, де важливим напрямом є розвиток інноваційного підприємництва.

Практична значимість. Результати дослідження можуть бути використані при формуванні стратегії розвитку інноваційного бізнесу та комплексу інструментів державного регулювання його розвитку. Впровадження запропонованих заходів сприятиме поліпшенню бізнес-клімату в Україні, підвищенню якості людського капіталу та підвищенню конкурентних переваг національної економіки в глобалізованому світі, де прискорюється розвиток цифрових технологій та креативних галузей.

Результати. В науковому дослідженні визначено сучасний стан розвитку бізнесу в Україні. Проаналізовано динаміку кількості суб'єктів господарювання України за період 2010 – 2021рр., визначено обсяги фінансування з державного бюджету інноваційної діяльності підприємств та проаналізовано інноваційну активність суб'єктів