
ГЕОМЕХАНІКА

УДК 622.235.535

В.В. Бойко, д.т.н., проф., **М.І. Половінкін**, аспірант (Інститут Гідромеханіки НАН України)

**АНАЛІЗ ПІДХОДУ ДО СЕЙСМІЧНОГО ВИЯВЛЕННЯ НЕБЕЗПЕКИ
РАПТОВИХ ВИКИДІВ В ШАХТАХ**

V.V. Boiko, M.I. Polovinkin (Institute of Hydromechanics of NAS Ukraine)**ANALYSIS OF APPROACH TO SEISMIC HAZARDS IDENTIFICATION OF
SUDDEN OUTBURSTS IN MINES**

Проведено аналіз сучасних методів сейсмічного виявлення небезпеки раптових викидів в шахтах. Визначено основні інформативні методи діагностики і інструментального контролю за процесами зміни напруженого стану в регіональному плані. Встановлені характерні зовнішні ознаки, що дозволяють прогнозувати небезпечні викиди в шахтах. Запропоновано для оцінки сейсмічної активності і аналізу формування сейсмоактивних ділянок гірського масиву використовувати просторово-часові параметри сейсмічного процесу і закону повторюваності сейсмічних подій.

Ключові слова: раптові викиди; напружений стан; сейсмічна активність; вугільний пласт.

Проведен анализ современных методов сейсмического определения опасности внезапных выбросов в шахтах. Определены основные информативные методы диагностики и инструментального контроля за процессами изменения напряженного состояния в региональном плане. Установлены характерные внешние признаки, которые позволяют прогнозировать опасные выбросы в шахтах. Предложено для оценки сейсмической активности и анализа формирования сейсмоактивных участков горного массива использовать пространственно-временные параметры сейсмического процесса и закона повторения сейсмических событий.

Ключевые слова: внезапные выбросы; напряженное состояние; сейсмическая активность; угольный пласт.

The analysis of modern methods of seismic hazard determination sudden outbursts in mines. The main informative diagnostic methods and instrumental control over the processes of change in the stress state regionalnom plan. The characteristic external features that allow you to predict the hazardous emissions from mines. It is proposed to evaluate the seismic activity and the analysis of the formation of seismically active areas of the mountain massif to use spatial and temporal parameters of the seismic process and the law of repetition of seismic events.

Keywords: sudden outbursts; the state of stress; seismic activity; the coal seam.

Вступ. На теперішній час дослідження сейсмічності масиву гірських порід дозволяють реально усвідомлювати природу та характеристики сейсмічної активності на копальнях, а наукові напрацювання щодо основних

положень і теорії формування геодинамічних явищ, що мають ознаки сейсмічних подій, є важливими та актуальними.

На підставі аналізу сучасних визначень і характеристик природних явищ, які передують раптовому викиду або, що є чинниками його виникнення, витікає, що безпосередніми передвісниками раптового викиду вугілля або породи в шахтах, поряд з іншими, є коливання вугілля або породи в тому місці, де станеться викид [1,2,3].

Результати аналізу наукових джерел, що описують геофізичні процеси, які відбуваються в масивах перед викидом, свідчать, що ці процеси протікають в часі порівняно тривало і є принципова можливість майбутній викид спрогнозувати завчасно таким чином, що з'явиться певний час, який дозволить виконати необхідні заходи в передбачуваній зоні дії викиду для знеструмлення технічних приладів та виведення працівників у безпечну зону [1,2].

Мета та завдання. Метою роботи є визначення основних інформативних методів діагностики і інструментального контролю за процесами зміни напруженого стану. Завданням представленої статті є встановлення характерних зовнішніх ознак, що дозволяють прогнозувати небезпечні викиди в шахтах.

Результати досліджень. З метою оцінки напруженого стану гірничих порід в вугільних шахтах небезпечних до викиду порід можуть бути застосовані деякі способи.

Відомий спосіб оцінки напруженого стану гірничих порід, що включає збудження сейсмічних хвиль в масиві за допомогою струсового вибуху, реєстрацію коливань в період під час і після вибуху і по імпульсам після вибуху, які по величині амплітуди масової швидкості рівні або більші за одержані при струсі визначає викидонебезпечність масива. Недоліком способу є те, що збудження сейсмічних хвиль в масиві за допомогою струсового вибуху, реєстрацію коливань в період під час і після вибуху, реєстрацію в період під час і після вибуху, коливань амплітуди масової швидкості, які контролюють низьку-часову складову і відсутні дані, щодо параметрів звукових хвиль збуджених в масиві [1,4].

Іншим способом оцінки напруженого стану гірничих порід, є спосіб, що включає збудження акустичних сигналів в масиві за допомогою видобувних механізмів, реєстрацію в період зупинки видобувних механізмів сигналів акустичної емісії і визначення по ним викидонебезпечності масива. Недоліком способу є те, що збудження акустичних сигналів в масиві за допомогою видобувних механізмів, реєстрацію в період роботи видобувних механізмів, сигналів акустичної емісії, які контролюють високо-часову складову і відсутні дані, щодо параметрів масових швидкостей збуджених в масиві. Завдяки тому, що реєстрація і контроль низьких та високих часових складових проводиться не одночасно, тому не вдається визначити критичні параметри хвилі приближені до умови коли вони співпадають і при якому може виникнути небезпечний викид гірничої породи [2,5].

Виникає проблема щодо підвищення надійності оцінок за рахунок одночасної реєстрації і контролю низьких та високих часових складових і визначення критичних параметрів в сейсмічних та звукових хвилях. Умовою виникнення небезпечного викиду гірничої породи є одночасне виникнення сейсмічних та звукових хвиль.

Зазначену проблему можна розв'язати завдяки тому, що в способі оцінки напруженого стану гірничих порід, який включає постійну реєстрацію, як високих часових складових - сигналів акустичної емісії від видобувних механізмів, а в період їх зупинки, визначення критичної інтенсивності за час післядії і по значенню параметрів форми « b^h , b^s », характеризуючих затухання активності сейсмічної і акустичної емісії, відповідно в нерівностях $b^h < 1$ в низьких часових складових (по сейсмічним хвилям) та $b^s < 1$ в високих (звукових хвилях), і якщо умови нерівностей співпадають, то стан масиву оцінюють, як викидонебезпечний.

Розглянутий спосіб оцінки напруженого стану гірничих масивів реалізується наступним чином.

Спочатку збуджують сейсмічні хвилі під час проведення вибухових робіт на струс. Коливання часток ґрунту реєструють в масиві в 3-х пунктах: з них два з флангів та третій в кінці лави і в кожному по одному трьохкомпонентному геофону (сейсмоприймач) (z, y, x) і одному мікрофону. Одночасно в кожному пункті визначають масову швидкість коливань під час вибуху і після та акустичну емісію під час роботи видобувних механізмів і за час післядії. Значення параметрів, в області низьких і високих діапазонах частот, затухання інтенсивності сейсмічної і акустичної емісії визначають по експоненціальній регресії, яка описується двома рівняннями для низьких $N_h = N^h_0 e^{-bt} + C^h$ і високих $N_s = N^s_0 e^{-bt} + C^s$ діапазонах частот виду, де: N^h_0 , N^s_0 – параметр масштабу, що характеризує числову активність сейсмічної емісії в момент після вибуху і акустичних під час роботи видобувних механізмів і за час післядії, відповідно imn/μ ; b^h , b^s – параметр форми, що характеризує затухання активності сейсмічної і акустичної емісії, відповідно; t^h , t^s – час після вибуху і після дії роботи видобувних механізмів; C^h , C^s – константа, значення фонові інтенсивності сейсмічної емісії і акустичної відповідно, і коли при одночасному значені $b^h < 1$, $b^s < 1$ стан масиву оцінюють, як викидонебезпечний [2,3].

При використанні даного способу одночасно реєструють, як масову швидкість коливання під час вибуху (тарувального) і після, так і звукові хвилі під час роботи видобувних механізмів і за час післядії, а потім в області низьких і високих діапазонах частот визначають параметри імпульсів сейсмічної та акустичної емісії. Останні порівнюють з амплітудами, які в низькому і високому діапазонах частот співпадають по значенню рівні або більші за тарувальні і тільки такі імпульси враховуються при визначенні параметра « b^h , b^s » в нерівностях $b^h < 1$, $b^s < 1$.

Це дозволяє збільшити достовірність оцінки напруженого стану гірничого масиву, який попереджує викидонебезпеку і, як наслідок, підвищити безпеку ведення гірничих робіт. [2,4,5].

В сучасних умовах одним з найбільш інформативних методів діагностики і інструментального контролю за процесами зміни напруженого стану в регіональному плані можна вважати сейсмічний метод. Зазначений метод базується на реєстрації пружних коливань масиву гірських порід, що збуджуються при переміщеннях блоків, при утворенні і розвитку тріщин в гірському масиві. Метод дозволяє одночасно сканувати великі ділянки гірського масиву, фіксувати параметри потоку динамічних явищ, їх просторовий розподіл, величину сейсмічної енергії пружних імпульсів, частотний спектр і інші параметри, що характеризують сейсмічний режим шахтних полів, що дозволяє визначити динамічні передвісники небезпечних геодинамічних явищ. Особливістю методу є можливість оцінки напруженості недоступних ділянок гірського масиву під впливом ведення гірських робіт, але в той же час, цей метод фіксує не сам гірський тиск, а лише його динамічні, найбільш небезпечні явища.

Вказана особливість методу, а також великі відмінності підходів до визначення характеристик гірських ударів і різноманітність гірничо-геологічних умов різних шахт і копалень значно ускладнюють інтерпретацію даних сейсмічного моніторингу і прогноз розвитку сейсмічної активності. Завдяки цьому на сьогодні не існує уніфікованої методики обробки і інтерпретації цих сейсмічних спостережень для здійснення об'єктивного прогнозу викидонебезпеки. Це вимагає внесення відповідних змін та доповнень до існуючих нормативних документів з питань безпечного ведення гірських робіт на родовищах, схильних або небезпечних по викидах гірської породи, а також створення системи безперервного контролю над станом масиву гірських порід.

Однією з характерних зовнішніх ознак, що дозволяють прогнозувати викид, є не лише зростання амплітуд коливань, а й зміна їх частотного діапазону. Спектральний склад акустичного сигналу, що збуджується у масиві, визначається потужностями, що входять до складу його порідних шарів. Під час завдання удару по породах масиву в кожному його шарі виникають власні пружні коливання - резонансні коливання. Зв'язок резонансної частоти (f_p) з потужністю шару (h) описується наступною формулою:

$$f_p = c / h, \quad (1)$$

де c – фазова швидкість поперечних хвиль (2500 м/сек).

З формули виходить, що частота резонансних коливань зворотно пропорційна до потужності шару, в якому вони виникають, і не залежить ні від яких інших чинників. Фактично, шари гірських порід виступають в ролі камертона. Амплітуда цих резонансних коливань залежить від ряду чинників, основною з яких є міра послаблення контактів, що обмежують шар, тобто слабкіші контакти обумовлюють велику амплітуду коливань [3,5,6]. Представлена формула у різних джерелах, що присвячені вивченню хвильових явищ в гірських масивах, може трактуватися неоднаково, але величина фазової швидкості поперечних хвиль майже у всіх вивчених джерелах знаходиться в межах $1500 \leq c \leq 3000$ м/сек, але найчастіше наводиться конкретне значення

$z = 2500$ м/сек. Таким чином, для шару породи або вугілля потужністю $h = 1$ м, основна резонансна частота лежатиме в діапазоні $1500 \leq f p \leq 3000$ Гц. Враховуючи, що вугільні пласти, що розробляються, мають середню потужність робочих пластів близько 0,6-1,2 м, резонансна частота власних коливань вугільних пластів на відповідних шахтах кам'яновугільного басейну повинна знаходитися в межах $1000 \leq f p \leq 5000$ Гц.

У разі наявності горизонтальних тріщин в пластах власні частоти коливань повинні зрости і має бути присутнім ефект накладення хвиль. В процесі розробки вугільного пласта він витримує ряд механічних дій. Головне з них - це гірський тиск, який постійно зростає за рахунок вибірки вугілля. Він не викликає коливальних процесів в пласті до моменту початку його руйнування.

Потріскування вугільного пласта, характерне майбутньому раптовому викиду, є наслідком виникнення в ньому тріщин. З точки зору хвилевих процесів це повинно викликати в пласті вугілля коливальні процеси на частотах власних коливань. У міру руйнування пласта повинна спостерігатися поява більш високих частот, зі зміщенням максимумів амплітуд коливань в зону частот більших, ніж первинні, за рахунок виникнення тонших шарів - камертонів більш високих частот. Безліч камертонів викличе безліч високих частот. У разі накладення частот виникає їх коливання, тому як результат в спектрі частот з'являться додаткові до первинних низькочастотні складові. До моменту часу безпосередньо початку раптового викиду вугілля, коли масив вугільного пласта в місці викиду буде зруйнований, там високочастотні коливання повинні різко затухнути. У момент викиду, за рахунок його енергії, частина пласта, що залишилася, випробує низькочастотні коливання, вони відповідатимуть частоті механічного коливання пласта [4,5].

Під час проведення подальших досліджень доцільно визначити умови і особливості формування сейсмоактивних ділянок гірського масиву в зоні впливу гірських робіт та встановити зв'язки між швидкістю процесу викиду і швидкістю пружної деформації гірської породи, яка обчислюється за формулою:

$$V = (Eg)/\gamma, \quad (2)$$

де E – модуль пружності цієї породи; g – прискорення вільного падіння; γ – щільність породи.

Представлена формула, що описує взаємозв'язки між швидкістю процесу викиду і швидкістю пружної деформації гірської породи частіше застосовується в процесі оцінювання сейсмоактивних ділянок гірського масиву в зоні впливу гірських робіт [5,6].

Висновки

Таким чином, проведені дослідження свідчать, що найбільш ефективним методом оцінки сейсмічної активності і аналізу формування сейсмоактивних ділянок гірського масиву в зоні впливу гірських робіт можна вважати підхід, сутність якого полягає у використанні просторово-часових параметрів

сейсмічного процесу і закону повторюваності сейсмічних подій, зареєстрованих мікросейсмічним методом в низькочастотному діапазоні пружних коливань.

Список використаних джерел

1. Lama, R. D. Improving the Efficiency of Gas Drainage Systems [Text] / Lama. // NERDDP Project. – 1986. – №574. – С. 462.
2. Bodziony, J. Sudden outbursts of gas and coal in underground coal mines [Text] / J. Bodziony, R. D. Lama. // ACARP Project. – 1996. – С. 677.
3. Telfer, W. H. Discussions of Rowan's paper on "An outburst of coal and firedamp at Valley Field Colliery, Newmills, Fife [Text] / Telfer. // Trans. Inst. Min. Engrs. – 1911. – №42. – С. 274.
4. Belov, V. I. New explanation of sudden outbursts of methane [Text] / Belov. // Gornyi Zhurnal. – 1931. – №6. – С. 46.
5. Khodot, V. V. The mechanism of sudden outbursts [Text] / Khodot. // Ugal. – 1951. – №12. – С. 6–11.
6. Bodziony, K. Modelling of outbursts at #26 Colliery, Glace Bay, Nova Scotia [Text] / K. Bodziony, D. Kullmann. // Mining Science and Tech. – 1990. – №2. – С. 261–268.

Стаття надійшла до редакції 21.12.2015 р.

UDC 622.2

O. Terentiev, doctor of Science, prof., **A. Kleshchov**, postgraduate (National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»)

SUBRESONANT LOAD ENERGY REGULATION WHEN ELECTROTHERMAL ROCK FRACTURING

О.М. Терентьев, д.т.н., проф., **А.Й. Клещов**, аспирант (НТУУ «КПІ»)

РЕГУЛЮВАННЯ ЕНЕРГІЇ СУБРЕЗОНАНСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ ЕЛЕКТРОТЕРМІЧНОМУ РУЙНУВАННІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

It is determined that inductive plasma flows energy regulation will reduce specific energy intensity of crystalline structures fracture with the help of n-component fracture system accommodation. Rock fracturing is considered at the level of crystalline structures (femtolevel). Crystalline structure oscillations are caused by the presence of internal and external factors. External factors are represented by changing the parameters of inductive plasma flows: concentration; temperature; energy; exposure time of crystalline structure. Opportunities stand it possible to determine the inductive plasma physical parameters impact on crystalline structure of the samples, which were prepared for experimental tests. For the first time the mathematical model of plasma flow energy is introduced, which differs from the existing ones with the fact that it links discharge circuit inductance and current of the electrothermal rock fracturing plant with the