

УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ТА ЗНИЖЕННЯ ГАЗОДИНАМІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ НА БАЗІ ВИКОРИСТАННЯ АКУСТИЧНОЇ ПІСЛЯДІЇ

¹Булат А.Ф., ¹Мінєєв С.П., ¹Макєєв С.Ю., ²Янжула О.С., ²Агафонов А.В.,
²Сачко Р.Н., ²Бондар А.А.

¹Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, ²Приватне акціонерне товариство «Донецьксталь – Металургійний завод»

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И СНИЖЕНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ НА БАЗЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ

¹Булат А.Ф., ¹Минеев С.П., ¹Макеев С.Ю., ²Янжула А.С., ²Агафонов А.В.,
²Сачко Р.Н., ²Бондарь А.А.

¹Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, ²Частное акционерное общество «Донецксталь – Metallurgical Plant»

CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND REDUCTION OF GAS DYNAMIC HAZARD ON THE BASIS OF USING THE ACOUSTIC AFTERACTION

¹Bulat A.F., ¹Minieiev S.P., ¹Makeiev S.Yu., ²Yanzhula O.S., ²Agafonov A.V.,
²Sachko R.N., ²Bondar A.A.

¹Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of NAS of Ukraine, ²Private Joint Stock Company "Donetskstal – Metallurgical Plant"

Анотація. Стаття спрямована на розробку нових методів управління технологічними процесами при проходці підготовчих виробок і видобутку вугілля в очисних вибоях. При веденні підземних гірничих робіт часто причиною аварій є так званий «людський фактор»: шахтарі не завжди точно виконують регламент робіт із забезпечення безпеки, а саме, несвоечасно закріплюється виробка, порушується глибина буріння дегазаційних свердловин, зменшується час нагнітання рідини при гідророзпушуванні та ін. В реальних умовах складно проконтролювати всі технологічні процеси, що відбуваються під землею. Мета дослідження – розробка для шахт рекомендацій з управління технологічними процесами для зниження ризиків виникнення газодинамічного явища.

У статті отримав розвиток найбільш раціональний для управління технологічними процесами відомий підхід щодо оцінки газодинамічної небезпеки методом сейсмоакустичної післядії. Проаналізовано характер зміни акустичної активності від виду технології очисних робіт. Отримана більш чітка диференційована оцінка напружено-деформованого стану привибійної частини вугільного пласта. Дослідження акустичної післядії при відпрацюванні вугільного пласта в різних технологічних режимах дозволили оцінити технологію ведення очисних робіт з точки зору забезпечення безпечних умов праці.

Побудовано структурну схему, на базі якої розроблено алгоритм виконання операцій з оперативного управління технологічними процесами в підготовчих і очисних вибоях, у тому числі на викидонебезпечних пластах. Сформульовано основні вимоги для коригування існуючого програмного забезпечення за класифікацією і розпізнаванню технологічних процесів по їх акустичному післядії (сліду) на записи систем прогнозу, здійснюваного під час ведення гірничих робіт в шахті. Розроблені рекомендації з управління технологічними процесами передані для використання в ШУ «Покровське». Запропоновані рекомендації призводять до підвищення точності прогнозу газодинамічної небезпеки при веденні гірничих робіт, дозволяють контролювати технологічні процеси, а також полегшують процедуру розслідування та встановлення причин виниклої критичної ситуації в разі виникнення аварії. Реалізація рекомендацій дозволить також виконувати оцінку газодинамічної небезпеки в моменти зупинок на ремонтні та інші допоміжні роботи, виконувати прогноз геологічних порушень попереду рухомого забою, визначати величину зони розвантаження привибійної частини вугільного пласта, оцінювати ефективність заходів запобігання газодинамічних явищ.

Ключові слова: акустична післядія, технологічні процеси, газодинамічне явище, безпека ведення гірничих робіт

Вступ. Згідно з вимогами правил безпеки [1], при розробці пологих викидонебезпечних вугільних пластів необхідно виконувати прогноз небезпеки

газодинамічних явищ (ГДЯ). Прогноз газодинамічної небезпеки виконується перед і в процесі виконання видобувних робіт. На виїмковій ділянці, яка прогнозом встановлена, як небезпечна, виконуються заходи для виключення ризику його виникнення [1-5].

Незважаючи на вдосконалення систем прогнозу ГДЯ при видобутку вугілля і проведенні гірничих виробок, питання безпечності залишаються актуальними до сьогодення часу. Загальний коефіцієнт якості прогнозу (помилка першого роду), який характеризує величину ризику і визначається відношенням правильних висновків до загального їх числа, часто не відповідає ефективності чинного на багатьох шахтах сейсмоакустичного (СА) прогнозу [3-6]. Помилку першого роду часто називають помилковою тривоною, помилковим спрацьовуванням або хибнопозитивним спрацьовуванням. Помилку другого роду іноді називають пропуском події або псевдонегативним спрацьовуванням. Так як з ростом ймовірності помилки першого роду зазвичай зменшується ймовірність помилки другого роду, і навпаки, настройка системи, яка приймає рішення, повинна являти собою певний компроміс. Де саме знаходиться точка балансу, одержуваного такою настройкою, залежить від оцінки наслідків при здійсненні обох видів помилок [7].

Тому підвищення точності прогнозу і розробка заходів управління технологічними процесами (ТП) при виїмці вугілля на високогазоносних вугільних пластах для зниження ризиків виникнення ГДЯ є актуальною науково-технічною задачею. Ідентифікація ТП у разі критичної ситуації в шахті також спростить роботу експертної комісії, наприклад, при розслідуванні аварійної ситуації.

При проведенні підземних гірничих робіт часто причиною аварій є так званий «людський фактор»: шахтарі не завжди точно виконують регламент робіт із забезпечення безпеки, а саме, несвоєчасно закріплюють виробку, порушується глибина буріння дегазаційних свердловин, зменшується час нагнітання рідини при гідророзпушуванні та ін. В реальних умовах складно проконтролювати всі ТП, що відбуваються під землею. Метою дослідження було розробка для шахт рекомендацій по управлінню технологічними процесами і для зниження ризиків виникнення ГДЯ.

Суть методу акустичної післядії. В даний час викидонебезпечний стан вугільних пластів в значній мірі визначають як технологічні, так і організаційні і економічні чинники розробки родовищ вугілля. Певні успіхи в області вивчення і запобігання динамічних проявів гірського тиску виражаються в тому, що при поглибленні і інтенсифікації гірничих робіт і зростанні викидонебезпечних пластів практично стабілізовано їх абсолютне число. Однак мають місце прояви гірського тиску при повністю виконаних заходах по їх запобіганню. Іноді саме проведення противиکیدних робіт провокує розв'язання ГДЯ.

У більшості випадків не ясно, з якої причини загрозливі пласти протягом тривалого часу не дають динамічних явищ, внаслідок їх безпечності або застосовуваних заходів. Відомо, що навіть у найбільш небезпечних пластах площа викидонебезпечних зон становить 2-5 % відпрацьованої площі, в той час як площа прогнозованих небезпечних зон становить 5-25 % [7]. Це свідчить про те, що необхідно вдосконалювати способи прогнозу стану вугільного пласта,

підвищувати їх достовірність. Для розробки ефективних способів прогнозу і зниження ризику ГДЯ необхідне знання механізму, причин протікання процесів в напружено-деформованому гірському масиві. Небезпечний стан пласта, як відомо, формується гірським і газовим тиском, гірничо-геологічною та гірничотехнічною обстановкою [8-13].

Внаслідок неоднорідності міцнісних властивостей вугільного масиву крихке руйнування починається в ньому задовго до втрати стійкості. При цьому акустична емісія (АЕ) відображає характер тріщиноутворення в вугільному пласті. В результаті проведеного аналізу АЕ вугільних пластів і вміщуючих порід встановлено, що перехід від режиму тріщиноутворення, що визначає небезпечний стан гірського масиву, до безпечного режиму відбувається через ряд проміжних станів. Кожне з них супроводжується АЕ, активність якої підпорядковується геометричному розподілу з характерним для цього стану параметром [4, 7-15].

Під час ведення гірничих робіт може мати місце як збільшення ймовірності появи тріщин, так і її зменшення. Зростання ймовірності появи тріщин призводить до переходу в небезпечний стан, а зниження - до безпечного режиму. Зміна сполучення ймовірностей «народження» обумовлюють проміжні режими тріщиноутворення між небезпечними і безпечними режимами АЕ [7]. В процесі виїмки вугільних пластів відбувається перерозподіл напружень, що викликає інтенсивне утворення тріщин в привибійній частині вугільного пласта. Криві накопичення енергії акустичних сигналів, отримані в безпечних зонах, зазвичай пропорційні часу впливу на масив. У небезпечних зонах превалює ймовірність появи тріщин, і процес набуває характеру тріщиноутворення, що розгалужується. Реакція гірського масиву на технологічний вплив в різні періоди неоднакова. Отже, активність АЕ є функцією навантаження, що змінюється, або підсумкової реакцією масиву на технологічний вплив, що дозволяє використовувати параметри АЕ, що характеризують утворення тріщин після закінчення технологічного впливу на вугільний пласт (так зване, акустична післядія), для оцінки стану масиву та застосовуваної технології в конкретних гірських умовах [15, 16]. Додатковою перевагою використання ефекту акустичної післядії є той факт, що в цей період часу відсутні акустичні перешкоди, які, як правило, супроводжують роботи в шахті. Для встановлення характеру зміни АЕ після технологічного впливу (післядія) досліджені сукупності часових активностей АЕ [7], що зареєстровані в небезпечних, де мали місце динамічні явища, та безпечних зонах вугільних пластів. Аналіз активності АЕ за час післядії виявив, що характер її зміни експоненціально регресний і з часом прагне до деякої величини, близької до чутливості вимірювання активності (рис. 1).

Було встановлено, що активність АЕ дорівнює 1 імп./год. при відсутності впливу на вибій. Однак в практиці ведення гірничих робіт ця умова не дотримується. Є ряд впливів (кріплення виробок, вплив сусідніх пластів і т.п.), які підвищують рівень фону до 2-3 імп./год. при відсутності видобувних робіт. Цей рівень є фоном, до якого прагне АЕ за час післядії [7].

Технологічний вплив на привибійну частину вугільного пласта викликає виникнення концентрації напружень з максимумом, зміщеним в масив. Такий

розподіл напружень реалізується і в умовах, коли гірська маса не руйнується, тобто при її пружному деформуванні. Попереду забою концентрується пружна енергія, в результаті розвивається система тріщин. Поява тріщин в безпечних ситуаціях пропорційна часу впливу на масив. У небезпечних зонах відбувається поступове згасання тріщиноутворення після впливу на масив [17], зниження активності АЕ. Як видно з рис. 1, характер згасання АЕ в небезпечних і безпечних зонах практично однаковий і відмінність полягає лише в абсолютних величинах активності і тривалості згасання активності.

Згідно [7] післядія описується рівнянням:

$$N = N_0 e^{-b^*t} + c, \quad (1)$$

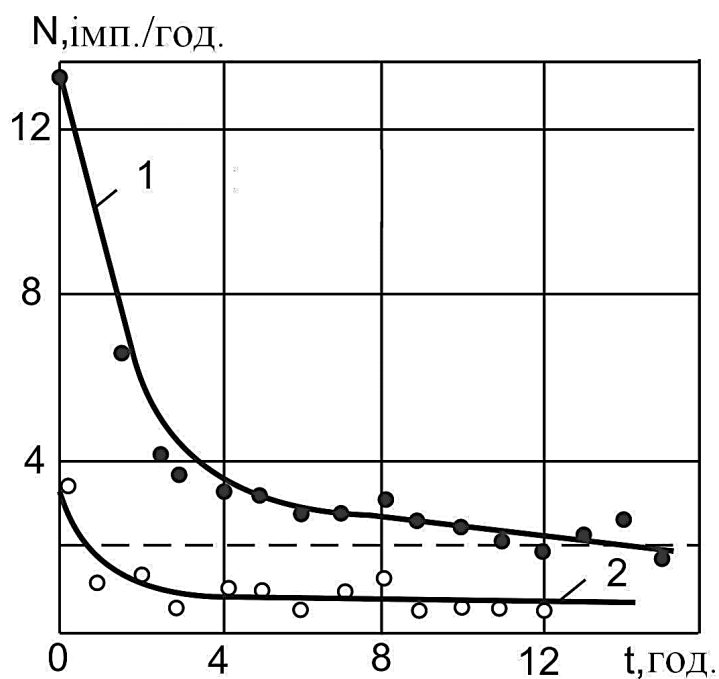
де N_0 – параметр масштабу, що характеризує годинну активність АЕ в момент закінчення технологічного впливу, імп./год.; b^* – параметр форми, що характеризує згасання активності АЕ; c – константа.

Для визначення прогностичних параметрів, які відображають зміни стану привибійній частини вугільного пласта, необхідно дослідження АЕ після технологічного впливу в небезпечних і безпечних зонах при різних технологічних режимах, проявах гірського тиску. На рис. 2 показана активність АЕ (режим післядії) при щитовій, комбайновій і молотковій виїмці в небезпечних зонах з динамічними явищами і без проявів гірського тиску, а також активність АЕ в безпечних зонах [7]. Значення параметрів рівняння акустичної післядії наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Значення параметрів рівняння акустичної післядії

Спосіб відпрацювання	Ступінь небезпеки зони		Сумарна активність в зонах	
	без ГДЯ	з ГДЯ	небезпечної	безпечної
Щитовий	7,0/ –1,40	6,0/ –0,6	7,0/ –1,00	2,23/ –1,60
Комбайновий	6,3/ –0,35	–	6,3/ –0,35	3,17/ –2,74
Молотковий	3,3/ –1,00	30,8/ –0,2	10,0/ –0,40	2,30/ –2,55

Примітка. Перед косою рисою наведені дані для N_0 , після риси – для b^* .



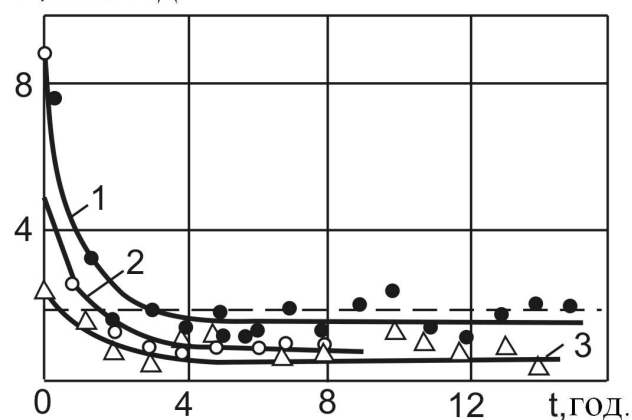
1 – небезпечна зона, 2 – безпечна зона
Рисунок 1 – Залежність акустичної емісії від часу в період післядії

З аналізу рис. 1 і рис. 2 випливає, що в безпечних зонах характер зміни акустичної активності (швидке затухання) не залежить від виду технології очисних робіт.

Технологічний вплив в цих зонах не викликає інтенсивного тріщиноутворення (малі значення параметра b^*), що свідчить про стійкість привибійної частини вугільного пласта. Релаксація напружень після технологічного впливу відбувається швидко (великі за модулем значення b^*), протягом першої години активність АЕ виходить на фоновий режим.

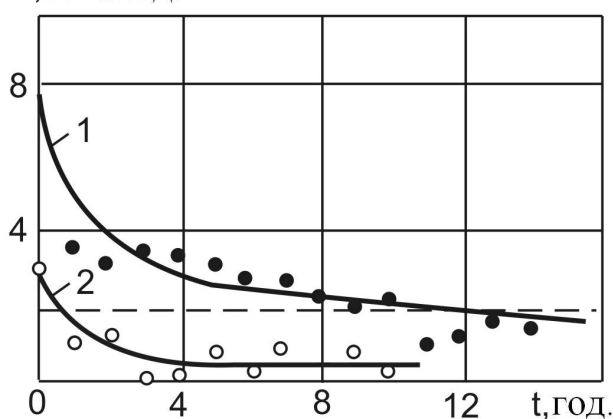
Небезпечні зони характеризуються підвищеними N_0 і малими (по модулю) значеннями b^* в порівнянні з безпечними зонами. Це свідчить про інтенсивне утворення тріщин при веденні очисних робіт, повільній релаксації напружень після технологічного впливу, що призводить до збільшення міри пошкоджуваності і зниження стійкості привибійній частини вугільного пласта. Звертає на себе увагу факт, що в небезпечних зонах без динамічних явищ значення b^* наближаються до значень, характерних для спокійних зон, можливо за винятком комбайнового виїмання.

$N, \text{імп./год.}$



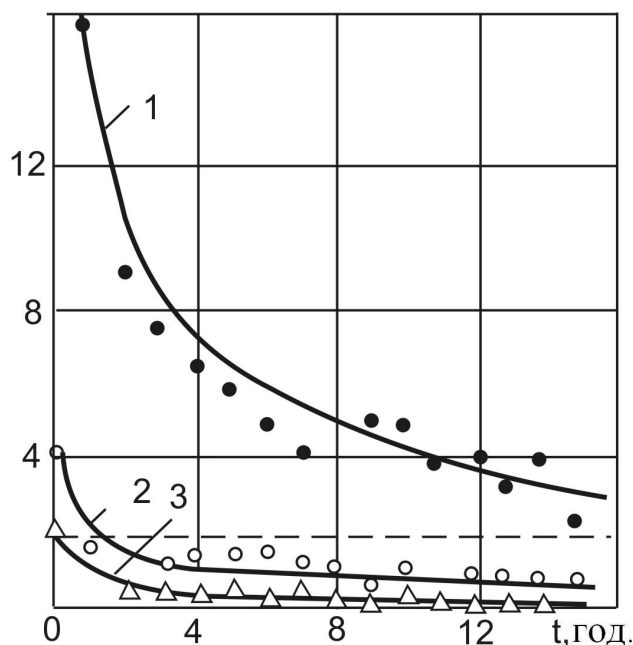
а

$N, \text{імп./год.}$



б

$N, \text{імп./год.}$



в

1 – небезпечна зона з ГДЯ; 2 – небезпечна зона без ГДЯ; 3 – безпечна зона

Рисунок 2 – Залежність АЕ від часу при щитовому (а), молотковому (б) і комбайновому (в) видобутку вугілля

Одержані результати дають можливість отримати більш чітку диференційовану оцінку напружено-деформованого стану приви́бійній частини вугільного пласта. У небезпечних зонах, в яких відбулися динамічні явища, значення b^* по модулю прагнуть до мінімуму для всіх видів технологічного впливу, характеризуючи ступінь втрати стійкості гірським масивом в передвикидній ситуації. Порівняний аналіз параметрів рівняння акустичної післядії (1) дозволяє оцінити технології і безпеку ведення очисних робіт. Наприклад, згідно залежностям, наведеним на рис. 2 і 3 при виїмці вугілля щитовим агрегатом релаксація напружень відбувається в 1,4 рази швидше в порівнянні з молотковою виїмкою в небезпечних зонах без динамічних явищ і в 3 рази швидше в зонах з динамічними явищами. Аналіз параметрів рівняння для узагальненої залежності акустичної післядії в небезпечних зонах показує, що затухання акустичної емісії, тобто вихід на рівень фону при щитовій технології відбувається в 3 рази швидше, ніж при комбайновому видобутку і в 2,5 рази швидше, ніж, наприклад, при молотковій технології виїмки.

З аналізу параметрів рівняння акустичної післядії випливає, що зміна ступеня небезпечності стану гірського масиву характеризується відповідною зміною параметрів рівняння (1). При цьому найбільш чутливим параметром, що характеризує, по суті, процес перерозподілу напружень вугільному пласті і загасання активності акустичної емісії, є параметр b^* . Ця обставина і дозволяє використовувати його в якості критерію для оцінки ступеня небезпечності стану приви́бійній частини вугільного пласта.

Для всіх досліджених видів технологічного впливу в безпечних зонах значення параметра b^* задовольняло умові, що $b^* \geq 1$. У зонах, де відбулися динамічні явища, виконувалася умова $b^* \leq 0,3$. Ці дві граничні умови і прийняті відповідно за 0 і 100 % небезпеки, що дозволяє визначати в процесі проведення видобувних робіт ступінь небезпечності стану вугільного пласта за значенням b^* . Проміжні значення цього параметра попереджують про ступінь небезпеки. За появи значень b^* менших, попередньо встановлених і відповідних безпечному стану, судять про небезпечний стан гірського масиву, а по їх величині - про ступінь небезпеки.

Дослідження акустичної післядії при відпрацюванні викиднебезпечного вугільного пласта в різних технологічних режимах, порівняльний аналіз параметрів рівняння активності АЕ в режимі післядії дозволяють оцінити технологію ведення очисних робіт з точки зору забезпечення безпечних умов. Як було встановлено [7], технологічний вплив щитовими агрегатами і комбайнами викликає менш інтенсивне утворення тріщин в порівнянні з молотковою технологією (менші N_0). Релаксація ж напружень після технологічного впливу щитовим агрегатом відбувається набагато швидше, ніж при комбайновому і молотковій технології (великі за модулем значення b^*). Причому сигнали АЕ реєструються в період зупинки видобувних механізмів, визначається інтенсивність за час післядії, обчислюється параметр загасання інтенсивності АЕ – b^* і при $b^* < 1$ стан масиву оцінюється як викиднебезпечний [18].

Таким чином, параметри акустичної післядії з рівняння (1) дозволяють здійснювати прогноз ступеня небезпеки, як при проходці гірських виробок, так і при відпрацюванні вугільного пласта в різних технологічних режимах. Ці параметри по своїй суті фактично є інтегральною характеристикою, яка включає в себе цілий ряд факторів, що впливають на стан масиву в зоні ведення гірських робіт.

Контроль АЕ привибійній частини гірського масиву виконується за допомогою апаратури, що забезпечує прийом, передачу реєстрацію сигналів в частотному діапазоні 0,2-10 кГц (ЗУА, АПСС, АРЕС або ін.). Можливим контрольованим параметром АЕ є її активність N_i – кількість імпульсів АЕ, які супроводжують крихке руйнування вугілля і порід, що вміщують, в задану одиницю часу. Аналізом активності емісії в період післядії визначаються періоди посилення (або ослаблення) процесів руйнування привибійній частини вугільного пласта. Результати контролю оцінюють ступінь небезпеки (у відсотках) газодинамічних проявів в гірському масиві. Слід зазначити, що досить висока ефективність цього методу дозволяє визначити межі небезпечних зон і порівняти отримані результати з частотою небезпечних зон і відносною їх тривалістю, визначених на основі чинного акустичного прогнозу. Результати порівняння свідчать, що тривалість небезпечних зон, які визначаються за допомогою акустичної післядії, менше, їх протяжність в середньому становить 6 % протяжності небезпечних зон, визначених за чинним прогнозом, що і призводить до скорочення противикидних заходів. Частота ж їх появи в 2,5 рази більше, що свідчить про можливість оперативної оцінки стану масиву [7].

Використання методу акустичної післядії дає можливість не тільки здійснювати прогноз ГДЯ при проходці підготовчих і очисних виробок, а й контролювати все ТП, які їх супроводжують.

Далі розглянемо розроблені в ІГТМ НАН України рекомендації з управління ТП в підготовчих і очисних вибоях, у тому числі на викидонебезпечних пластах [19]. Під оперативним управлінням розуміють зміну режиму технологічного впливу на пласт у відповідності з результатами контролю АЕ гірського масиву акустичною апаратурою. Оперативне управління реалізується своєчасним припиненням ТП по команді оператора сейсмопрогнозу і технічного керівника робіт з наступним вирішенням на відновлення роботи. Для здійснення оперативного управління організують прямий зв'язок між оператором сейсмопрогнозу, головним інженером шахти і машиністом, керуючим механізмом. При використанні в забої електроенергії організують прямий телефонний зв'язок з диспетчером (начальником зміни), який знімає напругу з керованого механізму шляхом відключення електроенергії з поверхні або використовуючи інші схеми передачі сигналу. Причому мета і порядок оперативного управління, правила розрахунку і практичного виконання викладаються в паспорті ділянки.

Для застосування оперативного управління інтенсивністю ТП розраховують параметри управління: t_3 – час реакції пласта на припинення робіт (час післядії процесу); d – частка накопиченої енергії АЕ за час t_3 ; K – коефіцієнт запасу, необхідний для визначення гранично допустимої активності ($N_{\text{стоп}}$). Перераховані параметри в залежності від керованого процесу розраховуються за результатами

попередніх спостережень за АЕ пласту і видаються у вигляді висновків про керуваність системи «вплив-масив-реакція».

Розглянемо можливості ідентифікації ТП на шахті із застосуванням сучасних систем прогнозу. Основні заходи з управління ТП відображені на рис. 3 і містять таку послідовність проведення різних операцій, які наводяться нижче:

1) На основі аналізу просторової мережі виробок в шахті виконується монтаж системи реєстрації акустичних сигналів. Геофонні зонди (датчики) встановлюються по дві штуки в штреках по двом сторонам видобувних лави на відстані від 40 м до 110 м від фронту лави, а в підготовчих штреках по одному або два на відстані від 30 м до 110 м від вибою. У міру продвігання видобувних лави геофонні зонди поступово переносяться, щоб відповідати вищезазначеним умовам.

2) Створюється база даних сигналів від шахтних звукових джерел. Проводиться занесення в базу даних і класифікація за допомогою акустичної системи всіх існуючих стандартних техногенних (робота прохідницького комбайна, робота виїмкового комбайна по вугіллю, робота виїмкового комбайна по пісковнику, робота конвеєра, робота відбійного молотка, робота вентилятора ВМЦГ-7, кріплення виробок, буріння свердловин, нагнітання рідини в свердловину, вибухові роботи та ін.) і природних (посадка основної покрівлі, обвалення порід, спалах (вибух) газу, пожежа, газодинамічне явище і ін.) шумів в шахті, в т.ч. акустичної післядії після припинення роботи кожного агрегату. Виконується цифрова обробка всіх сигналів і їх комп'ютерна інтерпретація.

3) Складання або використання готової програми розпізнавання шумів від роботи гірського устаткування і природних шумів від деформаційних процесів в гірському масиві (наприклад, PROGNOZ 4.0). Перевірка розпізнавання системою конкретних акустичних подій, що задаються випадковим чином.

4) Інтерпретація системою звукових подій, що відбуваються при видобутку вугілля. Фіксація звукових шумів, що надходять на датчики, розпізнавання їх в базі даних і створення погодинної картини подій, що відбуваються в шахті. Аналіз звукових шумів з урахуванням акустичної післядії і виявлених інших звукових образів. Висвітлення на екран монітору оператора групи прогнозу результатів розпізнавання всіх звукових джерел від працюючих в шахті агрегатів із зазначенням часу початку, закінчення і типу зафіксованій акустичній події.

5) Тестування програми при роботі прохідницького і видобувного обладнання. Фіксація звукових шумів, що надходять на датчики, розпізнавання їх в базі даних і створення погодинної картини подій, що відбуваються в шахті (посадка основної покрівлі, обвалення порід, спалах (вибух) газу, пожежа, газодинамічне явище), а також запис акустичних шумів від утворення тріщин в процесі зміни напружено-деформованого стану масиву поблизу зони ведення гірських робіт (акустична післядія). У разі виявлення акустичних подій, які відсутні в базі даних, встановлення джерела шуму, його класифікація та занесення в базу даних.

6) Реєстрація шумових ефектів після припинення роботи прохідницького і видобувного обладнання з фіксацією шумів від перерозподілу напружень, що викликають в привибійній частини вугільного пласта інтенсивне утворення тріщин. Активність акустичної емісії є функцією змінюється навантаження, що

дозволяє використовувати параметри акустичної емісії (гучність в одиницю часу, частота, спектральні характеристики) після закінчення технологічного впливу на вугільний пласт (акустичне післядія) для оцінки стану масиву і застосовуваної технології (згідно з рекомендаціями, наведеними раніше).

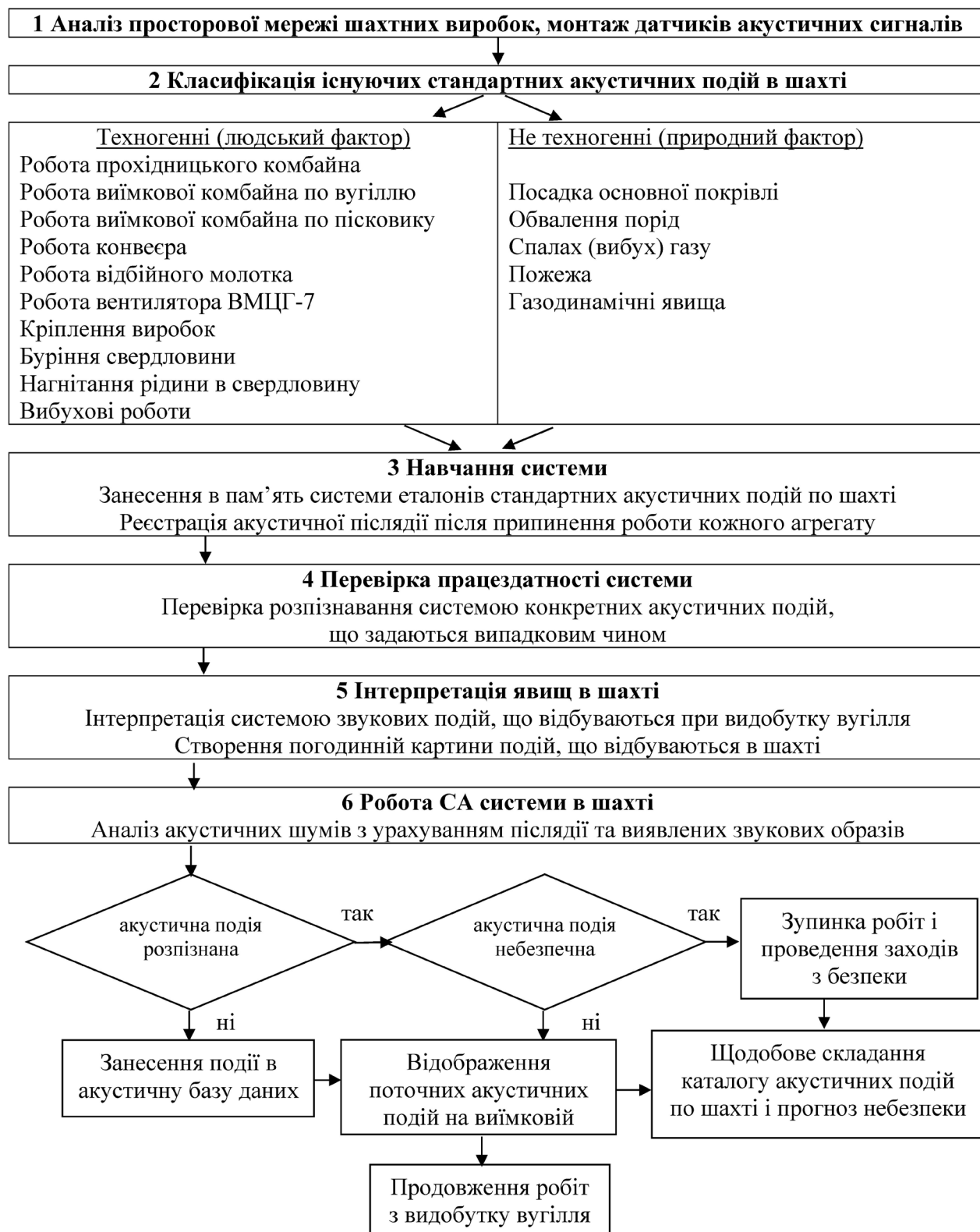


Рисунок 3 – Структурна схема виконання операцій з управління технологічними процесами

7) Відображення на екрані монітора оператора прогнозу всіх звукових джерел від працюючих в шахті агрегатів із зазначенням часу початку та закінчення їх роботи, а також запис акустичних шумів від утворення тріщин в процесі зміни напружено-деформованого стану масиву поблизу зони ведення гірських робіт. Аналіз шумів (по аналогії з кардіограмою), що передують небезпечному явищу, розпізнавання по звуковим джерелами від працюючих в шахті агрегатів які роботи передували небезпечній події і викликали післядію, що призвело в подальшому до розв'язування небезпечного явища (такою післядією можуть бути як шумові сплески, так і затишшя, коли масив накопичує енергію перед тим, як імпульсно виплеснути її). Аналіз інтенсивності, частоти, спектра акустичних сигналів і шумів від утворення тріщин [19-26], порівняння їх із середніми погодинно, позмінно, подово і обчислення з їх допомогою коефіцієнтів рівняння (1). Видача прогнозу безпеки ведення робіт або необхідності проведення заходів щодо зниження безпеки реалізується згідно з нормативними документами.

8) Оперативне управління реалізується своєчасним припиненням ТП по команді оператора групи прогнозу з наступним вирішенням на відновлення роботи. Для здійснення оперативного управління між оператором групи прогнозу і машиністом, керуючим механізмом, організують прямий телефонний зв'язок з диспетчером (начальником зміни), який знімає напругу з керованого механізму шляхом дистанційного відключення електроенергії з поверхні.

Результати та їх обговорення. Запропонована типова структурна схема виконання технологічних операцій (див. рис. 3) є основною базою для оцінки газодинамічної безпеки. При цьому слід зазначити, що контроль ТП на шахті може здійснюватися із застосуванням програмного комплексу PROGNOZ 4.0 [27]. В якості основи для управління ТП в очисному забої доцільно використовувати розділ «Контроль технологічних процесів» в «Посібнику...» [27], тобто контроль ТП здійснюється за допомогою трьох програм: «Тех. процеси»; «Контроль СВ»; «TexProcess». Коротко розглянемо їх.

Програма «Тех. процеси» виконує автоматизований контроль ТП, при яких гірниче обладнання впливає на вибій, акустичний сигнал, що виникає при цьому, реєструється і обробляється апаратурою АПСС1.

Програма «Контроль СВ» призначена для контролю ТП і виконання регламенту хитного підривання. При цьому виконується регулювання акустичного сигналу таким чином, щоб від хитного підривання не було перевантаження каналу реєстрації.

При запуску програми «TexProcess» необхідно задати: назву необхідної виробки в графі «Виробка»; початок необхідного періоду зареєстрованого техногенного акустичного сигналу в графі «Початок» (дата і час); закінчення необхідного періоду цього ж техногенного акустичного сигналу в графі «Закінчення» (дата і час). Вибрати або задати назву ТП, перейти до визначення його часу початку і закінчення. Задати колір конкретного процесу. На записі акустичного сигналу у вікні програми з'явиться рамка з кольором вибраного процесу (рис. 4). Щоб роздрукувати інформацію про потрібний процес, необхідно перейти в програму «Server», в якій виконується друк таблиць і графіків з інформацією про ТП.

Основні вимоги до програмного забезпечення по управлінню ТП. Як раніше зазначалося, для практичного, безпечного і ефективного використання апаратури для управління ТП необхідно розробити нове або скорегувати існуюче програмне забезпечення по класифікації та розпізнаванню ТП по їх акустичній післядії (сліду) на записи системи прогнозу (АПСС, АРЕС), що здійснюються при веденні підготовчих і очисних робіт в шахті. Для цього необхідно виконання наступних основних технічних вимог:

- взаємозамінна модульна структура для можливості спільного використання систем прогнозу АПСС і АРЕС;
- ідентифікація ТП, що протікають в досліджуваному забої, що має відповідний звуковий слід на запису, заданим критеріям (відповідно до наведеної на рис. 3 структурній схемі);
- відображення повної амплітудно частотній характеристики (АЧХ) аналізованої записи для оцінки газодинамічної небезпеки;
- формування і відображення кольором або рамкою різних міток початку і кінця розпізнаного ТП або явища і установку їх на АЧХ;
- розподіл ролі «користувач» і «адміністратор» для можливості внесення коригувань критичних значень параметрів.

Для зручності роботи з програмою необхідно включити виконання кольорового маркування розпізнаного ТП на АЧХ, а також визначати за запитом тривалість окремого ТП або явища протягом заданого часу. Відповідне маркування повинне бути на АЧХ або в виведених таблицях і графіках (автоматичне розпізнавання або розпізнавання оператором) способів ідентифікації ТП. В кінцевому рахунку, доцільна видача у вигляді графіків і/або таблиць наступних даних в електронному або друкованому вигляді:

- результати ідентифікації всіх розпізнаних або окремого ТП на зазначеному, в тому числі і поточному, проміжку часу;
- можливість фільтрації (видалення) параметрів виведення таблиць або графіків;

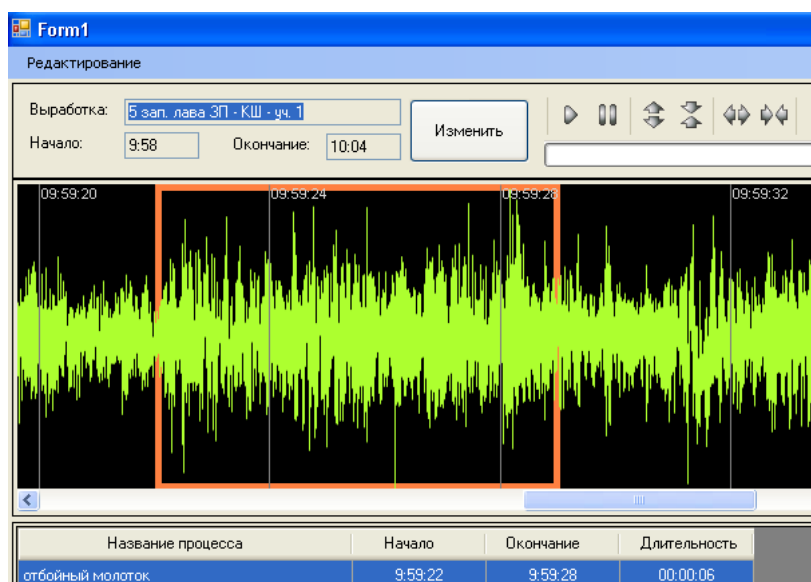


Рисунок 4 – Виділення рамкою (кольором) обраного технологічного процесу

- рекомендації по оцінці небезпечних акустичних подій (газодинамічної та іншої небезпеки) і виконання пропонованих заходів щодо запобігання виникненню небезпечної аварійної ситуації.

Висновки. 1. Використання методу акустичної післядії дає можливість не тільки здійснювати прогноз газодинамічних процесів при проходці підготовчих і очисних виробок, а й контролювати все технологічні процеси, які їх супроводжують.

2. Управління ТП в підготовчих і очисних вибоях із застосуванням акустичної апаратури дозволить технічному керівнику контролювати весь процес роботи підземного обладнання, яке створює акустичні сигнали поблизу встановлених у виробках геофонів.

3. Практичне використання акустичної апаратури для управління ТП буде можливо після коригування існуючого програмного забезпечення за класифікацією і розпізнаванням ТП по їх акустичній післядії (сліду) на записи системи прогнозу (АПСС, АРЕС), що здійснюються при веденні гірничих робіт в шахті.

Для цього необхідно виконання наступних основних технічних вимог: взаємозамінна модульна структура; ідентифікація ТП; відображення повної АЧХ явищ або технологічних операцій; формування і відображення початку і кінця розпізнаного ТП або явища і накладення їх на АЧХ.

Для зручності роботи з програмою необхідно виконання кольорового маркування розпізнаного ТП на АЧХ, а також визначення за запитом тривалості окремого ТП або явища протягом заданого часу. Видача у вигляді графіків або таблиць даних в електронному або друкованому вигляді з можливістю ідентифікації всіх і окремого ТП в заданому проміжку часу.

4. Реалізація даного програмного забезпечення дозволить не тільки керувати ТП в підготовчих і очисних вибоях, а й виконувати оцінку газодинамічної небезпеки, величини зони розвантаження, прогноз геологічних порушень і інше.

5. Для спрощення роботи експертних комісій, які розслідують аварії з метою встановлення причин критичної ситуації можуть бути представлені записи всіх подій, які відбувалися в виробках.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. НПАОП 10.0-1.01-10. Правила безпеки у вугільних шахтах: Затверджені наказом Держ. комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 22.03.2010 № 62, зі змінами від 24.09.2014 № 661. К., 2010. 432 с.
2. СОУ-П 10.1.00174088-017-2009. Правила перетинання гірничими виробками зон геологічних порушень на пластах, схильних до раптових викидів вугілля та газу: Стандарт Мінвуглепрому України, чинний від 2009-09-11. К.: Мінвуглепром України, 2009. 42 с.
3. СОУ 10.1.00174088-011-2005. Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ: Стандарт Мінвуглепрому України, чинний від 2006-04-01, зі змінами від 23.12.2011 № 868. К.: Мінвуглепром України, 2005. 225 с.
4. Минеев С.П. Прогноз и способы борьбы с газодинамическим явлениями на шахтах Украины. Мариуполь: ООО «Восточный издательский дом», 2016. 258 с.
5. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах / Минеев С.П., Рубинский А.А., Ви-тушко О.В. и др. Донецк: ООО «Східній видавничий дім», 2010. 603 с.
6. Некоторые особенности протекания и предотвращения газодинамических явлений / Булат А.Ф., Макеев С.Ю., Андреев С.Ю. и др. / Уголь Украины. 2015. № 7-8. С. 17-21.
7. Булат А.Ф., Хохолев В.К. Геофизический контроль массива при отработке угольных пластов. К.: Наук. думка, 1990. 168 с.
8. Анцыферов М.С., Анцыферова Н.Г., Качан Я.Я. Сейсмоакустические исследования и проблема прогноза динамических явлений. М: Наука, 1971. 110 с.
9. Анцыферов А.В. Теорія і практика шахтної сейсмозв'язки. Донецьк: «АПАН», 2003. 312 с.

10. Геофизические исследования горных ударов / Петухов И.М., Смирнов В.А., Винокур Б.Ш. и др. М.: Недра, 1975. 136 с.
11. Управление состоянием горного массива / Зорин А.Н., Колесников В.Г., Минеев С.П. и др. К.: Наук. думка, 1986. 212 с.
12. Иванова Г.М., Иванов В.В. Управление состоянием призабойной части пласта под контролем звукоулавливающей аппаратуры / Геофизические основы контроля напряжений в горных породах. Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1983. С. 79-80.
13. Турчанинов И.А., Панин В.И. Геофизические методы определения и контроля напряжений в массиве. Л.: Наука, 1986. 164 с.
14. Rodon I.C., Pollock A.A. Acoustic emission and energy transfer during crack propagation / Eng. Fract. Mech. 1972. Vol.4, No. 2. P. 295-310. [https://doi.org/10.1016/0013-7944\(72\)90043-4](https://doi.org/10.1016/0013-7944(72)90043-4)
15. Булат А.Ф., Хохолев В.К., Иванов В.С. Оценка напряженного деформированного состояния горного массива методом сейсмоакустического последействия / Уголь Украины. 1988. №2. С. 31-32.
16. Булат А.Ф., Приходченко В.Л. О возможностях экспресс-оценки состояния выбросоопасных угольных пластов в режиме акустического последействия / Науковий вісник Нац. гірничої академії України. Дніпропетровськ: НГАУ, 1999. № 4. С. 47-48.
17. Некоторые аспекты использования особенностей акустических свойств горного массива для контроля его состояния / Булат А.Ф., Макеев С.Ю., Андреев С.Ю. и др. // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды: Конференция с участием иностранных ученых, 9-12 октября 2012 г. Новосибирск: ИГД СО РАН, 2012. Т. 1. С. 212-217.
18. Способ оценки напряженного состояния горных пород: а.с. 1445307 SU / А.Ф. Булат, В.К. Хохолев, В.С. Иванов № 4878754/22-03; заявл. 15.08.1986; опубл. 16.08.88, Бюл. № 4. 3 с.
19. Рекомендации по управлению технологическими процессами в подготовительных и очистных забоях и оценки газодинамической опасности методом сейсмоакустического последействия / Булат А.Ф. и др. Днепр: ИГТМ НАН Украины, 2020. 27 с.
20. Король В.И., Скобенко А.В. Акустический способ прогноза газодинамических явлений в угольных шахтах. Днепропетровск: Национальный горный университет, 2013. 181 с.
21. Мирер С.В., Хмара О.И., Масленников Е.В. Методика и аппаратура для акустического контроля выбросоопасности угольных пластов / Внезапные выбросы угля и газа, рудничная аэрология. М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1988. С. 20-24.
22. Мирер С.В., Хмара О.И., Масленников Е.В. О контроле выбросоопасности забоев по спектральным характеристикам акустических сигналов / Вопросы предотвращения внезапных выбросов. М.: ИГД им. Скочинского. 1987. С. 52-61.
23. Совершенствование способов и средств безопасной разработки угольных пластов, склонных к газодинамическим явлениям / Коптиков В.П., Бокий Б.В., Минеев С.П. и др. Донецк: Проминь, 2016. 480 с.
24. Брюханов О.М., Нікіфоров О.В., Колчин Г.І. Спосіб прогнозу газодинамічних явищ: патент 77465 UA / № u201210889; заявл. 18.09.2012; опубл. 11.02.2013, Бюл. № 3.
25. Шадрин А.В. Способ автоматического текущего прогноза внезапных выбросов угля и газа: пат. 2250376 RU / № 2003117840/03; заявл. 16.06.2003; опубл. 20.04.2005, Бюл. №11. 4 с.
26. Бобин В.А. Сейсмочастотная характеристика угольного пласта как прогнозный параметр состояния его блокового геологического строения / Инженерная физика. 2020. № 7. С. 26-32. DOI: 10.25791/infizik.07.2020.1146
27. Никифоров А.В., Колчин Г.И. Руководство по применению программного обеспечения PROGNOZ 4.0. Макеевка: МакНИИ, 2013. 71 с.

REFERENCES

1. State Committee of Ukraine for Industrial Safety, Labor Protection and Mining Supervision (2010), *NPAOP 10.0-1.01-10. Pravyla bezpeky u vuhilnykh shakhtakh* [NPAOP 10.0-1.01-10. Safety rules in coal mines], Kyiv, Ukraine.
2. Ministry of Coal Industry of Ukraine (2009), *SOU-P 10.1.00174088-017-2009. Pravyla peretynannya himychny vyrobkamy zon heolohichnykh porushen na plastakh, shkylnykh do raptovykh vykydiv vuhillya ta hazu* [SOU-P 10.1.00174088-017-2009. Rules for crossing by mine workings of zones of geological disturbances on formations prone to sudden emissions of coal and gas], Ministry of Coal Industry of Ukraine, Kyiv, Ukraine.
3. Ministry of Coal Industry of Ukraine (2005), *SOU 10.1.00174088-011-2005. Pravyla vedennya himychnykh robit na plastakh, shkylnykh do hazodynamichnykh yavlyshch* [SOU 10.1.00174088-011-2005. Rules for conducting mining operations on formations prone to gas-dynamic phenomena], Ministry of Coal Industry of Ukraine, Kyiv, Ukraine.
4. Mineiev, S.P. (2016), *Prognoz i sposoby bor'by s gazodynamicheskimi yavleniyami na shakhtakh Ukrainy* [Forecast and methods of combating gas-dynamic phenomena in the mines of Ukraine], LLC "Eastern Publishing House", Mariupol, Ukraine.
5. Mineiev, S.P., Rubinsky, A.A., Vitushko, O.V. and Radchenko, A.G. (2010), *Gornyie raboty v slozhnykh usloviyakh na vybrosoopasnykh ugolnykh plastakh* [Mining operations in difficult conditions on outburst hazardous coal seams], LLC "Eastern Publishing House", Donetsk, Ukraine.
6. Bulat, A.F., Makeiev, S.Yu., Andreiev, S.Yu. and Ryzhov, G.A. (2015), "Some features of the flow and prevention of gas-dynamic phenomena", *Coal of Ukraine*, no. 7-8, pp. 17-21.
7. Bulat, A.F. and Khokholev, V.K. (1990), *Geofizicheskii kontrol' massiva pri otrabotke ugol'nykh plastov* [Geophysical control of the massif during the development of coal seams], Naukova dumka, Kyiv, Ukraine.
8. Antcyferov, M.S., Antcyferova, N.G. and Kachan, Ya.Ya. (1971), *Seysmoakusticheskiye issledovaniya i problema prognoza dinamicheskikh yavleniy* [Seismoacoustic research and the problem of forecasting dynamic phenomena], Nauka, Moscow, USSR.
9. Antcyferov, A.V. (2003), *Teoriya i praktika shakhtnoy seysmorazvedki* [Theory and practice of mine seismic exploration], ALAN, Donetsk, Ukraine.
10. Petukhov, I.M., Smirnov, V.A., Vinokur, B.Sh. et al. (1975), *Geofizicheskiye issledovaniya gornykh udarov* [Geophysical exploration of rock bumps], Nedra, Moscow, USSR.

11. Zorin, A.N., Kolesnikov, V.G., Mineiev, S.P. et al. (1982), *Upravleniye sostoyaniyem gornogo massiva* [Rock massif state management], Naukova dumka, Kyiv, Ukraine.
12. Ivanova, G.M. and Ivanov, V.V. (1983), "Managing the state of the bottomhole formation under the control of sound-detecting equipment", *Geophysical Foundations of Stress Control in Rocks*, pp.79-80.
13. Turchaninov, I.A. and Panin, V.I. (1986), *Geofizicheskiye metody opredeleniya i kontrolya napryazheniy v massive* [Geophysical methods for determining and controlling stresses in the rock massif], Nauka, Leningrad, USSR.
14. Rodon, I.C. and Pollock, A.A. (1972), "Acoustic emission and energy transfer during crack propagation", *Eng. Fract. Mech.*, vol.4, no. 2, pp. 295-310. [https://doi.org/10.1016/0013-7944\(72\)90043-4](https://doi.org/10.1016/0013-7944(72)90043-4)
15. Bulat, A.F., Khokholev, V.K. and Ivanov, V.S. (1988), "Assessment of the stress-strain state of a rock mass by the method of seismoacoustic after action", *Coal of Ukraine*, no. 2, pp. 31-32.
16. Bulat, A.F. and Prihodchenko, V.L. (1999), "On the possibilities of express-assessment of the state of outburst-hazardous coal seams in the mode of acoustic aftereffect", *Scientific Bulletin of the National Mining Academy of Ukraine*, no. 4, pp. 47-48.
17. Bulat, A.F., Makeiev, S.Yu., Andreiev, S.Yu. et al. (2012), "Some aspects of using the peculiarities of the acoustic properties of a rock mass to control its condition", *Fundamental problems of the formation of the technogenic geoenvironment*, Novosibirsk, Russia, 9-12 October 2012, vol. 1, pp. 212-217.
18. Bulat, A.F., Khokholev, V.K. and Ivanov, V.S. (1988), *Sposob otsenki napryazhennogo sostoyaniya gornykh porod* [Method for assessing the stress state of rocks], USSR, Pat. 1445307.
19. Bulat, A.F. et al. (2020), *Rekomendatsii po upravleniyu tekhnologicheskimi protsessami v podgotovitel'nykh i ochistnykh zaboyakh i otsenki gazodinamicheskoy opasnosti metodom seysmoakusticheskogo posledeystviya* [Recommendations for the control of technological processes in the preparation and production faces and the assessment of gas-dynamic hazard by the method of seismoacoustic aftereffect], IGTM NASU, Dnipro, Ukraine.
20. Korol, V.I. and Skobenko, A.V. (2013), *Akusticheskiy sposob prognoza gazodinamicheskikh yavleniy v ugol'nykh shakhtakh* [Acoustic method for forecasting gas-dynamic phenomena in coal mines], National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine.
21. Mirer, S.V., Khmara, O.I. and Maslennikov, E.V. (1988), "Technique and equipment for acoustic monitoring of outburst hazard of coal seams", *Sudden outbursts of coal and gas, mine aerology*, pp. 20-24.
22. Mirer, S.V., Khmara, O.I. and Maslennikov, E.V. (1987), "On the control of the outburst hazard of the face by the spectral characteristics of acoustic signals", *Issues of preventing sudden emissions*, pp. 52-61.
23. Koptikov, V.P., Boki, B.V., Mineiev, S.P. et al. (2016), *Sovershenstvovaniye sposobov i sredstv bezopasnoy razrabotki ugol'nykh plastov, sklonnykh k gazodinamicheskim yavleniyam* [Improvement of methods and means of safe development of coal seams prone to gas-dynamic phenomena], Promin, Donetsk, Ukraine.
24. Brukhanov, O.M., Nikiforov, A.V. and Kolchin, G.I. (2013), *Sposib prohozu hazodynamichnykh yavlyshch* [Method for predicting gas-dynamic phenomena], Ukraine, Pat. 77465.
25. Shadrin, A.V. (2005), *Sposob avtomaticheskogo tekushchego prognoza vnezapnykh vybrosov uglya i gaza* [Method for automatic current forecast of sudden coal and gas outbursts], Russia, Pat. 2250376.
26. Bobin, V.A. (2020), "Seismic frequency characteristic of a coal seam as a predictive parameter of the state of its block geological structure", *Engineering Physics*, no. 7, pp. 26-32. DOI: 10.25791/infizik.07.2020.1146
27. Nikiforov, A.V. and Kolchin, G.I. (2013), *Rukovodstvo po primeneniyu programmnogo obespecheniya PROGNOZ 4.0* [Software application guide PROGNOZ 4.0], MakNII, Makeievka, Ukraine.

Про авторів

Буллат Анатолій Федорович, академік Національної академії наук України, доктор технічних наук, професор, директор інституту, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), м. Дніпро, Україна, gtm.bulat@gmail.com

Мінеєв Сергій Павлович, доктор технічних наук, професор, завідувач відділу управління динамічними проявами гірського тиску, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), м. Дніпро, Україна, sergminee@gmail.com

Макеєв Сергій Юрійович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу проблем розробки родовищ на великих глибинах, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), м. Дніпро, Україна, smakeev@ukr.net

Янжула Олексій Сергійович, кандидат технічних наук, директор з технічного розвитку та інвестицій, Приватне акціонерне товариство «Донецьксталь – Металургійний завод» (ПАТ «Донецьксталь – МЗ»), Покровськ, Україна

Агафонов Олександр Васильович, доктор технічних наук, начальник відділу, Приватне акціонерне товариство «Донецьксталь – Металургійний завод» (ПАТ «Донецьксталь – МЗ»), Покровськ, Україна

Сачко Роман Миколайович, головний інженер ШУ «Покровське», Приватне акціонерне товариство «Донецьксталь – Металургійний завод» (ПАТ «Донецьксталь – МЗ»), Покровськ, Україна

Бондарь Андрій Анатолійович, провідний спеціаліст, Приватне акціонерне товариство «Донецьксталь – Металургійний завод» (ПАТ «Донецьксталь – МЗ»), Покровськ, Україна

About the authors

Bulat Anatolii Fedorovich, Academician of the National Academy of Science of Ukraine, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Professor, Director of the Institute, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine, gtm.bulat@gmail.com

Mineiev Serhii Pavlovych, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Head of Department of Pressure Dynamics Control in Rocks, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine, sergmineev@gmail.com

Makeiev Serhii Yuriyovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Mineral Mining at Great Depths, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine, smakeev@ukr.net

Yanzhula Oleksii Serhiyovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Director for Technical Development and Investments, Private Joint Stock Company "Donetskstal – Metallurgical Plant", Pokrovsk, Ukraine

Agafonov Oleksandr Vasiliyovych, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Head of Department, Private Joint Stock Company "Donetskstal – Metallurgical Plant", Pokrovsk, Ukraine

Sachko Roman Mykolaiovych, Chief Engineer of Mine Administration "Pokrovske", Private Joint Stock Company "Donetskstal – Metallurgical Plant", Pokrovsk, Ukraine

Bondar Andriy Anatoliyovych, Leading Specialist, Private Joint Stock Company "Donetskstal – Metallurgical Plant", Pokrovsk, Ukraine

Аннотация. Статья направлена на разработку новых методов управления технологическими процессами при проходке подготовительных выработок и добыче угля в очистных забоях. При ведении подземных горных работ часто причиной аварий служит так называемый «человеческий фактор»: шахтёры не всегда точно выполняют регламент работ по обеспечению безопасности, а именно, несвоевременно закрепляется выработка, нарушается глубина бурения дегазационных скважин, уменьшается время нагнетания жидкости при гидрорыхлении и др. В реальных условиях сложно проконтролировать все происходящие под землёй технологические процессы. Цель исследования – разработка для шахт рекомендаций по управлению технологическими процессами для снижения рисков возникновения газодинамического явления.

В статье получил развитие наиболее рациональный для управления технологическими процессами известный подход по оценке газодинамической опасности методом сейсмоакустического последствия. Проанализирован характер изменения акустической активности от вида технологии очистных работ. Получена более чёткая дифференцированная оценка напряженно-деформированного состояния призабойной части угольного пласта. Исследование акустического последствия при отработке угольного пласта в различных технологических режимах позволили оценить технологию ведения очистных работ с точки зрения обеспечения безопасных условий труда.

Построена структурная схема, на базе которой разработан алгоритм выполнения операций по оперативному управлению технологическими процессами в подготовительных и очистных забоях, в том числе на выбороопасных пластах. Сформулированы основные требования для корректировки существующего программного обеспечения по классификации и распознаванию технологических процессов по их акустическому последствию (следу) на записи систем прогноза, осуществляемого при ведении горных работ в шахте. Разработанные рекомендации по управлению технологическими процессами переданы для использования в ШУ «Покровское». Предложенные рекомендации приводят к повышению точности прогноза газодинамической опасности при ведении горных работ, позволяют контролировать технологические процессы, а также облегчают процедуру расследования и установления причин возникшей критической ситуации в случае возникновения аварии. Реализация рекомендаций позволит также выполнять оценку газодинамической опасности в моменты остановок на ремонтные и другие вспомогательные работы, выполнять прогноз геологических нарушений впереди движущегося забоя, определять величину зоны разгрузки призабойной части угольного пласта, оценивать эффективность мероприятий предотвращения газодинамических явлений.

Ключевые слова: акустическое последствие, технологические процессы, газодинамическое явление, безопасность ведения горных работ

Abstract. The objective of the work was to develop new methods for controlling technological processes during driving development headings and mining coal in stope faces. Accidents happened while performing of underground mining operations are often caused by the so-called "human factor": miners do not always accurately follow the safety regulations, namely, the roadways are not supported in due time, the gas-drainage boreholes are drilled to the wrong depth, duration of the fluid injection at hydraulic loosening is cut, etc. In real conditions, it is difficult to control all the technological processes occurred underground. Therefore, the purpose of the study was to develop recommendations for controlling technological processes in the mines in order to reduce the risks of gas-dynamic phenomenon occurrence.

In this work, the authors present further development of the most rational known approach to the control of technological processes consisted in assessing of gas-dynamic hazard by the method of seismoacoustic aftereffect. The nature of changes in acoustic activity depending on the type of winning operations was analyzed. The clearer differentiated assessment of the stress-strain state of the coal seam face area was obtained. The study of the acoustic aftereffect during

the mining of a coal seam by different technological methods made it possible to assess the technology of winning operations from the point of view of ensuring safe working conditions.

The block diagram was built, on the basis of which an algorithm of performing operational control of technological processes in development headings and stope faces was developed, including operations in prone-to-outburst seams. The basic requirements for the correction of existing software for the classification and recognition of technological processes by their acoustic aftereffect (trace) in the records of the predicting systems carried out during mining operations in the mine were formulated. These recommendations for the control of technological processes were proposed the Pokrovskoe Mine for implementation. The proposed recommendations improve accuracy of the forecasting of gas-dynamic hazards during mining operations, make it possible to control technological processes as well as simplify the investigation procedure for establish the causes of a critical situation in the case of an accident. The implementation of the recommendations will also make it possible to assess a gas-dynamic hazard during stoppages for repair and other auxiliary work, to predict geological disturbances ahead of the moving face, to determine the size of the unloading zone of the bottom area of the coal seam, and to assess the effectiveness of measures to prevent gas-dynamic phenomena.

Keywords: acoustic aftereffect, technological processes, gas-dynamic phenomenon, safety of mining operations

Стаття надійшла до редакції 03.02.2021