

FORECAST OF CATASTROPHES, SUMMED UP BY THE INEXORABLE INFLOW OF NATURAL AND TECHNOGENIC FACTORS ON THE STRENGTH OF THE OBJECTS

O. Shashenko¹, S. Hapiev¹, O. Solodyankin^{1}, Yu. Golovko¹, G. Ivanova¹ & O. Solodyankina¹*

¹Dnipro Polytechnic National Technical University, Dnipro, Ukraine

** Corresponding author: alex.solodyankin@gmail.com*

Abstract. The article is devoted to the creation of a methodology for predicting the catastrophic conditions of mining enterprises for the creation of a continuous monitoring system. The official definition of the concept of "catastrophe" is given and general classifications of catastrophic events by type, size, nature of origin and structure are considered. More attention in the article is paid to man-made disasters. A characteristic is given to technical systems that are well exposed to structural and mathematical analysis and it is more convenient to consider them as objects of investigation of catastrophic events. A study of damaging effects on technical systems and the process of their destruction has been carried out. The concept of survivability of structures and the influence of the scale effect on the probability of their destruction are considered. Separately, the classification of the dynamic phenomena of rock pressure on the stability of underground structures, the definition and conditions of their occurrence is given. The existing methods of forecasting gas-dynamic phenomena are presented and their brief description is provided. The principle of using the acoustic method for predicting the outburst hazard during the development of coal seams is considered. The advantages and disadvantages of the method in terms of obtaining reliable information about the state of the rock mass are presented. In terms of the development of the acoustic method for forecasting the outburst hazard of coal seams, the main scientific and practical research tasks have been identified.

Key words: disasters, technical system, dynamic rock pressure phenomena, acoustic forecasting method

ПРОГНОЗ КАТАСТРОФ, ОБУМОВЛЕНИХ НЕПЕРЕДБАЧЕНИМ ВПЛИВОМ ПРИРОДНИХ ТА ТЕХНОГЕННИХ ФАКТОРІВ НА СТІЙКІСТЬ ОБ'ЄКТІВ

О.М. Шащенко¹, С.М. Гапєєв¹, О.В. Солодянкін^{1}, Ю.М. Головка¹, Г.П. Іванова¹, О.А. Солодянкін¹*

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Україна

** Відповідальний автор: alex.solodyankin@gmail.com*

Анотація. Стаття присвячена питанням створення методології прогнозу катастрофічних станів гірничих об'єктів для створення системи безперервного контролю. Наведене офіційне визначення поняття катастрофи та розглянуті загальні класифікації катастрофічних подій за типом, обсягами, природою походження та структурою. Більша увага у статті приділяється техногенним катастрофам. Надана характеристика технічним системам, які зручніше розглядати як об'єкти дослідження катастрофічних подій, що піддаються структурному та математичному аналізу. Виконане дослідження пошкоджуючих впливів на технічні системи та процес їх руйнування. Розглянуте поняття живучості конструкцій та вплив масштабного ефекту на ймовірність їх руйнування. Наведена класифікація динамічних проявів гірського тиску на стійкість підземних споруд, визначення та умови їх виникнення. Наведені існуючі методи прогнозу газодинамічних явищ і надана їх коротка характеристика. Розглянутий принцип використання акустичного методу прогнозу викидонебезпечності при відпрацюванні вугільних пластів. Наведені переваги та недоліки методу в частині отримання достовірної інформації про стан масиву гірських порід. В плані розвитку акустичного методу прогнозу викидонебезпечності вугільних пластів визначені основні наукові і практичні задачі досліджень.

Ключові слова: катастрофи, технічна система, динамічні прояви гірського тиску, акустичний метод прогнозу

Вступ. Сучасні промислові об'єкти зазвичай є складними конструктивними та багатофункціональними структурами, які в процесі експлуатації знаходяться під непередбаченим впливом природних та штучних факторів, що можуть призводити до раптового руйнування як окремих їх елементів, так і об'єктів в цілому. Масштабні аварії таких об'єктів (дамби хвостосховищ, греблі водойм, підземні виробки, розташовані на великих глибинах, що проводяться у високонапруженому газонасиченому масиві тощо) класифікують як техногенні катастрофи, що супроводжуються великими матеріальними збитками та людськими втратами. Створення методів та засобів комплексного аналізу, оперативного контролю та прогнозу раптового виникнення техногенних катастроф є актуальною проблемою державного значення, на вирішення якої спрямовані наукові та практичні питання, наведені у статті.

Результати та обговорення. Катастрофа, якщо говорити про це явище офіційною мовою [1] – це велика за масштабами аварія чи інша подія, що призводить до тяжких наслідків.

Всі види катастроф можна розділити на два типи: природні та гуманітарні.

Природні катастрофічні феномени, виникнення яких не залежить від людини, за рівнями складності об'єктів діляться на:

- космічні: зіткнення галактик, вибухи зірок, зіткнення Землі з космічним тілом;
- глобальні:
 - в земній корі (виверження вулканів, землетруси),
 - в гідросфері (цунамі, повінь),
 - в атмосфері (озонові діри, пилові бурі),
 - в біосфері – різке вимирання окремих видів організмів.

Гуманітарні катастрофічні явища, на відміну від природних, завжди пов'язані з наявністю в універсумі людини, здатної систематизувати інформацію про навколишнє середовище і створювати на її основі технології все більш високого рівня. На основі цих технологій відбувається не тільки зміна людини як біологічного виду, але і змінюється стан навколишнього середовища у все зростаючих масштабах. До таких феноменів відносяться:

- еволюційні: кількість інформації переходить в нову якість, що призводить до появи нових технологій і техніки (наука і культура);
- соціальні: революції, терористичні акти, особисті трагедії;
- техногенні: промислові та транспортні, пов'язані з технологіями і технікою.

Предметом наступних досліджень є техногенні катастрофи. Серед всіх класів катастроф цей є найбільш масовим, але, при цьому, найбільш прогнозованим і керованим. Отримані в цьому напрямку результати дуже важливі, дозволять знизити рівень ризикових ситуацій в промисловості, зберегти людські життя і зменшити матеріальні витрати.

Якщо говорити про техногенні катастрофи, то правильніше буде скористатися терміном «технічні системи» – машини та механізми, будівлі, споруди, об'єкти. Об'єднані призначенням і організаційною структурою вони утворюють так звані організаційно-технічні системи, наприклад, геотехнічні, екологічні, економічні тощо.

Технічні системи характеризуються якісними і кількісними ознаками (рис. 1) [2].

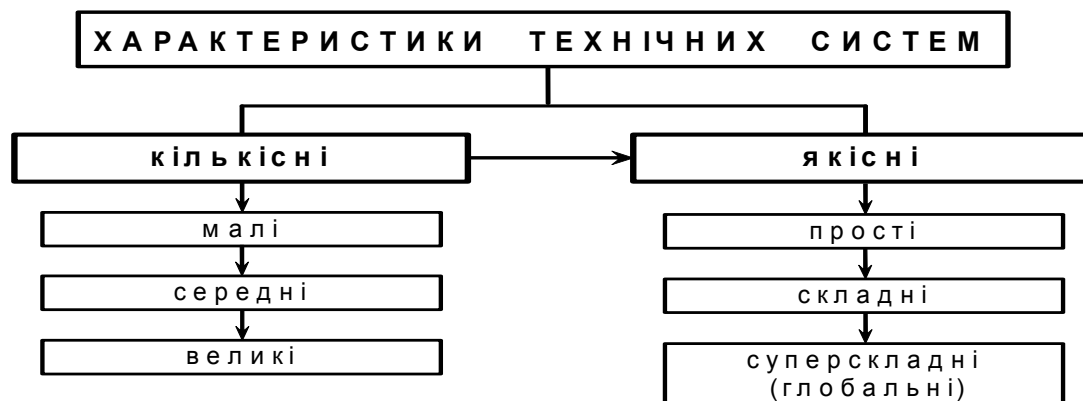


Рис. 1. Характеристики технічних систем

Між кількісними і якісними характеристиками існує тісний взаємозв'язок.

Кількісні характеристики в більшій мірі пов'язані з геометричними розмірами систем і кількістю вхідних до них елементів, структура яких порівняно однорідна, їх можна розділити на: малі $10 \cdot a^0$; середні $10 \cdot a^1$ і великі $10 \cdot a^2$, де a – максимально неподільний елемент системи найменших розмірів.

Якісні характеристики в більшій мірі пов'язані зі структурою системи в цілому, кількістю її рівнів і складними, найчастіше нелінійними, залежностями між ними.

Залежно від складності технічні системи можна розділити на прості, складні й суперскладні (або глобальні).

Прості – це однорівневі системи, з мінімальною кількістю компонентів і зв'язків між ними, для яких відомі вихідні параметри. Дослідження і опис таких систем не викликає ускладнень через мале число змінних, а, отже, і можливих станів цих систем.

Складні системи складаються з декількох рівнів, відрізняються підвищеною кількістю компонентів і зв'язків між ними, можливою неповнотою вихідної інформації. Дослідження і опис таких систем викликає певні труднощі через велику кількість змінних, також накладаються додаткові зовнішні впливи, а це призводить до збільшення можливих станів цих систем.

Суперскладні або глобальні – це багаторівневі й багатокомпонентні системи з великою кількістю зв'язків і складною різномірною структурою. Такі системи, як правило, є багатопараметричними. Вихідна інформація про них часто буває неповною. Їх дослідження і опис викликає серйозні труднощі через велике розмаїття зовнішніх впливів і їх імовірнісний характер, а, отже, через додаткові внутрішні чинники, що виникають, а це призводить до багаторазового збільшення можливих станів цих систем. Вони мають розвинені комунікації, насичені засобами автоматики. У міру розвитку зростає їх чутливість до різного роду зовнішніх ушкоджувальних впливів.

Аварії і катастрофи технічних систем, до яких призвели природні та техногенні катаклізми можна проілюструвати такими прикладами: катастрофи на Чорнобильській АЕС (1986), на АЕС Фукусіма (2011), загибель екіпажів астронавтів «Челенджера» (1986) і «Колумбії» (2003), аварії на Саяно-Шушенській ГЕС (2009), нафтових платформах у Мексиканській затоці (2010), розриви нафто- і газопроводів, падіння повітряних суден, катастрофи підводних човнів, аварії на шахтах і багато інших подій з людськими жертвами і зараженням навколишнього середовища.

Спільними ознаками для будь-якого об'єкта в наведених вище прикладах є, по-перше, те, що розгляду піддаються складні, що змінюються в часі, системи зі стохастичним розподілом внутрішніх зв'язків, і по-друге, це те, що катастрофічні явища завжди відбуваються досить швидко, істотно змінюючи при цьому структуру об'єкта.

Теоретично будь-яка динамічна система може бути описана системою диференціальних рівнянь, рішенням якої є деяка функція. Таку функцію можна розкласти в ряд Тейлора і привести до виду, зручного для аналізу. Для цього систему координат слід зрушити на величину вільного члена, а потім викривляючи і обертаючи осі координат, позбутися від ступенів високого порядку, залишивши ступінь не вище четвертого. Коефіцієнти при змінній величині є деякі керуючі параметри, від яких залежить стан розглянутої системи.

Дослідження, виконані Р. Тома, Р. Гилмором, показали що, завдяки такому підходу, всі зміни динамічних систем можна звести до так званих семи елементарних катастроф, які можна піддати аналізу. Теорія, заснована на викладених вище передумовах, отримала назву теорія катастроф. Імовірно на її основі можна здійснювати прогноз поведінки складних систем будь-якої природи: від соціальних до природних і технічних.

Таким чином, спираючись на сказане, катастрофічними слід називати явища, що виникають в багатопараметричних динамічних системах, що нелінійно розвиваються (природних, технічних, гуманітарних), коли під впливом кількісних змін, що повільно накопичуються, в керуючих параметрах вони раптово втрачають стійкість і переходять в інший якісний стан. Цей стан характеризується новим інформаційним полем. Під керуючими параметрами в разі

складних конструкцій маються на увазі зовнішні впливи, що змінюються в часі (силові, хімічні, радіаційні тощо) на систему та її внутрішні (фізичні) властивості.

Впливаючі дії, що призводять до ушкодження можуть бути аварійними і катастрофічними, різниця між ними лише в масштабах і наслідках цих ушкоджень. Не всяка аварія призводить до катастрофи, але причиною практично всіх катастроф є аварії.

Умовна класифікація катастроф за фінансовими витратами на ліквідацію, тривалості негативного впливу, площі ураження, і найголовніше, за числом жертв і віддалених наслідків, представлена на рис. 2.

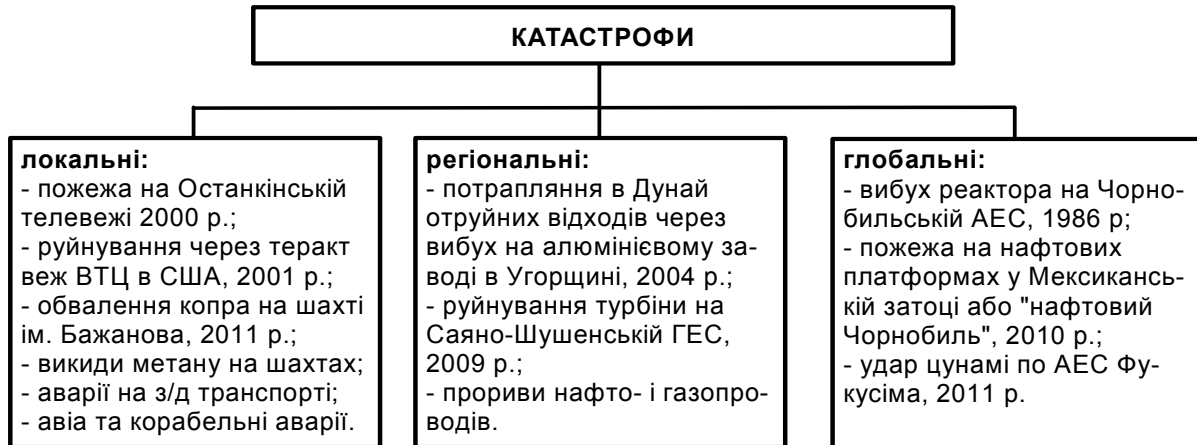


Рис. 2. Класифікація катастроф

Вихід з ладу (руйнування) одного або декількох елементів системи ще не означає припинення її функціонування. У цьому сенсі «живучість» – це властивість пошкодженої системи повністю або частково виконувати своє призначення.

Проблема живучості складних динамічних систем може бути розглянута з позицій фундаментальних наук. Поведінка таких систем описується диференціальними рівняннями високого порядку, а вичерпання ними живучості – втратою стійкості рішення таких рівнянь. Живучість розглядається в рамках узагальненої проблеми стійкості – математичної теорії катастроф.

В даний час ряд експертів схиляється до використання терміна «живучість» при запроектних навантаженнях [3].

Навантаження, які діють на несучі конструкції, схематично можна представити так, як це показано на рис. 3. При цьому слід розрізняти проектні, максимальні проектні та запроектні навантаження.

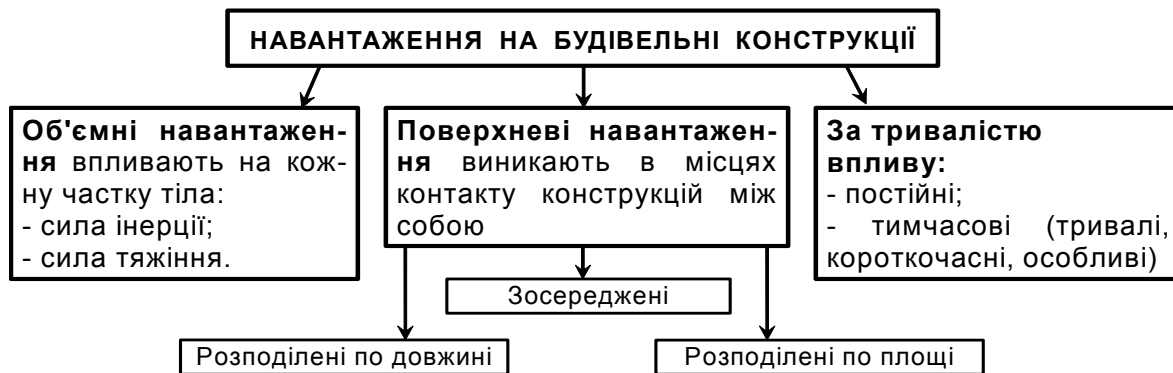


Рис. 3. Навантаження на несучі конструкції

Проектні навантаження – це дії, які встановлюються діючою нормативно-технічною документацією.

Максимальні проектні навантаження – це дії, для яких визначені вихідні події і кінцеві стани, передбачені системи безпеки, їх наслідки можуть бути максимально можливими, але в межах встановлених проектом.

Запроектні навантаження – це дії, викликані вихідними подіями, що невраховані, помилковими рішеннями персоналу, які призводять до додаткових, в порівнянні з проектними, відмов елементів системи.

Рішення проблеми безпеки будь-якої системи зводиться до забезпечення її головних властивостей: надійності і живучості. Умовно період експлуатації об'єкта чи конструкції до її руйнування (катастрофи) можна уявити трьома фазами:

- перша фаза відповідає штатному режиму роботи об'єкта, найбільш тривала за часом;
- друга фаза відповідає обмеженою працездатністю об'єкта з накопиченими, з плином часу, дефектами, пошкодженнями, відмовами деяких елементів, тобто «живучості»;
- третя фаза відповідає повному руйнуванню (аварії, катастрофи) об'єкта, яка відбувається раптово за короткий проміжок часу (рис. 4).

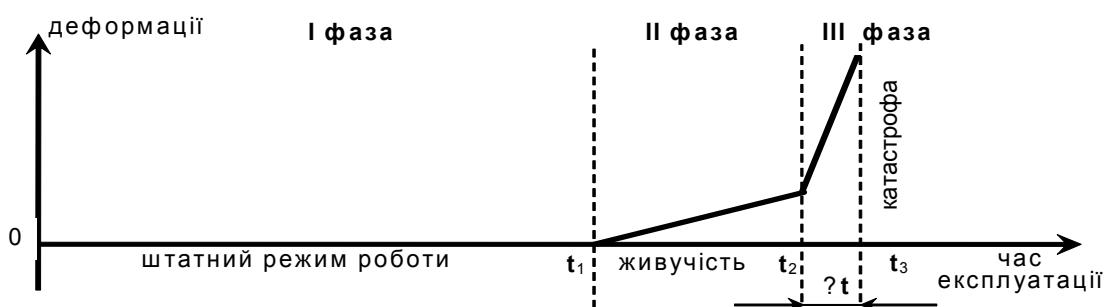


Рис. 4. Період експлуатації об'єкта

Об'єктом дослідження механіки руйнування, а саме руйнування призводить до катастроф, є конструкційні матеріали систем, що піддаються постійним зовнішнім впливам.

Особливе місце в механіці руйнування займає вивчення процесу закритичної поведінки елементів конструкцій, яке і призводить до аварій і катастроф. Елементи систем в закритичній (поза межній) області роботи послідовно виходять з ладу, перерозподіляючи навантаження на інші елементи, і породжують тим самим внутрішні для самої системи негативні впливи [4]. Зовнішні та внутрішні впливи призводять до подальшої відмови елементів, і система переходить в аварійний стан. Наскільки швидко наступить аварійний стан системи, в значній мірі залежить від ступеня її статичної невизначеності. Статично невизначені конструкції (саме в силу своєї невизначеності) надають більший опір руйнуванню, тобто більш «живучі», в порівнянні зі статично визначними.

У міру розвитку технічних систем все більшого значення набуває оцінка масштабного ефекту – ще одного небезпечного та непередбачуваного чинника, що призводить до аварій і катастроф.

Саме масштабний ефект, на думку деяких дослідників [5-8], викликав низку неояснених аварій морських суден, авіалайнерів, обвалення гірничих виробок і руйнування інших технічних систем. Єдиною загальною ознакою цих аварій є те, що вони відбувалися зі складними об'єктами великих розмірів [9].

Ще в 1938 р. Вейбулл припустив, на підставі статистичних даних, що причиною масштабного ефекту є внутрішні дефекти критичного розміру, які стають більш вірогідними у зразках великих розмірів.

Стосовно до технічних систем можна виділити наступні види масштабного ефекту: об'ємний, площинний і лінійний.

Прояви об'ємного масштабного ефекту, в більшій мірі, характерні для геомеханічних систем. В цьому напрямку існують численні дослідження Протод'яконова М.М., Чиркова С.С., [10], Койфмана М.І. [11], Шашенка О.М. [12] та інших вчених. Аналізуючи результати власних

дослідів і відомих в літературі, Койфман М.І. запропонував при визначенні міцності гірських порід, розрізняти масштабні ефекти:

- першого роду або об'ємний, пов'язаний зі структурною неоднорідністю матеріалу, що випробовують, і наявністю випадково розподілених за обсягом дефектів;
- другого роду або поверхневий, обумовлений якістю обробки зразків і ступенем руйнування поверхневого шару.

При переході від зразка до масиву об'ємний масштабний ефект, на думку Койфмана М.І. [13], є головним.

Для машинобудування і металургії, авіа- і суднобудування характерним є прояв площинного масштабного ефекту, пов'язаного з поперечними розмірами зразків. Широке дослідження про зв'язок міцності металів з розмірами зразків міститься в роботі Чечуліна Б.Б. [14]. С.В. Серенсен і В.П. Коган, використовуючи теорію «найбільш слабкої ланки» і функцію розподілу Вейбулла, описали масштабний ефект з урахуванням нерівномірності розподілу напружень в поперечному перерізі тіла [15].

У сучасному будівництві багато конструкцій складаються із стрижневих елементів у яких довжина набагато більша поперечних розмірів, тому саме для стрижневих конструкцій характерним є прояв лінійного масштабного ефекту. Лінійний масштабний ефект найменш вивчений, хоча його можна спостерігати в стрижневих конструкціях: мостах, естакадах, копрах, щоглах, фермах, вантово-стрижневих і змішаних системах, великопрольотних конструкціях стадіонів. Існує низка робіт, в яких він побічно присутній [16-18]. Однак цих досліджень явно недостатньо.

Говорячи про навантаження (див. рис. 3) слід окремо зупинитися на особливих їх видах, характерних для умов експлуатації підземних об'єктів – т.зв. динамічних.

До динамічних проявів гірського тиску відносять швидкоплинні катастрофічні явища, що виникають в підземних виробках. До них, перш за все, відносять гірські удари, стріляння гірських порід, викиди породи, вугілля і газу і т.п. У вугільних шахтах ці явища пов'язані з наявністю в вугільних пластах і породах газу метану. Вони носять назву газодинамічних. При цьому відбувається швидке руйнування газоносної або породної товщі. Переміщення її в виробку супроводжується підвищенням, у порівнянні зі звичайним, газовиділенням.

Виникнення газодинамічних явищ є наслідком сукупності природних факторів, що характеризують родовище як геологічний об'єкт, і результатів гірничої діяльності. Обсяг викинутих в підземні виробки зруйнованих порід і вугілля обмежений, але при цьому газ, що виділився під час протікання газодинамічного явища, за дуже короткий час може заповнити практично всю мережу гірничих виробок. Це робить газодинамічні явища найбільш небезпечними для людини проявами гірського тиску.

Ступінь небезпеки газодинамічних явищ залежить від їх характеру і масштабу. Газодинамічні явища класифікують за:

- кількістю продуктів викиду, визначеного масою роздробленого і викинутого в виробку вугілля (породи) в тоннах і газу, що виділився в м^3 ;
- інтенсивності, що дорівнює відношенню маси викинутого вугілля (породи) до тривалості викиду й вимірюється в т/хв ;
- параметру загазованості, який дорівнює відношенню кількості газу, що виділився до маси викинутого вугілля (породи), котрий вимірюється в $\text{м}^3/\text{т}$.

Враховуючи той факт, що раптові викиди вугілля (породи) і газу є найбільш небезпечними і поширеними, будемо надалі говорити в основному про це газодинамічне явище, маючи на увазі повний комплекс динамічних проявів гірського тиску, куди відносяться навіть ті випадки, коли виділення газу відсутнє.

Сучасні гіпотези, що трактують газодинамічні явища як багатопараметричні, є, без сумніву, найбільш близьким поясненням механізму розв'язання раптового викиду вугілля (породи) і газу. Відповідно до них газодинамічне явище є втратою стійкості геомеханічної системи, в якій накопичена потенційна енергія перевершила деякий критичний рівень, який визначається структурними особливостями газонасичених гірських порід, і супроводжується її різким

переходом в енергію механічного руйнування молекулярних зв'язків і кінетичну енергію викиду зруйнованої гірської маси і газу.

Каталізатором розвитку раптового викиду вугілля (породи) і газу при такому трактуванні може послужити будь-який, навіть незначний, зовнішній вплив, наприклад, запуск механізму в забої виробки.

Безпечно відпрацювання викидонебезпечних вугільних пластів має на увазі обов'язкове застосування поточного прогнозу стану породного масиву поблизу виробки [19-25]. До тепер розроблена достатня кількість методів прогнозу, що розрізняються як за фізичними передумовами, покладеним в їх основу, так і за параметрами, за допомогою оцінки яких робиться висновок про стан області, яка спостерігається. Достовірність отриманої за їх допомогою інформації визначається тим, наскільки правильно був зроблений вибір відповідного методу стосовно до місцевих гірничо-геологічних умов та технології відпрацювання вугільних пластів. Це накладає обов'язкові вимоги до рівня підготовленості персоналу, відповідального за проведення і обробку результатів методу прогнозу, що був застосований.

Найбільш відомими в даний час є методи прогнозу газодинамічних явищ, засновані на:

- аналізі якості бурових дрібничок при бурінні контрольних шпурів;
- аналізі тривалості буріння одного метра контрольного шпуру;
- аналізі початкової швидкості газовиділення зі шпурів;
- динаміці початкової швидкості газовиділення з контрольних шпурів;
- безперервної реєстрації акустичної емісії;
- аналізі акустичних сигналів апаратурою АПСС.

Розглянемо їх у викладеному вище порядку.

Буріння свердловин в аномально напружених вугільних пластах супроводжується руйнуванням і непружною деформацією вугілля навколо свердловини. При цьому має місце підвищений вихід бурових дрібничок (штибу). При діаметрі коронки 43 мм нормальний вихід штибу зазвичай становить близько 2,5 л/м (за обсягом) або 2,0 кг (за вагою). У небезпечних за викидами зонах обсяг штибу сягає 100 і більше літрів з 1-го метра шпуру, сягаючи 40-кратного і вище збільшення виходу бурового дріб'язку з об'єму шпуру у відношенні до звичайного.

В процесі буріння шпурів по вугіллю на викидонебезпечних пластах час буріння одного метра шпуру залежить не стільки від міцності вугілля, скільки від його напруженого стану, так як у разі, якщо напруження перевершують міцність вугілля, шпур мимовільно зменшується в об'ємі за рахунок руйнування його стінок. Починається затискання бурового інструменту, і час буріння істотно збільшується.

Цей показник надзвичайно суб'єктивний, але його визначення пов'язане з мінімальними втратами і найменш трудомістким.

Вимірювання початкової швидкості газовиділення проводять в контрольному шпурі Ø 43 мм на інтервалах 1,5; 2,0; 3,5 м при вимірювальній камері 0,5 м. Шпури необхідно бурити через кожні 2 м в підготовчих виробках, в комбайнових нішах при роботі за схемою «лава-штрек» і в нижніх просіках крутих пластів при польовій підготовці; через 2,5 м – в очисних вибоях. Зона відноситься до небезпечної, якщо хоча б в одному з інтервалів контрольного шпуру виміряна початкова швидкість газовиділення з шпуру дорівнює gHk і більш. Розмір небезпечної зони в лавах обмежують по падінню-повстанню (або простяганню) сусідніми шпурами, в яких виміряна швидкість газовиділення менше gHk . Критичні значення початкової швидкості газовиділення gHk залежать від марки вугілля й коливаються від 4,5 до 5 л/хв.

Ідея наступного способу заснована на факті зниження швидкості газовиділення з масиву в шпур при аномально високих напруженнях у вугільному пласті, оскільки в таких зонах знижується газопроникність вугілля. Технічна реалізація методу така ж, як за початковою швидкістю газовиділення, однак, інформативною ознакою є динаміка зміни цієї швидкості.

Сейсмоакустичний прогноз викидонебезпечності заснований на факті підвищення інтенсивності мікротріщиноутворення в породному масиві в разі викидонебезпечної ситуації, що зароджується [26].

Основною інформативною ознакою при прогнозі викидонебезпечності за акустичною емісією (AE) породного масиву є її активність, яка визначається, як відношення загального числа імпульсів AE , зареєстрованих звукоуловлюючою апаратурою за інтервал спостереження, до тривалості цього інтервалу. Критерій «критичного перевищення» повинен задовольняти наступній умові:

$$N_{кр} \cdot k \geq P \cdot N_k,$$

де N_k – поточна активність, $N_{кр}$ – активність, при реєстрації якого видається прогноз «небезпечно», P – коефіцієнт, що залежить від N_k , ($P = 4$ при $N_k \geq 3,6$; $P = 4,5$ при $N_k \geq 2 \div 3,5$ імпульс/год).

Цей прогноз працював досить ефективно на невеликих глибинах, але в міру збільшення глибини вугілля стає більш пластичним і сейсмічність пластів істотно знижується. При рівнях гучності близько 2 імпл./год, а таких пластів більше 80%, сейсмоакустичні критерії небезпеки стають менш достовірними. Це призводить до того, що все частіше трапляються викиди в потенційно безпечних за сейсмоакустичним прогнозом зонах.

Акустичний метод прогнозу викидонебезпечності вугільних пластів апаратурою АК є принципово новим методом. Він призначений для безперервної оцінки ступеня напруженого стану непорушеного гірського масиву в околі виробки в процесі ведення гірничих робіт і заснований на активному зондуванні області, що досліджується, акустичними сигналами, які генеруються в масиві працюючими у вибої механізмами. Як зондувальний сигнал використовують шум прохідницького або очисного комбайна, струга або конвеєр-струга, бурового інструменту.

Інформативним параметром, що підлягає обробці спеціальною апаратурою АПСС, встановленої на поверхні шахти, служить структура акустичних сигналів, які пройшли через досліджувану область і сприймаються датчиком, розташованим далеко від місця ведення робіт (рис. 5). Кінцевою інформацією є відомості у вигляді безрозмірного показника, що свідчить про рівень потенційної енергії, зосередженої в зоні, що відпрацьовується, і змінюється в міру посування вибою. Висновок «небезпечно» видається, якщо значення інформативної ознаки перевищує деякий критичний рівень.



Рис. 5. Апаратура АПСС

Цей метод не залежить від природної сейсμοактивності масиву і дозволяє контролювати процес утворення в ньому зон аномальної концентрації напружень. Цим же методом здійснюється контроль ефективності проведення противикидних заходів [27].

Використання сейсмоакустичних коливань як інформативного середовища, найбільш близько підходить до вирішення питань комплексного аналізу, оперативного контролю та прогнозу критичних напружено-деформованих станів, що призводять до раптового виникнення техногенних катастроф.

На даний час науковцями НТУ «Дніпровська політехніка» розроблено апаратуру сейсмоакустичного спостереження для використання в умовах підвищеної небезпеки. За результатами численних досліджень у промислових умовах запропоновано декілька критеріїв, що можуть слугувати як прогностичні ознаки можливого катастрофічного розвитку подій. Запропоновано також деякі теоретичні моделі можливого обґрунтування обраних методів контролю та прогнозу.

Разом з тим, не зважаючи на досить широке використання, надійність таких методів не є задовільною. При цьому принциповим недоліком є відсутність послідовного теоретичного обґрунтування методів реєстрації та обробки сейсмоакустичних даних, що повинні

враховувати особливості джерел коливань, фізичних та геометричних властивостей середовища розповсюдження хвиль, характеристики датчиків і вимірювальної апаратури, яка може бути використана.

Головним завданням наукових досліджень за цим напрямом на даному етапі є створення методології прогнозу катастрофічних станів гірничих об'єктів, що поєднує методи, засновані на виділенні найбільш інформативної складової в структурі акустичних (сейсмоакустичних) полів в околі об'єктів, критеріальній оцінці виділених прогностичних ознак, створенні системи безперервного контролю стану об'єкту. Для досягнення мети поставленого завдання необхідно вирішити наступні першочергові наукові та практичні задачі:

- створити математичну модель розповсюдження акустичних коливань в складноструктурних середовищах та встановити закономірності зв'язку компонентів акустичних сигналів зі змінами напружено-деформованого стану об'єкту;
- обґрунтувати виділення прогностичних ознак в структурі акустичного сигналу та розробити критерії щодо катастрофічної зміни стану об'єкту;
- дослідити ймовірнісні сценарії катастрофічного перебігу подій під впливом непередбачених природних та людських факторів;
- створити методики багатокритеріального аналізу за умови мінімізації виникнення помилок прогнозування двох типів: пропущення сигналу щодо катастрофічності стану об'єкту, і навпаки – неправдивий сигнал про насування катастрофи (помилкова тривога);
- розробити методики безперервного контролю стану об'єкту на основі багатокритеріального аналізу прогностичних ознак.

Висновок. Проблема катастрофічних динамічних та псеводинамічних явищ під час функціонування об'єктів в умовах непередбачуваної зміни зовнішнього навантаження, зокрема динамічних явищ під час видобутку корисних копалин, є актуальною для промисловості і наукових шкіл ПАР, Канади, Китаю, Індії, Польщі, Росії, Казахстану, Узбекистану, України. Саме в цих країнах відбуваються відповідні дослідження. Аналіз інформації свідчить про те, що на цей час означена проблема не є вирішеною головним чином з-за браку ідей, що дозволили б створити нові адекватні математичні моделі цього фізичного явища. Науковий доробок, ідеї і гіпотези, що напрацьовані дотепер у наукових школах НТУ «Дніпровська політехніка» та наукові дослідження, що виконані сьогодні, дозволяють вирішити цю фундаментальну проблему на новому аналітичному і практичному рівні завдяки послідовному отриманню результатів за поставленими завданнями.

References

1. Кодекс цивільного захисту України. Режим доступу: <https://kodeksy.com.ua/dictionary/k/katastrofa.htm>
Kodeks tsyvil'noho zakhystu Ukrainy. Rezhym dostupu: <https://kodeksy.com.ua/dictionary/k/katastrofa.htm>
2. Иванова А.П. Живучесть и разрушение многоэлементных конструкций // Техногенні катастрофи, моделі, прогноз, запобігання: Матеріали III міжнародної науково-технічної конференції. – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2013. – С. 64-73.
Yvanova A.P. Zhyvuchest' y razrushenye mnogoélementnykh konstruktsyy // Tekhnoheni katastrofy, modeli, prohnoz, zapobihannya: Materialy III mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi. – Dnipropetrovs'k: RVK NHU, 2013. – S. 64-73.
3. Кущенко В.Н. Основные принципы обеспечения безопасности строительных конструкций // Металлические конструкции. – Макеевка: ДонНАСА. – 2009. – №2. – С. 147-155.
Kushchenko V.N. Osnovnyye printsipy obespecheniya bezopasnosti stroitel'nykh konstruktsiy // Metallicheskiye konstruktsii. – Makeyevka: DonNASA, 2009. – №2. – S. 147-155.
4. Александров А. В. Роль отдельных элементов стержневой системы при потере устойчивости // Вестн. МИИТа. – 2001. – № 5. – С. 46-50.
Aleksandrov A. V. Rol' ot del'nykh elementov sterzhnevoy sistemy pri potere ustoychivosti // Vestn. MIITa. – 2001. – № 5. – S. 46-50.

5. Бойд Дж. М. Практические примеры проектирования конструкции судов // Разрушение: В 7 т. – М.: Metallurgizdat, 1977. – Т. 5. – С. 343-420.
Boyd Dzh. M. Prakticheskiye primery proyektirovaniya konstruktsii sudov // Razrusheniye: V 7 t. – М.: Metallurgizdat, 1977. – Т. 5. – С. 343-420.
6. Оберт Л. Хрупкое разрушение горных пород // Разрушение: В 7 т. – М.: Metallurgizdat, 1976. – Т. 7. – Ч. 1. – С. 59-126.
Obert L. Khrupkoye razrusheniye gornyykh porod // Razrusheniye: V 7 t. – М.: Metallurgizdat, 1976. – Т. 7. – Ч. 1. – С. 59-126.
7. Розен Б. У., Дау Н. Ф. Механика разрушения волокнистых композитов // Разрушение: В 7 т. – М.: Metallurgizdat, 1976. – Т. 7. – Ч. 1. – С. 308.
Rozen B. U., Dau N. F. Mekhanika razrusheniya voloknistyykh kompozitov // Razrusheniye: V 7 t. – М.: Metallurgizdat, 1976. – Т. 7. – Ч. 1. – С. 308.
8. Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Кужель С.В. Масштабный эффект в горных породах: монография. – Днепропетровск: Арт-Пресс, 2004. – 132 с.
Shashenko A.N., Sdvizhkova Ye.A., Kuzhel' S.V. Masshtabnyy effekt v gornyykh porodakh: monografiya. – Dnepropetrovsk: Art-Press, 2004. – 132 s.
9. Сухонос С.И. Масштабная гармония Вселенной. – М.: София, 2000. – 304 с.
Sukhonos S.I. Masshtabnaya garmoniya Vselennoy. – М.: Sofiya, 2000. – 304 s.
10. Протодяконов М.М., Чирков С.Е. Трещиноватость горных пород в массиве. – М.: Недра, 1964. – 67 с.
Protod'yakonov M.M., Chirkov S.Ye. Treshchinovost' gornyykh porod v massive. – М.: Nedra, 1964. – 67 s.
11. Койфман М.М. О влиянии размеров на прочность образцов горных пород // Исследования физико-механических свойств горных пород применительно к задачам управления горным давлением. – М.: АН СССР, 1962. – С. 6-14.
Koifman M.M. O vliyaniy razmerov na prochnost' obraztsov gornyykh porod // Issledovaniya fiziko-mekhanicheskikh svoystv gornyykh porod primenitel'no k zadacham upravleniya gornym davleniyem. – М.: AN SSSR, 1962. – С. 6-14.
12. Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Гапеев С.Н. Деформируемость и прочность массивов горных пород: монография. – Д.: РИК НГУ, 2008. – 224 с.
Shashenko A.N., Sdvizhkova Ye.A., Gapeyev S.N. Deformiruyemost' i prochnost' massivov gornyykh porod: monografiya. – D.: RIK NGU, 2008. – 224 s.
13. Койфман М.И. Главный масштабный эффект в горных породах и углях // Проблемы механизации горных работ. – М.: АН СССР, 1963. – С. 39-56.
Koifman M.I. Glavnyy masshtabnyy effekt v gornyykh porodakh i uglyakh // Problemy mekhanizatsii gornyykh работ. – М.: AN SSSR, 1963. – С. 39-56.
14. Чечулин Б.Б. Масштабный фактор и статистическая природа прочности металлов. – М.: Metallurgizdat, 1963. – 120 с.
Chechulin B.B. Masshtabnyy faktor i statisticheskaya priroda prochnosti metallov. – М.: Metallurgizdat, 1963. – 120 s.
15. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность: руководство и справочное пособие. – М.: Машиностроение, 1975. – 488 с.
Serensen S., Kogayev V., Shneyderovich R. Nesushchaya sposobnost' i raschety detaley mashin na prochnost': rukovodstvo i spravochnoye posobiye. – М.: Mashinostroyeniye, 1975. – 488 s.
16. Кезин А.С. Численное моделирование в задачах надежности и устойчивости стержневых систем при воздействиях в виде случайных процессов: дис. к.т.н. – М., 2003. – 212 с.
Kezin A.S. Chislennoye modelirovaniye v zadachakh nadezhnosti i ustoychivosti sterzhnevyykh sistem pri vozdeystviyakh v vide sluchaynykh protsessov: dis. k.t.n. – М., 2003. – 212 s.
17. Одинг И. А. Теория дислокации в металлах и ее применение. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 84 с.
Oding I. A. Teoriya dislokatsii v metallakh i yeye primeneniye. – М.: Izd-vo AN SSSR, 1959. – 84 s.

18. Струнин Б.М. К теории масштабного эффекта при растяжении // Заводская лаборатория. – 1960. – № 9. – С. 1123-1128.
Strunin B.M. K teorii masshtabnogo effekta pri rastyazhenii // Zavodskaya laboratoriya. – 1960. – № 9. – S. 1123-1128.
19. Сдвижкова Е.А., Масленников Е.В., Солодянкин А.В., Бабец Д.В. Анализ теоретических предпосылок для создания системы геомониторинга // Сб. науч. тр. НГУ. – Днепропетровск: РИК НГАУ, 2002. – № 15, Том. 1. – С. 68-74.
Sdvizhkova Ye.A., Maslennikov Ye.V., Solodyankin A.V., Babets D.V. Analiz teoreticheskikh predposylok dlya sozdaniya sistemy geomonitoringa // Sb. nauch. tr. NGU. – Dnepropetrovsk: RIK NGAU, 2002. – № 15, Tom. 1. – S. 68-74.
20. Шашенко А.Н., Масленников Е.В., Солодянкин А.В. Акустический контроль породного массива, как составляющая системы геомониторинга // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог. – 2004. – Вып. 85. – С. 55-58.
Shashenko A.N., Maslennikov Ye.V., Solodyankin A.V. Akusticheskiy kontrol' porodnogo massiva, kak sostavlyayushchaya sistemy geomonitoringa // Razrabotka rudnykh mestorozhdeniy. – Krivoy Rog. – 2004. – Vyp. 85. – S. 55-58.
21. Шашенко А.Н., Масленников Е.В., Янко В.И., Солодянкин А.В. Моделирование структурных и силовых неоднородностей в системе геомониторинга // Сб. науч. тр. НГУ. – Днепропетровск: РИК НГУ, 2004. – № 19, Том. 1. – С. 39-48.
Shashenko A.N., Maslennikov Ye.V., Yanko V.I., Solodyankin A.V. Modelirovaniye strukturnykh i silovykh neodnorodnostey v sisteme geomonitoringa // Sb. nauch. tr. NGU. – Dnepropetrovsk: RIK NGU, 2004. – № 19, Tom. 1. – S. 39-48.
22. Шашенко А.Н., Солодянкин А.В. Автоматизированный мониторинг геомеханического пространства производственных объектов // Проблеми гірського тиску. – Донецьк: ДонНТУ, 2004. – Вип. 11. – С. 106-117.
Shashenko A.N., Solodyankin A.V. Avtomatizirovanny monitoring geomekhanicheskogo prostranstva proizvodstvennykh ob'yektov // Problemi girs'kogo tisku. – Donets'k: DonNTU, 2004. – Vip. 11. – S. 106-117.
23. Shashenko A., Maslennikov Y., Solodyankin A. Development of acoustic control method of mode of deformation of the coal massif in the process of underground mining // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2006. – № 5. – С. 55-57.
24. Шашенко А.Н., Масленников Е.В., Солодянкин А.В. Оперативный прогноз зон геологических нарушений искусственно сформированными акустическими сигналами // Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг: КТУ, 2006. – Вип. 2 (12). – С. 35-39.
Shashenko A.N., Maslennikov Ye.V., Solodyankin A.V. Operativnyy prognos zon geologicheskikh narusheniy iskusstvenno sformirovannymi akusticheskikh signalov // Visnyk Kryvoriz'koho tekhnichnoho universytetu. – Kryvyi Rih: KTU, 2006. – Vyp. 2 (12). – S. 35-39.
25. Shashenko A., Maslennikov Y., Solodyankin A. Development of acoustic control method of mode of deformation of the coal massif in the process of underground mining // Scientific Reports of Mining, Metallurgy and Materials in Ukraine. – Technische Universitat Bergakademie Freiberg. – 2008. – S. 521. – S. 23-27.
26. Горные удары и борьба с ними на шахтах Кизеловского бассейна / И.М. Петухов, В.А. Литвин, Л.В. Кучерский и др. – Пермь: Пермское книжное издательство, 1969. – 377 с.
Gornyye udary i bor'ba s nimi na shakhtakh Kizelovskogo basseyna / I.M. Petukhov, V.A. Litvin, L.V. Kucherskiy i dr. – Perm': Permskoye knizhnoye izdatel'stvo, 1969. – 377 s.
27. Зорин А.Н. Управление состоянием горного массива / А.Н. Зорин, В.Г. Колесникова, С.П. Минеев и др. – Київ: Наукова думка, 1986. – 212 с.
Zorin A.N. Upravleniye sostoyaniyem gornogo massiva / A.N. Zorin, V.G. Kolesnikova, S.P. Mineyev i dr. – Kyiv: Naukova dumka, 1986. – 212 s.