

**ПЕРСПЕКТИВИ ГЕОФІЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ
ПРИ РОЗВИТКУ РИЗИК-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ
У ГІРНИЧОДОБУВНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ**

С. І. Скіпочка, Т. А. Паламарчук, Л. В. Прохорець

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

вул. Симферопольська, 2-А, м. Дніпро, 49005, Україна.

E-mail: office.igtm@nas.gov.ua

Виконано аналіз розвитку ризик-орієнтованого підходу, що отримав широке поширення в різних галузях промисловості та у різних сферах, таких як безпека праці, безпека продуктів, контроль викидів промисловими підприємствами, попередження промислових аварій тощо. Для України постановка і рішення проблеми попередження промислових аварій у гірничодобувній промисловості дотепер не має історичних аналогів. Проте в питаннях геомеханічного моніторингу стану і властивостей підземних геотехнічних систем Україна займає провідне становище. Тому, використовуючи ризик-орієнтований підхід при виявленні найбільш несприятливих ділянок для безпеки проведення гірничих робіт, доцільно використовувати геофізичний моніторинг, що дозволить в подальшому при проведенні поточного контролю стану обмежуватися лише попередньо встановленими даними про найбільш несприятливі чи неоднозначні ділянки, що дозволить заощаджувати як кошти, так і час.

Ключові слова: ризик-орієнтований підхід, геофізичний моніторинг, безпека гірничих робіт.

**ПЕРСПЕКТИВЫ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
ПРИ РАЗВИТИИ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА
В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

С. И. Скипочка, Т. А. Паламарчук, Л. В. Прохорец

Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины

ул. Симферопольская, 2-А, г. Днепр, 49005, Украина.

E-mail: office.igtm@nas.gov.ua

Выполнен анализ развития риск-ориентированного подхода, который получил широкое распространение в разных областях промышленности и в различных сферах, таких как безопасность труда, безопасность продуктов, контроль выбросов промышленными предприятиями, предупреждение промышленных аварий и т.п.. Для Украины постановка и решение проблемы предупреждения промышленных аварий в горнодобывающей промышленности до сих пор не имеет исторических аналогов. Тем не менее, в вопросах геомеханического мониторинга состояния и свойств подземных геотехнических систем Украина занимает ведущее положение. Поэтому, используя риск-ориентированный подход при выявлении наиболее неблагоприятных участков для безопасности проведения горных работ, целесообразно использовать геофизический мониторинг, который разрешит в дальнейшем при проведении текущего контроля состояния

ограничиваться лишь предварительно установленными данными о наиболее неблагоприятных или неоднозначных участках, который позволит экономить как средства, так и время.

Ключевые слова: риск-ориентированный подход, геофизический мониторинг, безопасность горных работ.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Ефективність і безпека – основні складові вимог до будь-якого виробництва. Особливо це актуально для гірничодобувної галузі, яка знаходиться серед «лідерів» по кількості аварій, важкості праці, обсягам капіталовкладень і складності інфраструктури підземного виробництва. Одним з основних факторів, що визначають вищевказані негаразди, є геомеханічний стан підземної геотехнічної системи, зокрема, гірський тиск, його статичні, динамічні і газодинамічні прояви, фізико-механічні властивості літосферного середовища, умови формування-напружено-деформованого стану в системі «масив – виробки – охоронні конструкції» тощо. Якщо виключити людський фактор, то частка геомеханічних факторів в аваріях і нещасних випадках становить, за різними оцінками, 70-80 %. Суттєво впливає геомеханіка масиву і на обсяги виробничих витрат. Наприклад, зведення і підтримання одного погонного метра виробки на сьогодні коштує від 20 до 30 тис. грн, що в межах країни становить, приблизно, 20-30 мільярдів гривень на рік.

Зменшити вказані витрати можливо шляхом оптимізації технології охорони підземних виробок при одночасному впровадженні системного моніторингу їх геомеханічного стану. Тобто звести до мінімуму небезпеку впливу геомеханічних факторів шляхом розробки ризик-орієнтованих технічних рішень з охорони і моніторингу геомеханічного стану гірничих виробок для несприятливих умов підземного видобутку твердих корисних копалин. Це дозволить суттєво зменшити виробничі витрати, аварійність і травматизм гірничодобувного виробництва, поліпшити умови праці шахтарів.

За останній час ризик-орієнтований підхід в обґрунтуванні безпеки небезпечних виробничих об'єктів отримав широке поширення в різних галузях промисловості. Поняття ризику, що прийшло з фінансово-економічної сфери діяльності, керування ризиками з метою забезпечення безпеки на виробництві вже показали свою ефективність зокрема в електроенергетиці, нафтохімічній, атомній промисловості. У різних галузях промисловості різні підходи до оцінки і керування ризиками [1–4].

В загальному значенні ризиком називається несприятливий результат, що загрожує здоров'ю, недоторканності і безпеці людини, навколишнього середовища, тваринного миру і т.д. Технічно ризик визначається як сукупність ймовірності або частоти випадків виникнення певної погрози та масштабу наслідків такого виникнення. Тобто ризик представляється як міра небезпеки і як ймовірність несприятливої події (діяльності в умовах невизначеності), тобто має «двовірне» тлумачення. Оскільки практично будь-яку втрату (матеріальну, людську, інформаційну тощо) в економіці прийнято виражати у вартісному еквіваленті, то і ризик повинен оцінюватися в натуральному (вартісному) збитку. При цьому ситу-

ація сприймається небезпечною (ризиковою), коли ймовірність несприятливої події і можливий збиток від його прояву відмінні від нуля. Якщо збиток дорівнює нулю при настанні несприятливої події, об'єкт не піддається ризику. Аналогічна ситуація спостерігається і при нульовій імовірності настання події, хоча потенційний збиток від нього був би величезним.

Відповідно до прийнятої у світі класифікації існує ряд промислових виробництв, які відносяться до об'єктів з високим рівнем безпеки. Серед цих об'єктів майже всі гірничі підприємства з підземного видобутку твердих корисних копалин. При цьому (на відміну від інших), господарська діяльність по освоєнню родовищ твердих корисних копалин має специфічну особливість. Мінерально-сировинна база добувної компанії є як середовищем здійснення господарської діяльності (об'єктом ризику), так і одночасно фактором ризику. З однієї сторони, не дивлячись на вдосконалення технології видобутку та технічне переоснащення підприємств, ризики виникнення аварій у гірничорудній і особливо вугільній промисловості залишаються достатньо високими. З іншої, для запобігання аварій дуже часто в технологічні схеми видобутку закладаються технічні рішення з високим і необґрунтованим коефіцієнтом запасу міцності, зокрема, це стосується паспортів кріплення гірничих виробок.

До особливо небезпечних виробництв традиційно відносяться підприємства вугільної галузі. Аварії на шахтах нерідко приводять до загибелі людей, втрати основних фондів і запасів вугілля, зупинки підприємства і величезних фінансових втрат [5].

Слід відмітити, що в теперішній час актуальність питань попередження великих промислових аварій у гірничодобувній галузі не зменшується. Так, в 2015 р. на вугільній шахті в Туреччині в результаті вибуху метану загинуло 202 людей, при пожежі на шахті в Китаї загинула 21 людина, а в 2016 - 33 людини. На шахті «Північна» в Росії в 2016 р. відбулося два вибухи, які спровокували обвалення і пожежі, у результаті яких загинуло 36 людей.

По даним Держнаглядохоронпраці видобуток вугілля на шахтах України відбувається у вкрай важких гірничо-геологічних і температурних умовах, при яких не працюють у жодній країні світу. Тому українські шахти є одними із найнебезпечніших у світі. Через високу газонасиченість порід погрози вибухів в шахті тільки зростають. Ще одна серйозна проблема полягає в тому, що більшість вітчизняних шахт не ремонтуються десятки років, а гірники дуже часто працюють на старому обладнанні. Як наслідок, у 2014 р. на шахті «Північна» (Макіївка, Донецька обл.) в результаті вибуху метану загинуло 7 шахтарів, у тому ж році на шахті ТОВ «Гранд Інвест Плюс» (Донецька обл.) загинуло 9 людей. В 2015 р. на шахті ім. О.Ф. Засядька відбулася велика аварія, яка забрала життя 34 людей. В 2017 р. на шахті «Степова» (Львівська обл.) загинуло 8 шахтарів.

Традиційний підхід до забезпечення безпеки, в основі якого лежить розробка нормативних документів у сфері промбезпеки, суворе дотримання правил безпеки в цілому дозволяють організувати роботу на шахтах на досить безпечному рівні, однак великі аварії на шахтах, пов'язані з масовою загибеллю людей, змушують шукати нові підходи.

Мета роботи – встановити можливість спільного використання ризик-орієнтованого підходу з геомеханічним моніторингом для підвищення ефективності та безпеки ведення гірничих робіт.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Досить актуальним питанням залишається наявність ризиків виникнення аварій у гірничорудній і особливо вугільній промисловості. Очевидно, що для суспільства галузь має репутацію, що найбільшою мірою загрожує здоров'ю та життю персоналу. І хоча в гірничодобувній промисловості ризики присутні постійно, у теоретичному плані вони вивчені недостатньо. Наразі система керування ризиками геологічних і гірських проектів здійснюється за традиційною схемою оцінки фінансових ризиків виробничих проектів, найчастіше без урахування геологічних особливостей надр, технології гірського виробництва і специфічного гірського права. Проте, інформація з ідентифікації, класифікації, якісної і кількісної оцінки ризиків при пошуках, розвідці та експлуатації родовищ завжди була затребуваною при техніко-економічному обґрунтуванні складання геологічних і гірських проектів. Наприклад, ризики стійкості інженерних систем розраховуються при обґрунтуванні гірничотехнічних схем відпрацьовування родовищ, вся система геологорозвідувальних робіт заснована на зниженні геологічних ризиків. Однак ці галузеві оцінки одиничних ризиків дотепер не зводилися в загальні ризики по окремих родовищах, підприємствах чи гірничодобувних галузях. Наукових напрямків по класифікації і керуванню ризиками гірничодобувної промисловості дотепер дуже мало.

Оскільки тенденція розвитку всієї гірничодобувної галузі йде шляхом зростання глибин розробки та інтенсифікації виробництва, для вирішення вказаних проблем необхідні нові дослідження з метою створення технологій використання енергії масиву, його самоорганізації і спрямованого керування геомеханічними процесами для підвищення стійкості виробок за рахунок зменшення впливу гірського тиску, використання ефектів самозаклинювання, використання композитних конструкцій з високою несучою здатністю тощо. Одним з загальних напрямків є створення ризик-орієнтованої системи керування напружено-деформованим станом масиву гірських порід. Оскільки такі технології потребують обов'язкового системного і постійного моніторингу геомеханічного стану масиву гірських порід, паралельно необхідне вдосконалення методології геомеханічного моніторингу шахт і рудників, розробка його апаратурного забезпечення на базі сучасних комп'ютерних технологій в напрямку автоматизації процесів отримання інформації, її обробки, аналізу, виявлення та попередження критичних станів. Тобто проблему підвищення ефективності функціонування шахт і рудників слід вирішити шляхом розробки ризик-орієнтованих технічних рішень з охорони гірничих виробок при обов'язковому створенні і впровадженні високоефективних технологій оцінки, прогнозу стану і контролю реалізації керівних впливів на зміни напружено-деформованого стану масиву відносно попередження негативних ситуацій, як складових елементів геомеханічного моніторингу підземних геотехнічних систем.

Ризик-орієнтований підхід являє собою виявлення, аналіз і прогнозування небезпек аварій на гірничодобувних підприємствах, оцінку ризику і можливих масштабів наслідків аварій на них для оптимізації необхідних організаційно-технічних заходів попередження аварій, недопущення їх виникнення і підвищення ефективності забезпечення безпеки. Ризик-орієнтований підхід має на увазі, що моніторинг об'єкту буде проводитись не тому, що пройшло, наприклад, три роки з останньої перевірки, а тому, що його експлуатація пов'язана із серйозними ризиками. Оцінювати ці ризики необхідно на підставі безлічі критеріїв.

На рівні Європейського Союзу прийнята значна кількість актів, що встановлюють необхідність ризик-орієнтованих підходів у різних сферах: сфері безпеки праці, безпеки продуктів, контролю викидів промисловими підприємствами тощо. Може бути цікавим і досвід деяких пострадянських держав у побудові ризик-орієнтованих моделей. Наприклад, у Республіці Казахстан кратність контролю залежить від ступеня ризику об'єкту і здійснюється з урахуванням значимості суб'єкту з погляду наслідків, галузевої статистики порушення вимог. У законі про державний контроль там введені поняття «ризик», «оцінки ризику», «системи оцінки ризиків». У Республіці Білорусь такі поняття не вводилися, однак в Указі Президента Республіки Білорусь про вдосконалювання контрольно-наглядової діяльності виділені групи ризиків об'єктів (висока, середня, низька). Аналіз практики різних країн, що використовують ризик-орієнтований підхід у різноманітних галузях, відкриває широкі перспективи для застосування моделі ризик-орієнтованого підходу в гірничодобувній промисловості України.

Для України постановка і рішення проблеми попередження промислових аварій у гірничодобувній промисловості дотепер не має історичних аналогів. Тут буде більше показовими стратегія і досвід попередження великих аварій в розвинутих країнах Заходу або, на першому етапі, тактика таких країн як Китай, Польща, Індія, ПАР. Тому проблему таких аварій варто вирішувати обов'язково використовуючи світовий досвід з відповідним переломленням на специфіку гірничодобувних підприємств України.

На відміну від проблеми розвитку ризик-орієнтованого підходу до задач підвищення безпеки в гірничодобувній промисловості, питаннями геомеханічного моніторингу стану і властивостей підземних геотехнічних систем в Україні займалися ряд установ: ІГТМ НАНУ, ІФГП НАНУ, НГУ, КрНУ та інші. Проте проблемі ризик-орієнтованого підходу щодо особливостей застосування як поточного, так і оперативного моніторингу стану підземних споруд, дотепер не приділялось достатньої уваги.

На наш погляд, досить інформативними методами геофізичного контролю, що дозволяють із досить високим ступенем точності визначати стійкість геомеханічних об'єктів є як пасивні, так і активні методи, за допомогою яких можна оцінювати напружено-деформований стан масиву гірських порід і його міцнісні властивості та міцнісні властивості застосовуваних систем кріплення.

Для оцінки можливостей пасивних геофізичних методів при визначенні напруженого стану скористаємося наступними припущеннями.

Міцність твердих тіл характеризує їхній опір руйнуванню і визначається силами міжатомного зв'язку і структурою тіла. При оцінці теоретичної міцності іонного кристалу Я.І. Френкель припустив, що руйнування відбувається внаслідок одночасного зрушення атомних площин відносно одна одної або одночасного розриву міжатомних зв'язків між цими площинами. Критичні значення дотичних і нормальних напруг мають порядок $\frac{G}{2\pi}$ і $0,1E$, гранична деформація до моменту руйнування становить кілька відсотків [6].

Руйнування реальних тіл відбувається при навантаженнях, менших критичних на один-два порядки. На околицях дефектів структури виникає значна концентрація напруг. Фізична природа концентраторів напруг у реальних тілах різноманітна. Внутрішні напруги виникають, наприклад, у результаті пластичних деформацій, що приводять до скупчення дислокацій і великому спотворенню кристалічних решіток [7]. Пластичні деформації дають стрибок струму в 10^{10} разів (в порівнянні з його значеннями в області пружної деформації), утворення заряду високого потенціалу, що релаксує після пластичного плину. Це явище в літературі називають зазвичай ефектом А.В. Степанова. Ще більш потужні зміни зарядового стану діелектрика супроводжують його розколу: щільність зарядів у момент розколювання досягає 10^{12} електр./см², що відповідає порогу іонізації навколишнього повітря, тобто напруженості електричного поля $\sim 10^8$ В/см. Якщо руйнування відбувається у вакуумі, то береги тріщини випускають електрони досить високих енергій $\sim 10^5$ еВ [8].

Розглянемо пружне тіло, на поверхні якого діють напруження σ . При утворенні прямолінійної тріщини довжиною ℓ відбувається звільнення пружної енергії в деякій області. Для утворення нової поверхні необхідно виконати роботу на розрив міжатомних зв'язків на одиницю товщини тіла. Крім того, якщо при руйнуванні відбувається випромінювання електромагнітних і акустичних хвиль, то запасена потенційна енергія масиву витрачається на випромінювання електромагнітних і акустичних хвиль. Таким чином, при фіксованих зовнішніх границях тіла зміна потенційної енергії при росту тріщини запишеться у вигляді алгебраїчної суми [7]:

$$\Delta W_{II} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4, \quad (1)$$

де W_1 – питома робота пружно-пластичної деформації, що може бути оцінена відповідною роботою руйнування, величина якої визначається межами міцності породи, її пружними і пластичними властивостями

$$W_1 = W_E + W_{II} = \frac{3}{2} \frac{\sigma^2}{E}, \quad (2)$$

а при трьохосному стисканні

$$W_1 = \frac{3\sigma^2}{2K}, \quad (3)$$

яке з урахуванням дотичних напружень, що відповідають на кривій деформації ділянці плинності, приймає вигляд

$$W_1 = \frac{3\sigma^2}{2K} + \tau_T \gamma, \quad (4)$$

де K – модуль всебічного стискання; τ_T – дотичні напруження, що відповідають на кривій деформації ділянці плинності;

$$\gamma = \sqrt{\frac{2}{3} \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 - (\varepsilon_y - \varepsilon_z)^2 - (\varepsilon_x - \varepsilon_z)^2} + \frac{3}{2} (\gamma_{xy}^2 + \gamma_{xz}^2 + \gamma_{zy}^2)} \quad (5)$$

інтенсивність деформацій зрушення; W_2 – питома робота, витрачена на розрив міжатомних зв'язків на одну одиницю товщини тіла

$$W_2 \sim \varepsilon, \quad (6)$$

де ε – поверхнева густина енергії; W_3 – об'ємна густина енергії акустичних хвиль, що виникли при утворенні тріщини

$$W_3 = \rho V^2 \varepsilon^{*2} = \rho u_0^2 \omega^2, \quad (7)$$

де ρ – густина середовища; V – швидкість акустичних хвиль у середовищі; ε^* – відносна деформація; u_0 – амплітуда коливань; W_4 – об'ємна густина енергії електромагнітних хвиль, що виникли при утворенні тріщин

$$W_4 = \varepsilon \varepsilon_0 E^2, \quad (8)$$

де E – напруженість електричного поля, що виникла при руйнуванні гірських порід; ε – діелектрична проникність середовища; ε_0 – електрична постійна.

Підставивши в рівняння (1) вирази (4), (6), (7), (8), розглядаючи об'єм тіла довжиною, рівній довжині ℓ тріщини, що утворилася, з основою, рівною 1, одержимо алгебраїчну суму:

$$\Delta W = \frac{3\sigma^2 \ell}{2K} + \tau_T \gamma \ell + 4\ell \varepsilon + \rho V^2 \varepsilon^{*2} \ell + \varepsilon \varepsilon_0 E^2 \ell. \quad (9)$$

де ℓ – довжина тріщин.

Якщо при збільшенні довжини тріщини потенційна енергія не буде зростати, то відбудеться ріст тріщин і руйнування тіла, що супроводжується випромінюванням акустичних і електромагнітних хвиль.

Беручи до уваги, що в розглянутому випадку зсувні напруження і деформації відсутні, для оцінки напруженого стану одержимо наступний вираз:

$$\sigma = \left(\frac{2K}{3} (\rho V^2 \varepsilon^{*2} + \varepsilon \varepsilon_0 E^2 + 4\varepsilon) \right)^{1/2}. \quad (10)$$

З огляду на хвильовий загасаючий характер зміни напружень, рівняння (9) запишеться у вигляді:

$$\sigma = \left(\frac{2K}{3} (\rho V^2 \varepsilon^{*2} + \varepsilon \varepsilon_0 E^2 + 4\varepsilon) \right)^{1/2} \exp \left[- \left(\alpha r + \frac{t}{\tau} \right) \right] \cos \frac{\pi}{2R_0} r. \quad (11)$$

З отриманої формули слідує, що, знаючи акустичні, електричні властивості гірських порід, їхню густину і поверхневу енергію, а також, вимірюючи в точці прийому напруженість електромагнітного поля, що виникає при руйнуванні гірських порід, і модуль всебічного стискання K , можна оцінити діючі в масиві напруження і прогнозувати їхню зміну в часі та просторі.

У випадку проведення гірських робіт можна враховувати і вплив швидкості посування очисного забою на зміну напружено-деформованого стану:

$$\sigma_V = \sigma_0 (0,11 \ln V + 1), \quad (12)$$

де σ_V – міцність гірських порід при навантаженні зі швидкістю V , МПа; σ_0 – міцність гірських порід при нульовій швидкості навантаження, МПа [9].

Останнім часом великий інтерес викликає експрес-метод ударного імпульсу [10].

У якості можливого інформативного параметра ми розглянули тривалість ударного імпульсу, для якої отримано наступний вираз

$$\tau \approx 2,95 \sqrt{\frac{1}{V_0} \frac{m^2}{R} \left(\frac{1}{\rho_1 C_{p1}^2} + \frac{A^2}{\rho_2 (\sigma_{ct} + B)^2} \right)^2}, \quad (13)$$

де ρ_1 та ρ_2 – густина матеріалу ударника та матеріалу, що контролюється відповідно, кг/м³; C_{p1} – швидкість поздовжньої хвилі матеріалу ударника, м/с; σ_{ct} – межа міцності на одновісний стиск, Па; A і B – постійні для даної гірської породи або будівельного матеріалу величини.

Шляхом нескладних перетворень отримаємо залежність міцності порід від часу співударяння t :

$$\sigma = \left(\frac{\tau \rho_2}{K} - \frac{\rho_2}{\rho_1 A C_p \sqrt{V_0}} \right)^{1/2} - B, \quad (14)$$

де $K = \frac{2,9m}{V_0 \sqrt{R}}$ – характеризує параметри ударника.

На рис. 1 приведена відносна зміна параметрів ударного імпульсу при відносній зміні початкової швидкості співударяння. Приведена залежність свідчить, що при зростанні початкової швидкості ударника у два рази амплітуда ударного імпульсу зростає в 2,3 рази, а тривалість зменшилася всього на 0,13. Підвищення стабільності інформативного параметра τ у порівнянні з параметром a_m при варіації удару є одним з факторів, що свідчать на користь його вибору.

Встановлено умови підвищення інформативності визначення міцності середовища за зміною тривалості ударного імпульсу.

Нижче наведений коефіцієнт інформативності

$$i = 1,16 \sqrt[5]{\frac{1}{V_0} \frac{m^2}{R} \left(\frac{n}{n+1}\right)^3 \frac{A^2}{\rho_2(\sigma_{cm} + B)^3}} \quad (15)$$

де n – співвідношення динамічних жорсткостей матеріалів ударника і середовища, що контролюється.

Граничне значення інформативності $i_{сп.}$ розглянутого варіанту методу досягається при нескінченно великій динамічній твердості ударника.

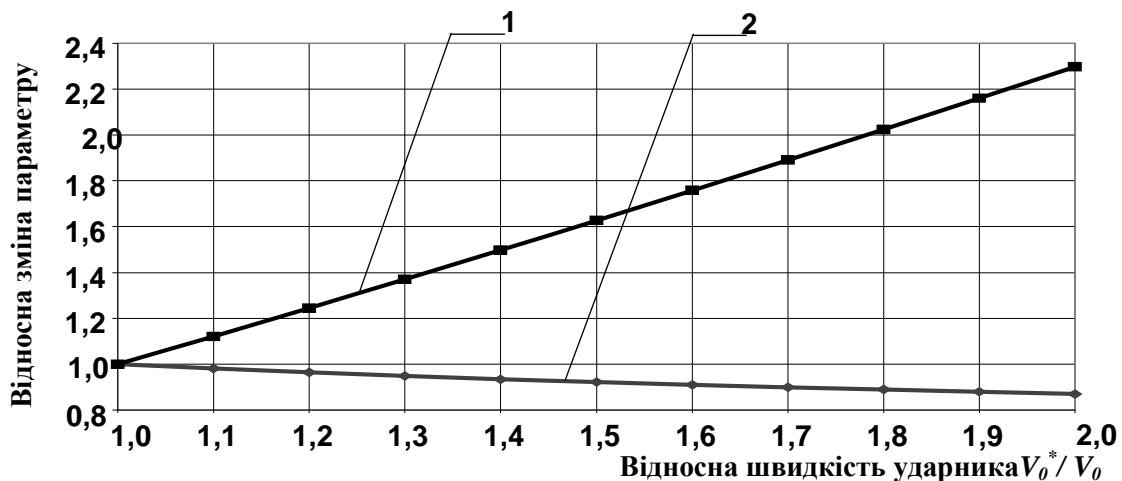


Рисунок 1 – Відносна зміна параметрів ударного імпульсу при відносній зміні початкової швидкості співударяння

З урахуванням того, що густина порід конкретного типу варіює значно менше, ніж межа міцності, в межах певної вибірки можемо користуватися усередненим її значенням в якості постійної величини. Тоді, якщо ввести проміжну постійну величину A , вираз, раніше наведений для тривалості ударного імпульсу, можна представити в більш простому для аналізу вигляді

$$\sigma_{cm} = A^* \cdot \tau^{-B^*} \quad (16)$$

Теоретично встановлено, що збільшення тривалості ударного імпульсу пов'язане зі зменшенням за степеневою залежністю межі міцності на одновісний стиск гірських порід і геокompозитних матеріалів, причому параметри зазначеної залежності та діапазон її коректного використання визначаються літотипом геоматеріалу та властивостями геокompозиту (рис. 2).

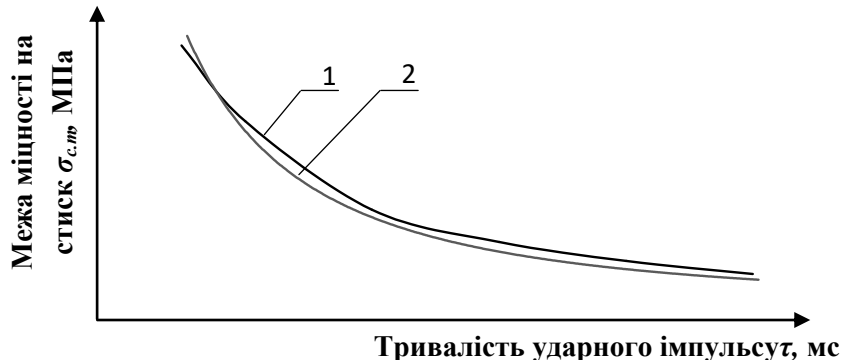


Рисунок 2 – Загальний характер зв'язку міцності матеріалу із тривалістю ударного імпульсу:
1 – теоретична, 2 – апроксимація степеневою функцією

ВИСНОВКИ. Підводячи підсумок, можна сказати, що ризик-орієнтований підхід в гірничодобувній промисловості повинен представляти собою метод організації та здійснення контролю, при якому вибір періодичності його проведення визначається віднесенням об'єктів до певної категорії ризику. Якщо процедура оцінки ризиків ефективна, то кількість перевірок можна знижувати, а якість контролю покращиться. Відповідно, об'єм ресурсів, що виділяється на дослідження об'єктів буде менше.

Таким чином, встановлено, що використовуючи ризик-орієнтований підхід при виявленні найбільш несприятливих ділянок для безпеки проведення гірничих робіт, за допомогою геофізичного моніторингу можливо виявляти ці ділянки, що дозволить в подальшому при проведенні поточного контролю стану обмежуватися лише попередньо встановлених за допомогою ризик-орієнтованого підходу найбільш несприятливих чи неоднозначних ділянок, що дозволить заощаджувати як кошти, так і час.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гражданкин А.И. О риск-ориентированном подходе в обеспечении промышленной безопасности. *Промислова безпека*. 2012. № 5. С. 42–45.
2. Terje Aven. Risk assessment and risk management: review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*. 2016. v. 253. P. 1–13.
3. Henning Veland, Terje Aven. Improving the risk assessments of critical operations to better reflect uncertainties and the unforeseen. *Safety Science*. 2015. v. 79. P. 206–212.
4. Боярко Г.Ю. Стратегические отраслевые риски горнодобывающей промышленности. *Отечественная геология*. 2003. № 4-5. С. 28–32.
5. Рыков А.М., Ли Хи Ун, Филатов Ю.М. Риск-ориентированный подход в обеспечении безопасности угольных шахт. *Научно-технический журнал Вестник*. 2016. № 1. С. 73–76.

6. Яланский А.А., Паламарчук Т.А., Слащев И.Н., Яровая Т.И. Прогноз проявлений горного давления вблизи выработок методом математического моделирования и геофизической диагностики. *Геотехническая механика*. – Днепропетровск, 2000. Вип. 22. С. 141–144.

7. Паламарчук Т.А., Кириченко В.Я., Усаченко Б.М. Элементы механоси-нергетики породного массива: монография. Днепропетровск: ЧП «Лири ЛТД», 2006. 308 с.

8. Пул Ч. Справочное руководство по физике: фундаментальные концепции, основные уравнения и формулы: справочник. М.: Мир, 2001. 461 с.

9. Скипочка С.И., Паламарчук Т.А., Яланский А.А., Прохорец Л.В., Бобро Н.Т. К расчету элементов камерно-столбовой системы разработки в породах разной прочности с учетом интенсификации горных работ. *Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. Науково-виробничий журнал*. Кременчук, 2017. Вип. 1(19). С. 53–66.

10. Прохорец Л.В. Экспериментальные исследования прочностных свойств горных пород методом ударного импульса. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2016. № 4. С. 104–107.

PROSPECTS OF GEOPHYSICAL MONITORING AT DEVELOPMENT OF RISK-ORIENTED APPROACH IN THE MINING INDUSTRY

S. Skipochka, T. Palamarchuk, L. Prohorec

M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National
Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU)

vul. Simpheropolskaya, 2-A, Dnepr, 49005, Ukraine.

E-mail: office.igtm@nas.gov.ua

Purpose. To establish prospects of geophysical monitoring at development of risk-oriented approach in the mining industry. **Methodology.** Analyses and synthesis of experimental and theoretical investigation on this problem, and methods of elasticity, impact, mechanics of continuous medium and rock mechanics. **Results.** The analysis of the development of a risk-based approach that has been widely disseminated in different areas of industry and in various fields such as labor safety, product safety, control of emissions by industrial enterprises, prevention of industrial accidents, etc. has been fulfilled. For Ukraine, the formulation and solution of the warning problem industrial accidents in the mining industry still has no historical counterparts. Nevertheless, in matters of geomechanical monitoring of the state and properties of underground geotechnical systems, Ukraine occupies a leading position. There is established that very information methods of geophysical monitoring, that allow with in sufficiently high degree of accuracy determine stability of geomechanical objects, are both passive and active methods though which possible appraise stress-deformed state of rock massif and its strength properties. **Originality.** Opportunity to use of risk-oriented approach with geomechanical monitoring for increase the safeness of mining works. **Practical value.** Therefore, using a risk-oriented approach in identifying the most unfavorable sites for the safety of mining operations, it is advisable to use geophysical monitoring, which will allow later in the current monitoring to be limited to only pre-

established data on the most unfavorable or ambiguous areas, which will save as a means, and time. **Conclusions.** In this article shown, that risk-oriented approach in the mining industry should be as a method of organizing and monitoring, in which the choice of conducts periodicity is determined by assigning objects to a certain category of risk. If the risk assessment procedure is effective, the number of inspections can be reduced and the quality of control will improve. Accordingly, the volume of resources allocated to the study of objects will be less.

Key words: risk-oriented approach, geophysical monitoring, safety of mining operations.

REFERENCES

1. Grazhdankin, A.I. (2012), "About the risk-oriented approach in ensuring industrial security", *Promislova bezpeka*, no. 5, pp. 42–45.
2. Terje Aven (2016), "Risk assessment and risk management: review of recent advances on their foundation", *European Journal of Operational Research*, v. 253, pp. 1–13.
3. Henning Veland, Terje Aven (2015), "Improving the risk assessments of critical operations to better reflect uncertainties and the unforeseen", *Safety Science*, v. 79, pp. 206–212.
4. Boyarko, G.Yu. (2003), "Strategic sectoral risks of mining industry", *Otechestvennaya geologiya*, no. 4-5, pp. 28–32.
5. Rykov, A.M., Li Hee Un, Filatov, Yu.M. (2016), "Risk-oriented approach in ensuring the safety of coal mines", *Nauchno-technicheskiy gurnal Vestnik*, no. 1, pp. 73–76.
6. Yalanskiy, A.A., Palamarchuk, T.A., Slashchev, I.N., Yarovaya, T.I. (2000), "Forecast of the manifestations of rock pressure near the workings by the method of mathematical modeling and geophysical diagnostics", *Geotekhnicheskaya Mekhanika*, no. 22, pp. 141–144.
7. Palamarchuk, T.A., Kirichenko, V.Ya., Usachenko, B.M. (2006), *Elementy mechanosinergetiki porodnogo masiva* [Elements of mechanosynergetics of the rock massif], "Lira LTD", Dnepropetrovsk, Ukraine.
8. Pool, Ch. (2001), *Spravochnoe rukovodstvo po phisike: phundamentalniye kontseptsii, osnovniye uravneniya I formuli* [A reference manual on physics: fundamental concepts, basic equations and formulas], Mir, Moscow, RF.
9. Skipochnka, S.I., Palamarchuk, T.A., Yalanskiy, A.A., Prokhorets, L.V., Bobro, N.T. (2017), "To the calculation of the elements of the chamber-pillar development system in rocks of different strengths, taking into account the intensification of mining operations", *Suchasni resursoenergozberigauchi tehnologiyi girnichogo virobnitstva*, vol. 1, no. 19, pp. 53–66.
10. Prokhorets, L.V. (2016), "Experimental Investigations of the Strength Properties of Rocks by the Impact Pulse Method", *Metallurgicheskaya I gornorudnaya promishlennost*, no. 4, pp. 104–107.

Стаття надійшла 28.05.2018.