

### РОЗВИТОК РИЗИК-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ І БЕЗПЕКИ ПІДЗЕМНОГО ВИДОБУТКУ ТВЕРДИХ КОПАЛИН

**С. І. Скіпочка, Т. А. Паламарчук, Л. В. Прохорець, В. М. Сергієнко**

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

вул. Симферопольська, 2-А, м. Дніпро, 49005, Україна. E-mail: office.igtm@nas.gov.ua

Визначено основні геомеханічні фактори ризику при видобутку твердих корисних копалин підземним способом та встановлено, що застосування геомеханічного моніторингу стану підземних споруд з урахуванням ризик-орієнтованого підходу є досить перспективним, оскільки являє собою метод організації та здійснення контролю, при якому вибір періодичності його проведення визначається віднесенням об'єктів до певної категорії ризику (класу небезпеки). Ризик-орієнтований підхід у гірничій справі сприятиме виявленню слабких місць у системі «масив – технологія – підземна споруда – навколишнє середовище» і дасть можливість подальшої розробки безпечних методів і технологій гірничого виробництва з найбільшим економічним ефектом. Тільки при урахуванні взаємовпливу і взаємодії всіх технічних, природних і технологічних факторів можливо забезпечити мінімізацію негативних наслідків у процесі експлуатації виробництва та підвищити економічну ефективність видобутку корисних копалин.

**Ключові слова:** фактори ризику, ризик-орієнтований підхід, масив гірських порід, підземні виробки, підвищення безпеки.

### РАЗВИТИЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ ТВЕРДЫХ ИСКОПАЕМЫХ

**С. И. Скипочка, Т. А. Паламарчук, Л. В. Прохорец, В. Н. Сергиенко**

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

ул. Симферопольская, 2-А, г. Днепр, 49005, Украина. E-mail: office.igtm@nas.gov.ua

Определены основные геомеханические факторы риска при добыче твердых полезных ископаемых подземным способом и установлено, что применение геомеханического мониторинга состояния подземных сооружений с учетом риск-ориентированного подхода является перспективным, поскольку представляет собой метод организации и осуществления контроля, при котором выбор периодичности его проведения определяется отношением объектов к определенной категории риска (классу опасности). Риск-ориентированный подход в горном деле будет способствовать выявлению слабых мест в системе «массив - технология - подземное сооружение - окружающая среда» и даст возможность дальнейшей разработки безопасных методов и технологий горного производства с наибольшим экономическим эффектом. Только при учете взаимовлияния и взаимодействия всех технических, естественных и технологических факторов возможно обеспечить минимизацию негативных последствий в процессе эксплуатации производства и повысить экономическую эффективность добычи полезных ископаемых.

**Ключевые слова:** факторы риска, риск-ориентированный подход, массив горных пород, подземные выработки, повышение безопасности.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Оскільки тенденція розвитку всієї гірничодобувної галузі йде шляхом зростання глибин розробки та інтенсифікації виробництва, для вирішення технічних, економічних проблем необхідні нові дослідження з метою створення технологій використання енергії масиву, його самоорганізації і спрямованого керування геомеханічними процесами для підвищення безпеки праці шахтарів. Одним з нових напрямків є створення ризик-орієнтованої системи керування напружено-деформованим станом масиву гірських порід. 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 вискоелективних 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 [1, 2].

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Відповідно до сучасних поглядів ризик зазвичай інтерпретується як ймовірнісна міра виникнення техно-

генних або природних явищ, що супроводжуються виникненням, формуванням і дією небезпек і нанесеного при цьому соціального, економічного, екологічного та іншого видів збитку і шкоди. Застосування поняття «ризик» таким чином, дозволяє переводити небезпеку в розряд вимірюваних категорій. Ризик, фактично, є мірою небезпеки. Часто використовують поняття «ступінь ризику», по суті не відрізняється від поняття ризик, але лише підкреслює, що мова йде про вимірювану величину. Така інтерпретація терміна «ризик» використовується на даний час при аналізі небезпек і керуванні безпекою (ризиком) технологічних процесів і виробництва в цілому.

Якщо позначимо через  $R$  міру можливості появи ризиків, то можна записати

$$R = YP, \quad (1)$$

де  $Y$  – показник, що описує наслідки небажаної події або збитку від ризиків та може описуватися специфічними параметрами – від економічних до етичних цінностей і людських жертв;  $P$  – ймовірність появи ризиків.

Для відображення безлічі вихідних причин розвитку ризику можна в загальному виді записати форму розрахунку у вигляді:

$$R = P_1 P_2 P_3 P_4, \quad (2)$$

де  $P_1, P_2, P_3, P_4$  – ймовірності виникнення події або явища, обумовленої формуванням і дією небезпечних факторів (1-го, 2-го, 3-го та 4-го відповідно).

Кількісна міра ризику може виражатися не тільки ймовірнісною величиною. Ризик іноді інтерпретують як математичне очікування збитку, що виникає при реалізації небезпек. При визначенні математичного очікування величини збитку представляється доцільним брати до уваги всі можливі види небезпечних подій для даного об'єкта і оцінку ризику робити по сумі добутків ймовірностей зазначених подій на відповідні збитки. У цьому випадку справедлива залежність:

$$R_{MO} = \sum_{i=1}^n P_i Y_i, \quad (3)$$

де  $R_{MO}$  – рівень ризику, виражений через математичне очікування збитку;  $P_i$  – ймовірність виникнення небезпечної події  $i$ -го класу;  $Y_i$  – величина збитку при  $i$ -ій події.

Така інтерпретація знаходить застосування, однак ймовірнісна міра ризику є більш зручною та застосовуваною при рішенні широкого кола завдань наукового і практичного характеру, особливо завдань, що стосуються промислової безпеки.

Формування небезпечних і надзвичайних ситуацій – результат прояву певної сукупності факторів ризику, породжуваних відповідними джерелами. Поняття «небезпека» і «ризик» ставляться відповідно до можливих впливів на об'єкт і його реакції на ці впливи («уразливість»). Ризик виникає тільки в області перетинання небезпеки з об'єктом і не існує без них, тобто ризик при існуючій небезпеці для технічно невразливого об'єкта відсутній (дорівнює нулю), як і ризик для досить уразливого об'єкта при відсутності небезпеки [3].

Наявність ризиків виникнення аварій у гірничорудній і особливо вугільній промисловості продовжує залишатися актуальною. В очах суспільства галузь має репутацію, що найбільшою мірою несе загрозу для здоров'я та життя персоналу.

Коли мова йде про глибоку розробку родовищ, геомеханічні ризики, пов'язані з видобутком твердих корисних копалин значно посилюються у зв'язку з високим навантаженням навколишнього середовища і типовою поведінкою масивів гірських порід на великих глибинах, таким як сейсмічна активність, газодинамічні явища, пожежонебезпечність та ін. Оцінка того, як виробничі рішення впливають на безпеку та виникнення аварій, є важливим аспектом оцінки ризиків в гірничорудній промисловості.

Небезпеку промислових аварій зазвичай усвідомлюють за проявами важких збитків, можливості або загрози їхнього заподіяння. Без трагічних фактів великих аварій ніхто б не став всерйоз обговорювати проблему забезпечення безпеки, приймати рі-

шення і виділяти кошти на попередження аварій у промисловості.

Як відомо, всі небезпечні виробничі об'єкти, задіяні в промисловості, є складними технічними системами, які у випадку реалізації аварійної ситуації можуть загрожувати як здоров'ю обслуговуючого персоналу, так і життю людей, які перебувають у межах функціонування підприємств, до яких можна віднести також підприємства гірничодобувної промисловості. Таким чином, аналіз проблем і розробка нових методів керування промисловою безпекою таких підприємств є актуальним науково-практичним завданням, грамотне рішення якого дозволить підвищити загальний рівень безпеки технологічних процесів і виробництв, а також знизити ризик виникнення аварійних ситуацій при їхній експлуатації.

Основними причинами виникнення нещасних випадків та аварій в процесі ведення гірничих робіт є:

- недотримання правил техніки безпеки та неточне виконання вказівок керівництва з імовірністю  $P_1$ ;
- суб'єктивні помилки інженерно-технічного персоналу при прийнятті управлінських рішень з імовірністю  $P_2$ ;
- раптова відмова технічних засобів з імовірністю  $P_3$ ;
- непрогнозовані на даний момент розвитку науки природні явища з імовірністю  $P_4$ .

Відносний вклад кожного з вказаних чинників залежить від якості організації виробничого процесу та гірничо-геологічних умов родовища. Імовірність виникнення аварійної ситуації зростає при одночасній дії вказаних чинників. Ситуація ілюструється рис. 1.

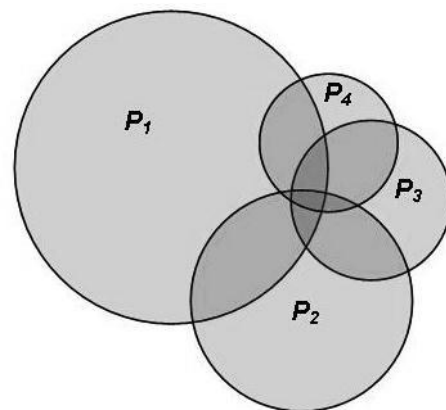


Рисунок 1 – Вплив незалежних чинників на імовірність виникнення аварійної ситуації

На передових гірничих підприємствах України встановлена жорстка виробнича дисципліна та підібрані інженерні кадри з високим рівнем кваліфікації. До таких підприємств належать, наприклад, вугільна шахта шахтоуправління «Покровське», компанія з видобутку та переробки залізної руди «Арселор-Міттал». Незважаючи на це, на вказаних підприємствах періодично виникають аварійні ситуації.

Відомості про деякі з них, що пов'язані з людськими жертвами та важкими травмами на шахті ШУ «Покровське» наведена в табл. 1. Даний приклад показує, що основною причиною аварійності на вугільних шахтах України є людський фактор. Це один із негативних наслідків ринкової економіки. В продовжені роботи в небезпечних умовах матеріально зацікавлені як самі шахтарі, так і керівництво підприємства. За наслідками розслідування аварій переважна більшість судових рішень була винесена за статтею 272 Кримінального кодексу України – «Порушення правил безпеки під час виконання робіт з підвищеною безпекою». Але при цьому необхідно пам'ятати, що первинним все таки є природний фактор. Природно-техногенна система перед аварією знаходилась в стані нестійкої рівноваги і незначний зовнішній вплив, обумовлений можливо незначним порушенням правил безпеки, міг стати спусковим механізмом для великомасштабної аварії. Тому в нових умовах одне з завдань контролюючих органів в гірничій промисловості - відстежувати не лише дотримання правил безпеки, але і робити оцінку стану геомеханічної системи, оцінювати її потенціальну небезпеку, прогнозувати можливі варіанти виникнення аварійних ситуацій, тобто оцінювати ступінь ризику подальшого ведення гірничих робіт та видавати відповідні рекомендації.

Таблиця 1 – Аварії на вугільній шахті ШУ «Покровське після 2010 р.

Дата	Вид аварії	Наслідки	Причини
28.03.2010 р.	Вибух метану	3 важко травмованих	Порушення правил безпеки
12.08.2014 р.	Вибух метано-пилової суміші	1 загиблий, 16 важко травмованих	Порушення правил безпеки
25.08.2016 р.	Вибух метану	6 важко травмованих	Порушення правил безпеки
22.01.2018 р.	Спалах метану	8 важко травмованих	Не встановлено
17.04.2018 р.	Підземна пожежа	7 важко травмованих	Порушення герметичності пускача
12.06.2019 р.	Наїзд вагонетки	2 загиблих	Порушення правил безпеки

В сучасних соціально-економічних умовах ліквідувати всі чинники, що спричиняють виникнення аварійних ситуацій на українських шахтах практично неможливо. Для суттєвого зменшення кількості аварій необхідно було б просто примусово закрити більшість підприємств гірничовидобувної галузі. Це можуть дозволити собі найбагатші європейські країни. Для економіки України це був би надто відчутний удар. Тому виникає усвідомлена необхідність продовження підземного видобутку твердих корисних копалин з певним ступенем ризику. В цьому разі трансформується поняття безпеки. Воно означає не абсолютну гарантію відсутності аварійних ситуа-

цій, а прийнятний рівень ризику. Мінімізація ризиків в гірничій справі може відбуватись за декількома напрямками, основними з яких є зниження ймовірності виникнення аварій за рахунок прогнозного та поточного моніторингу стану геотехнічних систем та підвищення надійності технологічного обладнання, можливість контролю і підтримання його ресурсу, ефективність управління технологічним процесом гірничих робіт. При цьому важливо установити закономірності виникнення великих аварій у системі «масив – технологія – підземна споруда – навколишнє середовище».

При визначенні методів і періодичності моніторингу небезпечних промислових об'єктів, у тому числі об'єктів гірської промисловості, а також їхнього ремонту та виконання інших заходів умовно можна виділити два підходи:

– традиційний – прийнятий у ряді країн і заснований на виконанні жорстких нормативних вимог по строках і методам моніторингу;

– ризик-орієнтований – враховує фактичний стан об'єктів і фактори, що впливають на ризик виникнення небезпечних ситуацій.

Таким чином, ризик-орієнтований підхід у гірничодобувній промисловості – це підхід, заснований на моніторингу об'єктів з урахуванням факторів ризику. Він широко застосовується в ряді країн у різних сферах діяльності, наприклад у США, Норвегії, Канаді, Великобританії та у країнах Європейського союзу, а також у ряді інших країн.

Базова концепція ризик-орієнтованого підходу до роботи підприємств вугільної галузі в умовах ринкової економіки сформульована в роботі [4]. В даній роботі вперше замість загальних міркувань чітко обґрунтовані якісні та кількісні критерії для оцінки ризику при підземній розробці вугільного родовища. Особливістю приведених матриць для оцінки міри ризику є їх універсальність. Вони можуть бути адаптовані для умов будь-якого гірничовидобувного підприємства.

Австралійська фірма AngloGold Ashanti в аспекті ризик-орієнтованого підходу розробила концепцію використання геотехнічних даних, отриманих у результаті моніторингу, для довгострокового планування гірських робіт з використанням підходу «блокової моделі масиву», який називається геотехнічною моделлю для швидкої інтеграції [5]. Дана модель являє собою простий просторовий набір даних про масив гірських порід, інтегрований з емпіричними оцінками, результатами чисельного моделювання і даними моніторингу для конкретного плану шахти. У роботі демонструється цінність використання моделі для керування геотехнічним ризиком і виявлення можливих ушкоджень охоронних конструкцій, викликаних впливом підвищених напруг і проведенням гірських робіт. Концепція моделі дозволяє швидко оцінювати просторово розподілені геотехнічні дані й виявляти зони ризику.

Цікавий розгляд до визначення ризик-орієнтованого підходу в забезпеченні промислової безпеки представлено в роботі [6], у якій показано застосування спеціальної соціальної технології «керування ризиком». В Україні наукоподібне словос-

получення «керування ризиком» занадто глибоко вже вжилося в технократичній мові, щоб ставити під сумнів його буквально значення. Адже відомо, що керують зазвичай об'єктами або процесами, але ніхто поки не показав, що «ризик» – це такий-то об'єкт або процес із такими-то властивостями. «Керування ризиком» – плід повсякденного есенціалізму, коли ризик, як одна з багатьох характеристик небезпечного явища, уявляється, як головна самостійна сутність, у тій якій відтісняються вихідні небезпечні явища. Іншими словами в ризик-орієнтованому підході в промисловій безпеці важливо розрізняти як маніпулятивне «керування ризиком», так і організаційно-технічне керування самим небезпечним об'єктом, а не його тінню «ризиком». У тіні незнання «звичних» небезпечних явищ можуть ховатися інші невидимі небезпеки і невідомі раніше загрози. Потрібно вміти виявляти майбутні небезпеки в «ризикованій тині» – у цьому бачиться змістовний зміст вітчизняного ризик-орієнтованого підходу. Для розпізнання майбутніх загроз зазвичай застосовують два методи. Спочатку, як радаром, облігають область можливих небезпек, наносячи на «карту ризиків» приблизні контури майбутніх загроз і класифікують їх за ступенем небезпеки. Потім, як прожектором, більш докладно досліджують найнебезпечніші області складеної «карти ризику». Коли складають легенду «карти ризику», то для класифікації ступеня небезпеки застосовують відносні критерії. Наприклад, об'єкти можуть бути розділені на об'єкти надзвичайно високої, високої, середньої та малої небезпеки. Але необхідно також виробляти і вводити абсолютні критерії ризиків.

За рекомендаціями всесвітньої організації охорони здоров'я незалежно від сфери діяльності абсолютно неприпустимими вважаються ризики з імовірністю катастрофічних наслідків  $5 \cdot 10^{-4}$  і вище. Рівень незначного ризику, при якому беззаперечно можуть виконуватись всі види робіт, відповідає імовірності виникнення катастрофічної ситуації  $10^{-6}$ . Рівень допустимого ризику лежить у вказаних вище межах і визначається для кожного гірничого підприємства індивідуально. Зрозуміло, що для особливо цінних видів корисних копалин даний рівень встановлюється більш високим і може наближатись до верхньої критичної межі. Свою роль відіграє і суб'єктивний фактор. Власник підприємства може на свій розсуд приймати рішення про припинення експлуатації родовища, якщо сукупність ризиків перевищує прийнятний особисто для нього рівень навіть без рекомендацій контролюючих органів. Ключову роль при прийнятті відповідного рішення грають економічні ризики.

Особливість інвестиційних гірських проектів полягає в тому, що високий ступінь мінливості та невизначеності впливу на гірські підприємства як внутрішніх, так і зовнішніх факторів призводить до необхідності розробки технічних рішень на основі випадкових подій або процесів з урахуванням ризику досягнення кінцевих результатів. Ризик, як відомо – це форма невизначеності, пов'язана з можливістю виникнення в ході реалізації проекту несприятливих ситуацій, наслідком яких є втрата інвестором части-

ни своїх коштів, недоодержання доходів або поява додаткових витрат у результаті здійснення оперативної і фінансової діяльності або зниження ефективності проекту.

Існуюча система методів аналізу ризиків заснована на використанні положень теорії ймовірностей і статистичних концепцій. В якості міри ризику в більшості випадків приймається рівень невизначеності з тих або інших показників у майбутньому, що оцінюється на основі варіації їх у минулому.

Всі види ризику підрозділяються на дві основні категорії: унікальний і ринковий ризик. Ринковий ризик викликаний впливом макроекономічних факторів, які характеризуються мінливістю кон'юнктури ринку мінеральної сировини, ринків устаткування, матеріалів, праці, капіталу, інфляції та системи оподаткування. До унікальних ризиків відноситься ризик, пов'язаний з оцінкою запасів корисної копалини в надрах, змістом корисних компонентів у руді, що добувається, зміною гірничо-геологічних умов розробки по мірі розвитку гірських робіт.

Гірничі проекти можна охарактеризувати як проекти з підвищеним рівнем ризику обох категорій. По мірі відпрацьовування родовищ постійно змінюються, в основному погіршуються, гірничо-геологічні умови залягання родовища, що веде до збільшення витрат на виробництво гірських робіт. Роста ризик виходу з ладу устаткування, збільшується негативний вплив гірських підприємств на екологію, посилюються вимоги до охорони навколишнього середовища. Крім того, гірниче виробництво відрізняється значною капіталоємністю, що пов'язана з необхідністю використання дорогого технологічного, гірничо-транспортного та збагачувального устаткування, застосуванням екологічних технологій, видобутку і переробки руди. Підвищений ризик гірничих підприємств також визначається значним строком їхнього будівництва, що становить 5-8 років і більше.

Таким чином, гірничі підприємства мають більшу ймовірність одержання несприятливих фінансових результатів і є більше ризикованими, ніж підприємства інших галузей промисловості [7].

Як відомо, видобуток вугілля в шахтах є одним із найнебезпечніших виробництв. Щорічно в Україні відбуваються аварії у вугільних шахтах, що забирають десятки життів, виходить із ладу дороге устаткування, шахти зазнають величезних збитків внаслідок змушеного простою. З кожним роком усе більше уваги приділяється підвищенню безпеки робіт у шахтах: вводяться в дію нові нормативні документи, що посилюють вимоги до умов роботи, до устаткування, що використовується, систем контролю і діагностики. Самі шахти змушені виділяти значні кошти на забезпечення безпечної роботи.

Таким чином, ризик виникнення факторів ризику у вуглевидобувній галузі дуже великий, при цьому дана галузь є основою економіки ряду регіонів України. Забезпечення безпеки при веденні видобутку вугілля є пріоритетним напрямком розвитку в даній галузі.

Статистичні дані показують, що найбільш частими причинами виникнення пожеж, як факторів ризику, у шахтах є несправність гірничого устатку-

вання, викид горючих газів, самозаймання вугілля та порушення норм і вимог пожежної безпеки. Ряд причин, наприклад порушення вимог пожежної безпеки або порушення технологічних процесів, можна нівелювати шляхом активних профілактичних заходів. Але такі фактори, як самозаймання, викид газу та вугільного пилу, відмова устаткування та інші, вгадати практично неможливо. У цьому зв'язку виникає необхідність їхнього виявлення за найкоротший час, щоб забезпечити оповіщення та евакуацію людей, первинні заходи щодо локалізації і гасіння пожежі. Для цього продуктивніше всього використовувати автоматичні системи протипожежного захисту, які забезпечують своєчасне виявлення, локалізацію і гасіння пожежі, оповіщення та евакуацію працівників в автоматичному режимі [8]. Все це, крім реальної небезпеки для життя людей, вимагає значних матеріальних витрат. Тому поточний контроль за ситуацією, що може спровокувати виникнення пожежі, є однією з найважливіших задач геомеханічного моніторингу.

У роботі [9] розглянуто проблеми застосування ризик-орієнтованого підходу для планування заходів щодо контролю в області пожежної безпеки, у якій відзначено, що до останнього часу увага приділяється, в основному, розробці методик оцінки конкретних ризиків і не приділяється належної уваги теоретико-методологічним підставам ризик-орієнтованого регулювання як такого. Проблемою вибухопожежної безпеки з погляду оцінки ризику займаються фахівці в області пожежної і промислової безпеки. Результати наукових праць використовуються в нормативних документах в області оцінки ризику. Однак всі вони, незважаючи на допущення і спрощення, залишаються занадто складними для ручного розрахунку. Застосовують їх, в основному, висококваліфіковані фахівці організацій, що займаються незалежною оцінкою ризику, а не інспекторський склад наглядових органів. Якщо існуючі методики застосувати до діючих об'єктів, то не буде врахований реальний стан міри їхньої пожежної безпеки. Для спрощення і скорочення часу необхідна розробка комп'ютерних програм, які дозволять лише зібрати і внести необхідні відомості про об'єкт у комп'ютер, а програма видасть результат або розробку на основі існуючих методів, експрес-методів оцінки пожежного ризику. Також, з метою виключення підгонки під необхідний результат, необхідна розробка контрольної карти об'єкту, куди б вносилися всі необхідні для оцінки пожежного ризику достовірні дані.

Оцінка пожежного ризику повинна опиратися на статистичні дані про аварії, вибухи, пожежі і інші позаштатні ситуації, що відбувалися на схожих об'єктах, без них оцінка ризику може бути перекрученою і невірною. Однак наразі у гірничодобувній промисловості України відсутня єдина система збору статистичної інформації такого характеру. Аварії, залежно від розміру, збитку, жертв і т.д., можуть кваліфікуватися як надзвичайні ситуації, пожежа і як просто аварії. Тому для вдосконалення ризик-орієнтованого підходу при плануванні заходів щодо контролю в області пожежної безпеки запропонува-

не введення додаткових показників, що враховують ступінь пожежного ризику [9]. Використання при цьому математичних моделей забезпечить можливість впровадження автоматизованої інформаційно-аналітичної системи аналізу ризиків, що підвищить ефективність і скоротить час розрахунку. З метою виключення суб'єктивності і підвищення вірогідності результатів необхідна розробка контрольної карти об'єкту захисту, куди б вносилися всі необхідні для оцінки пожежного ризику дані.

Такі заходи дозволять створити справедливий критерій включення об'єктів захисту в плани проведення перевірок, а також знизити витрати, пов'язані з відволіканням обмежених ресурсів на проведення перевірок як у бізнесу, так і у держави, і в той же час підвищити безпеку.

Цікавий досвід США, де активно та протягом багатьох років використовують ризик-орієнтовані підходи в області пожежного контролю. У країні немає єдиного державного нормативно-правового акту, що закріплює загальні принципи застосування ризик-орієнтованого підходу. Контроль у сфері протипожежної безпеки здійснюється муніципальними органами. Наприклад, протипожежний департамент м. Нью-Йорка з метою застосування ризик-орієнтованого підходу в 2013 р. почав застосовувати нову програму, що використовує інформаційну систему, яка дозволяє здійснювати відбір пріоритетних об'єктів для перевірки [10]. Створено базу даних з інформацією з кожного з контрольованих об'єктів, що підключена до баз даних, що містять відомості про проектування об'єктів, про екологічну обстановку, і навіть до банку даних фінансового департаменту. Інформаційна система, що одержує дані з перерахованих джерел, розраховує ступінь ризику кожного об'єкту і автоматично ранжує перевірки. При цьому основними критеріями є функціональне призначення об'єкту і час введення його в експлуатацію та наявність протипожежних систем, дата попередньої перевірки та наявність порушень вимог пожежної безпеки. Комп'ютерна програма використовує статистичний аналіз і математичні методи прогнозування.

Професор Лондонської школи економіки і політичних наук Дж. Блек запропонував модель ризик-орієнтованого регулювання [11], яка має загальний характер і яку цілком можна застосувати для гірничодобувної промисловості. У даній моделі передбачається раціональний розподіл обмежених ресурсів служби нагляду з урахуванням результатів бальної оцінки ризиків. Якщо процедура оцінки ризиків ефективна, то кількість перевірок знижується, а якість нагляду поліпшується. Відповідно, обсяг ресурсів, що виділяється на їхнє обстеження, буде меншим. Такий підхід цілком правомірний і для проведення поточного і оперативного моніторингу стану гірничодобувних підприємств. Розрізняють два види ризик-орієнтованого підходу – динамічний і статичний. Динамічний містить у собі первісне віднесення об'єктів, що перевіряються, до тієї або іншої категорії з наступною зміною даної категорії залежно від наявності або відсутності порушень. Статичний вид є менш гнучким і менш об'єктивним,

оскільки не дозволяє відслідковувати рівень дотримання обов'язкових вимог на піднаглядних об'єктах. Однак з організаційної точки зору статичний вид є більш простим, що й визначає його широке застосування.

**ВИСНОВКИ.** Визначено основні геомеханічні фактори ризику при видобутку твердих корисних копалин підземним способом та встановлено, що застосування геомеханічного моніторингу стану підземних споруд з урахуванням ризик-орієнтованого підходу є досить перспективним, оскільки являє собою метод організації та здійснення контролю, при якому вибір періодичності його проведення визначається віднесенням об'єктів до певної категорії ризику (класу небезпеки). Таким чином, знаючи ефективність дії тих чи інших заходів з мінімізації ризику, шляхом застосування геомеханічного моніторингу можливо визначити оптимальний варіант технології керування ризиками в гірничій системі «масив гірських порід – підземне виробництво – навколишнє середовище». Оцінка факторів ризику виїмкових ділянок вугільних шахт дозволить обґрунтовано приймати технічні рішення по підвищенню безпеки ведення гірських робіт, особливо це важливо для високопродуктивних вугільних шахт, що розробляють високогазоносні вугільні шари, небезпечні по вибуху газу та пилу.

Ризик-орієнтований підхід у гірничій справі сприятиме виявленню слабких місць у системі «масив – технологія – підземна споруда – навколишнє середовище» і дасть можливість подальшої розробки безпечних методів і технологій гірничого виробництва з найбільшим економічним ефектом. Тільки при урахуванні взаємовпливу і взаємодії всіх технічних, природних і технологічних факторів можливо забезпечити мінімізацію негативних наслідків у процесі експлуатації виробництва та підвищити економічну ефективність видобутку корисних копалин.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Скіпочка С. І., Паламарчук Т. А., Прохорець Л. В. Перспективи геофізичного моніторингу при розвитку ризик-орієнтованого підходу у гірничодобувній промисловості. *Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. Науково-виробничий журнал*. Кременчук, 2018. Вип. 1(21). С. 91–102.
2. Дичко А. О., Єремєєв І. С. Аналіз ризиків і менеджмент водних екосистем. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*.

*градського*. Кременчук, 2018. Вип. 4(111). С. 115–121.

3. Скопинцева О. В., Баловцев С. В. Интегральная оценка аэрологического риска аварий для выемочных участков угольных шахт. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2013. № 4. С. 193–195.

4. Ризик-орієнтований підхід до охорони праці і промислової безпеки у вугільних шахтах: концепція, нормативна база, оцінка і управління ризиками / А. Ф. Булат, Т. В. Бунько, І. Є. Кокоулін та ін. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. 2018. Вип. 105. С. 313–321.

5. Brockman M. C., Gosche K. M. R., Du Plooy D. J. The role of the geotechnical model for rapid integration in managing operational geotechnical risk. *Proceedings of the First International Conference on Mining Geomechanical Risk*. Perth: Australian Centre for Geomechanics, 2019. P. 403–418. URL: [https://doi.org/10.36487/ACG\\_rep/1905\\_24\\_Brockman](https://doi.org/10.36487/ACG_rep/1905_24_Brockman) (Last accessed 09.10.2020).

6. Гражданкин А. И. О риск-ориентированном подходе в обеспечении промышленной безопасности. *Промислова безпека*. 2012. № 5. С. 42–45.

7. Рыков А. М., Ли Хи Ун, Филатов Ю. М. Риск-ориентированный подход в обеспечении безопасности угольных шахт. *Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*. 2016. № 1. С. 73–76.

8. Мамонтов А. С. Риски возникновения аварий на шахтах. *Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*. 2013. № 1. С. 151–155.

9. Фомин А. В., Шахманов Ф. Ф., Савельев Д. В., Кутузов В. В. Проблемы применения риск-ориентированного подхода к планированию мероприятий по контролю в области пожарной безопасности на автомобильных газозаправочных станциях. *Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России*. 2016. № 3. С. 33–39.

10. Rutrell Yasin. How FDNY uses analytics to find potential fire traps. URL: <https://gcn.com/articles/2013/08/01/fdny-data-analytics.aspx?m=1> (Last accessed 09.10.2020).

11. Black J. Risk-based regulation: choices, practices and lessons being learnt. *Risk and regulatory policy. Improving the governance of risk*. Paris: OECD Publishing, 2010. URL: <http://eprints.lse.ac.uk/id/eprint/36387>. – (Last accessed 09.10.2020).

### THE DEVELOPMENT OF THE RISK-ORIENTED APPROACH TO INCREASE THE EFFICIENCY AND SAFETY OF UNDERGROUND SOLID MINING

S. Skipochka, T. Palamarchuk, L. Prokhorets, V. Sergiienko

Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of NAS of Ukraine  
vul. Simpheropolska 2-A, Dnipro, 49005, Ukraine. E-mail: office.igtm@nas.gov.ua

**Purpose.** To identify and analyze the factors that create risks in the construction and operation of underground workings, taking into account which will increase the efficiency and safety of mining. **Methodology.** Analyses and synthesis of experimental and theoretical investigation on this problem. **Results.** It is known that risk is a measure of danger that can be provoked by social, environmental, economic and man-made reasons. Therefore, the application of a risk-oriented approach to increase the efficiency and safety of underground mining is an urgent task, the solution of which allowed us to obtain the following results. The main geomechanical risk factors in the extraction of solid miner-

als by underground methods are determined. There are established that the application of geomechanical monitoring of underground structures taking into account the risk-oriented approach is quite promising, as it is a method of control in which the choice of frequency is determined by which risk category (hazard class) the object belongs to. Thus, knowing the effectiveness of certain measures to minimize risk, through the use of geomechanical monitoring it is possible to determine the best option for risk management technology in the mining system 'rock mass - underground production - the environment'. **Practical value.** Assessment of risk factors of coal mine excavations will allow making reasonable technical decisions to improve the safety of mining, especially for high-performance coal mines that develop high-gas coal seams, dangerous for gas and dust explosion. A risk-oriented approach in mining will help identify weaknesses in the system 'array - technology - underground structure - environment' and will allow further development of safe methods and technologies of mining with the greatest economic effect. **Conclusions.** Only taking into account the interaction of all technical, natural and technological factors it is possible to minimize the negative consequences during the operation of production and increase the economic efficiency of mining.

**Key words:** risk factors, risk-oriented approach, rock massif, underground workings, safety sub-improvement.

#### REFERENCES

1. Skipochka, S. I., Palamarchuk, T. A., Prokhorovets, L. V. (2018), "Perspectives for geophysical monitoring in the development of risk-oriented approach in the mining industry", *Suchasni resursozberigaiuchi tekhnologii girnychogo vyrobnytstva*, No. 1(21), pp. 91-102.
2. Dychko, A. O., Yeremeiev, I. S. (2018), "Risk analysis and management of aquatic ecosystems", *Visnyk KrNU im. M. Ostrogradskogo*, Kremenchuk, No. 4 (111), pp. 115-121.
3. Skopintseva, O. V., Balovtsev, S. V. (2013), "Integrated assessment of the aerological risk of accidents for excavation sites of coal mines", *GIAB*, No. 4, pp. 193-195.
4. Bulat, A. F., Bunko, T. V., Kokoulin, I. Ye., and other (2018), "Risk-oriented approach to labor protection and industrial safety in coal mines: concept, regulatory framework, risk assessment and management", *Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroeniye*, No. 105, pp. 313-321.
5. Brockman, M. C., Gosche, K.M.R. & Du Plooy, D.J. (2019), "The role of the geotechnical model for rapid integration in managing operational geotechnical risk", in J. Wesseloo (ed.), *Proceedings of the First International Conference on Mining Geomechanical Risk*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 403-418, [https://doi.org/10.36487/ACG\\_rep/1905\\_24\\_Brockman](https://doi.org/10.36487/ACG_rep/1905_24_Brockman) (Accessed 9 Oct 2020).
6. Grazhdankin, A. I. (2012), "About the risk-oriented approach in ensuring industrial safety", *Promyslova bezpeka*, No. 5, pp. 42-45.
7. Rykov, A. M., Li Khi Un, Philatov, Yu. M (2016), "Risk-oriented approach in ensuring the safety of coal mines", *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universyteta Gosudarstvennoy protyvopozharnoy sluzhby MChS Rossii*, No. 1, pp. 73-76.
8. Mamontov, A. S. (2013), "Risks of accidents at mines", *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti robot v ugolnoy promyshlennosti*, No. 1, pp. 151-155.
9. Phomin, A. V., Shakhmanov, F. F., Savel'yev, D. V., Kutuzov, V. V. (2016), "Problems of application of the risk-oriented approach to planning of measures of control in the field of fire safety at automobile gas stations", *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universyteta Gosudarstvennoy protyvopozharnoy sluzhby MChS Rossii*, No. 3, pp. 33-39.
10. Rutrell Yasin. How FDNY uses analytics to find potential fire traps. URL: <https://gcn.com/articles/2013/08/01/fdny-data-analytics.aspx?m=1> (Accessed 9 Oct 2020).
11. Black, J. (2010), "Risk-based regulation: choices, practices and lessons being learnt", *Risk and regulatory policy. Improving the governance of risk*. Paris: OECD. URL: <http://eprints.lse.ac.uk/id/eprint/36387> (Accessed 9 Oct 2020).

Стаття надійшла 13.07.2020.