

2. Використання радіаційного охолоджувача є проблематичним для газифікаторів, що виробляють тільки водень та монооксид вуглецю. У цьому випадку промениста складова в процесі охолодження газу незначна внаслідок малого ступеня чорноти газового об'єму. Проте, наявність частинок сажистого вуглецю в об'ємі може забезпечити прийнятну тепловіддачу випромінюванням від газів, що синтезуються.

3. Конвективні охолоджувачі чутливі до відкладення шлаку та конденсації смол на теплообмінних поверхнях. Вони мають високий ризик забруднення та закупорки, що може призвести до підвищення гідравлічного опору газового тракту та зупинення технологічного процесу.

4. Для умов плазмового процесу отримання синтез-газу з вуглець-водневмісної сировини шахт, перспективними є комбіновані системи охолодження синтез-газу. Завдяки виробленню пари в радіаційному, а потім конвективному теплообміннику ефективно використовується явна теплота одержуваного газу. Крім того, наявність вузла водяного охолодження дозволяє очистити та підготувати синтез-газ для подальшого поділу суміші та виділення водню.

#### Список літератури

1. Qian, Zhu. (2015). High temperature syngas coolers, *IEA Clean Coal Centre*. <https://usea.org/sites/default/files/media/High%20temperature%20Syngas%20coolers%20-%20ccc257.pdf>
2. Biofuels Academy (2023). <http://www.biofuelsacademy.org/index.html%3Fp=308.html>

## АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ВПЛИВУ ГЕОСТРУКТУРНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАРУБІЖНИХ ВУГІЛЬНИХ РОДОВИЩ НА ПРОЯВИ ГІРСЬКИХ УДАРІВ

<sup>1,2</sup>Ішков В.В., <sup>1</sup>Пащенко П.С., <sup>2,3</sup>Козій Є.С., <sup>2</sup>Лазарев Р.П.

<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Дніпро, Україна, <sup>2</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна, <sup>3</sup>Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна

**Анотація.** У статті проведено аналітичний огляд наукових досліджень за останні двадцять років щодо впливу геоструктурних особливостей зарубіжних вугільних родовищ на прояви гірських ударів. Узагальнено необхідні передумови виникнення гірських ударів у вугільних родовищах.

**Актуальність** виконаних досліджень обумовлена необхідністю створення умов для рентабельної роботи вугільних шахт у сучасній економічній ситуації за безумовного забезпечення безпеки праці шахтарів.

**Останні досягнення.** Раніше авторами було розроблено методику прогнозу стійкості вуглевміщуючих порід по комплексу геолого-геофізичних методів. [1-8].

**Мета досліджень.** Аналітичний огляд наукових досліджень за останні 20 років впливу геоструктурних особливостей зарубіжних вугільних родовищ на прояви гірських ударів. Раніше такі дослідження не виконувалися.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Статистичні дані щодо вугільних шахт США показують, що між 2002 і 2022 роками 367 нещасних випадків на вугледобувних підприємствах пов'язані з гірськими ударами. Фактична кількість гірських ударів, ймовірно, значно вища. Наприклад, гірські удари можуть бути викликані вибухами та ініційовані іншими явищами, пов'язаними з проблемами керування гірським тиском. Такі події не кваліфікуються як удари, але найчастіше як вибухи, розломи ґрунту чи обвалення покрівлі. Тому точної документації щодо нещасних випадків, пов'язаних із цими явищами, немає.

Відомо, що потужність та частота гірських ударів зростають із глибиною. Причину такого збільшення зазвичай пов'язують із зростанням ваги товщі, що покриває, і напруг у шарах порід у міру збільшення глибини. Проте глибина є єдиним чинником, сприяючим виникненню гірських ударів. Відомі випадки гірських ударів на глибині менше ніж 100 м від поверхні. У неглибоких шахтах гірські удари зазвичай відбуваються нечасто і не мають особливо серйозного характеру. У найглибших шахтах, небезпечних по гірських ударах, глибина, де вони почали виявлятися, становить найчастіше понад 600 м.

У більшості випадків удари стають серйозною проблемою починаючи з глибини понад 900 м. Однак на деяких шахтах, що працюють на глибині понад 1500 м, гірські удари не відбуваються. Це вказує на те, що не лише глибина, а й місцеві специфічні умови є також важливими факторами. До таких факторів належать наступні: 1) гірничо-геологічні умови; 2) система розробки; 3) фізико-механічні властивості порід.

Зв'язок гірських ударів з геологічними факторами, такими як розривні порушення, скиди, зсуви, складки, до кінця не вивчений, хоча дослідження показали, що частота викидів порід пов'язана з розташуванням шахти щодо великих структур. Як правило, потужність покриваючих порід та круте залягання пластів створюють умови для гірських ударів. Крутопадаючі товщі, для яких характерні різкі зміни гравітаційного тиску з боку покриваючих порід, і міцні шари покриваючих порід, схильних до раптового обвалення, є факторами, що сприяють виникненню гірських ударів. Хоча потужні пласти вугілля схильні до гірських ударів, потужність пластів перестала бути основним чинником; на тонких пластах можуть відбуватися гірські удари залежно від поєднання інших чинників.

Розташування та орієнтування геологічних порушень, таких як скиди та зсуви, складки, дайки та тріщини, часто створюють умови для гірських ударів. Взаємозв'язок цих аномалій із гірськими ударами дуже складно встановити і погляди на цю проблему значно розходяться. Наприклад, суттєві розбіжності мають місце щодо впливу порушених зон на виникнення гірського удару. Дослідження на пластах Верхньої Баварії у ФРН показали, що гірські удари зазвичай відбувалися у непорушених зонах, у той час як у порушених відзначалося їх дуже невелика кількість [9].

Згідно з цими дослідженнями, порушення супроводжуються численними мікротріщинами, в області поширення яких відбувається релаксація надмірної

напруги; у зонах впливу порушень гірські удари менш ймовірні. З іншого боку, порушення, поглинаючи сумарну енергію пружних деформацій, зменшують кількість гірських ударів. На противагу цим спостереженням є переконливі докази, що вказують на те, що гірські удари часто відбуваються поблизу скидних порушень. На шахті «Спрінг Хілл» у Канаді сильні гірські удари відбувалися поблизу порушень під час проведення похилих виробок [10]. На шахті «Саннісайд» (Юта, США) кількість та інтенсивність гірських ударів значно збільшилися при проведенні виробок через порушену зону шириною 5,5 м. Внаслідок цього виникла необхідність застосування додаткового кріплення похилих стволів [11]. У Верхній Сілезії (Польща) на шахті «Андреас» № 3 пласт був вигнутий і ослаблений порушеннями упродовж 450 м. Вибухоподібні удари сталися під порушенням, тоді як зона впливу цього порушення була віднесена до безпечної по гірських ударах. Ця аномалія не може бути пов'язана з глибиною, що становить всього 108 м. Фахівці припустили, що напруження виникло вище, але не під зоною порушення [9].

В Южній Африці небезпечність горних ударів звичайно зростає при приближенні виемочного забоя к зоні порушень [12]. Досвід показує, що в дайках на пласті, що розробляється, має місце високий рівень напруг [9].

Зростання температури, ступеня метаморфізму та перекристалізація порід поблизу дайок можуть сприяти однорідності породного масиву та спонтанному збільшенню енергії [13]. Хакетт [12] вважає, що присутність дайок збільшує небезпеку гірських ударів.

Досвід показує також, що ведення гірничих робіт у синклінальних складках збільшує частоту гірських ударів. Синклінальні складки зазвичай ускладнені порушеннями внаслідок дії високих горизонтальних напруг у масиві. На шахті «Кнурів» у Польщі були труднощі щодо підтримки квершлагів, що проводилися під осями невеликих синклінальних складок. Однак після проходження через зону синкліналі стан квершлагів став стійким. На шахті «Миховіце» у Польщі розробка пластів під синклінальною складкою супроводжувалась великою кількістю гірських ударів [9].

Крутопадаючі пласти також зазнають гірських ударів. Сильні гірські удари відзначалися в крутій частині пласта на шахті «Коал Крик» в Канаді [9]. Збільшення порушеності ґрунту та небезпечні гірські удари у штреках спостерігалися в ціликах поблизу пологої частини [15].

Вплив протяжності покриваючих порід на гірські удари змінюється залежно від геологічних умов та системи розробки вугільного пласта. Холланд [16] вказував, що потужність покриваючих порід, що перевищує 150 м, є необхідною умовою виникнення гірських ударів. У той же час на шахті «Спрінгхілл» № 2 (Нова Шотландія, Канада) [17] на глибині близько 570 м гірські удари не спостерігалися.

Райс [18] зазначає, що гірські удари в деяких шахтах Вірджинії та Кентуккі (США) можливі з глибини понад 300 м. Як вважають багато фахівців, наявність міцних масивних шарів у безпосередній близькості від пласта вугілля є основною умовою виникнення гірських ударів. Залежно від фізико-механічних

властивостей і потужності пісковики, що залягають у покрівлі, під дією розтягуючих напруг від згинальних моментів при відсутності горизонтальних зсувів можуть обрушуватися великими блоками. За наявності шарів слабких глинистих порід з гладкими поверхнями напластування відбуватиметься повільний процес релаксації напруги в сланці, внаслідок якого відбуватимуться горизонтальні зміщення вугілля у бік вироблення. Це має місце тому, що коефіцієнт тертя між аргілітами та вугіллям низький.

**Основні висновки.** 1. Коефіцієнт тертя між вугіллям та пісковиком часто буває дуже високим, що запобігає горизонтальній релаксації у вугіллі. Силами тертя вугілля утримується в зоні максимуму опорного тиску попереду виробки, де він зазнає великих навантажень. 2. Раптове зменшення тертя між вугіллям та пісковиком призводить до зниження міцності вугілля, що перебуває в умовах об'ємного напруженого стану. Вугілля руйнуватиметься під дією навантаження опорного тиску з вивільненням кінетичної енергії пружної деформації. 3. Наявність шару слабкої глинистої породи товщиною в 1-2 рази меншої потужності пласта вугілля, що залягає між пластом і масивним шаром вище, зазвичай достатньо, щоб створити умови для горизонтальної релаксації у вугіллі, запобігаючи, таким чином, можливість виникнення гірського удару. 4. Ступінь і характер геологічної порушеності, встановлені на вугільному родовищі, можуть створювати необхідні передумови виникнення гірських ударів. Основні геологічні форми, такі як великі складки вугленосних товщ, можуть створювати зони з аномально високою напругою, збільшуючи ризик гірських ударів, локалізованих у певних структурах. 5. Для прогнозування ступеня небезпеки проявів гірських ударів необхідні ретельні геологічні дослідження шахтних полів на початок гірничих робіт.

#### Список літератури

1. Широков, О.З., Сафронов, І.Л., Ішков, В.В., Козій, Є.С. (2020). *Основи методики прогнозу стійкості вуглевміщуючих порід по комплексу геолого-геофізичних методів*. Матеріали XVIII конференції молодих вчених «Геотехнічні проблеми розробки родовищ». Дніпро. ІТМ НАН України. 70-75.
2. Широков, О.З., Сафронов, І.Л., Ішков, В.В., Козій, Є.С. (2020). *Основи методики прогнозу стійкості вуглевміщуючих порід по комплексу геолого-геофізичних методів*. Матеріали III міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми розвитку гірничо-промислових районів». Покровськ. ДВНЗ «ДонНТУ». 16-24.
3. Ішков, В.В., Козій, Є.С. (2020). *Особливості прогнозу стійкості вуглевміщуючих порід по комплексу геолого-геофізичних методів*. Матеріали I Міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми гірничої геології та геоекології». Київ. 27-30.
4. Про зв'язок між германієм та миш'яку у вугільному пласті с<sub>4</sub> шахти «Самарська» / Чернобук Олександр Іванович, Ішков Валерій Валерійович, Козій Євген Сергійович, Козар Микола Антонович, Дрешпак Олександр Станіславович // *The influence of society on the development of science and the invention of new methods: with the Proceedings of the 23th International Scientific and Practical Conference, (June 13 – 16, 2023) Prague, Czech Republic. Prague, 2023. 103-115.* Режим доступу: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/163604>
5. Ishkov, V.V., Kozii, Ye.S. & Chernobuk, O.I. (2023). *Geochemical peculiarities of germanium, arsenic, mercury, beryllium, fluorine and total sulfur in the c<sub>8h</sub> coal seam of the Dniprovska mine field. Geo-Technical Mechanics.* 164. 21-36. Режим доступу: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/163517>
6. Про зв'язок між германієм та ртуттю у вугільному пласті с<sub>8н</sub> шахти «Тернівська» / Чернобук Олександр Іванович, Ішков Валерій Валерійович, Козій Євген Сергійович, Козар Микола Антонович, Дрешпак Олександр Станіславович // *Theoretical and applied aspects of the development of science : with*

the Proceedings of the 18th International Scientific and Practical Conference, (May 09 – 12, 2023) Bilbao, Spain. Bilbao, 2023. 141-153. Режим доступу: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/163497>

7. Ішков, В.В., Козій, Є.С., Чернобук, О.І., Козар, М.А., Дрешпак, О.С. (2022). Про зв'язок між концентрацією германію і вмістом токсичних елементів та сірки загальної у вугільному пласті с<sub>8</sub><sup>н</sup> шахти «Дніпровська». Збірник наукових праць НГУ, 71, 145-159. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/71.145>

8. Ішков, В.В., Козій, Є.С., Чернобук, О.І. (2022). Аналіз впливу потужності вугільного пласта с<sub>8</sub><sup>н</sup> шахти Дніпровська на вміст германію. Збірник наукових праць НГУ, 70, 76-90. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/70.076>

9. Lam, R.D. (2007). *Some Aspects on Planning of Deposits Liable to Rock Bursts*. J. Mines, Met. and Fuels. May 2007, 149-158.

10. Campbell, W.F. (2005). *Deep Coal Mining in Spring Hill*. No. 2 Mine. Trans. Soc. Min. Eng. AIME. Sept. 2005, 987-992.

11. Perkin, J. (2008). *Mountain Bumps at Sunnyside Colliery*. Min. Eng. 2008, 10, 562-582.

12. Hackett, P. (2012). *Rock Bursts*. Colliery Guardian. Aug. 2012, 421-433.

13. Mohr, F. (2015). *Rock Pressure and Mine Support*. Mine and Quarry Eng. June 2015, 215-237.

14. Miard, H.E. (2016). *Sudden Release of Ground Stresses in Coal Mines of Western Canada*. Joint Advisory Committee Conf. on Outbursts of Coal and Firedamp. Oct. 5. 2016. 10 p.

15. Obert, L., Duvall, W. (2005). *Microseismic Method of Predicting Rock Failure in Underground Mining*. BuMines RI 3797. 2005. 14 p.

16. Holland, C.T and Thomas, E. (2014). *Coal Mine Bumps-Some Aspects of Occurrence, Cause and Control*. BuMines B 535, 2014. 65 p.

17. Herd, W. (2009). *Bumps in No. 2 Mine, Springhill, Nova Scotia*. Trans. Can. Inst. Min. and Metall. 2009. 32. 413-457.

18. Rice, G.S. (2008). *Bumps in the Coal Mines of the Cumberland Field, Kentucky and Virginia*. Causes and Remedy. BuMines RI 3267, 2008. 27 p.

## ПАРАМЕТРИ АВАРІЙНОГО ВИБУХУ У ДЕГАЗАЦІЙНОМУ ТРУБОПРОВОДІ

<sup>1</sup>Налисько М.М., д.т.н., <sup>1</sup>Мамаєнко С.О., магістр, <sup>1</sup>Махінько А.О., магістр  
<sup>1</sup>Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Дніпро, Україна

**Анотація.** Підвищення безпеки персоналу на підземних роботах при загрозі виникнення газових вибухів, в т.ч. вибуху дегазаційних трубопроводів шляхом врахування впливу місця ініціювання вибуху і режиму горіння при розрахунку параметрів вибуху. Встановлено, що динаміка горіння газоповітряної суміші істотно впливає на процес формування ударної повітряної хвилі: в режимі дефлаграційного горіння газоповітряної суміші, з ініціюванням у краю хмари, довжина вибухової хвилі збільшена в 3,6 рази в сторону протилежну напрямку розповсюдження горіння, а амплітуда хвилі на 10 % в сторону горіння.

На гірничих підприємствах України, що мають розгалужену мережу підземних виробок, щорічно реєструється не менше 10 підземних пожеж, однією з причин яких можуть бути аварійний вибухи у дегазаційних трубопроводах (ДТ) [1, 2]. При застосуванні вогняних та вибухових перешкод у конструкціях ДТ, для надійної їх роботи необхідно знати можливі вибухові навантаження у аварійних ситуаціях. Надійність визначення параметрів ударної повітряної хвилі (УПХ) і можливі навантаження на вибухозахисні засоби, крім іншого, залежить від повноти обліку факторів і зокрема від динаміки розвитку вибуху газоповітряних сумішей (ГПС).

Незважаючи на значний обсяг досліджень, питання прогнозування початкових параметрів УПХ остаточно не вирішено. Вплив деяких факторів при аварійних