

- konf. «Vysokoenergeticheskaya obrabotka materialov»* [Experimental results of the destruction of polymineral media under explosive and mechanical action. Proceedings of Int. «High Energy Material Processing»]. Dnepropetrovsk, 2000, pp. 44-49. (Rus.)
8. Efremov E.I., Rodak S.N. Rol' zaboiki v zapiranii gazoobraznykh produktov detonaczii [The role of stemming in locking off gaseous detonation products]. *Povyshenie effektivnosti razrusheniya gornykh porod – Increasing the efficiency of destruction of rocks*, 1991, pp. 3-8. (Rus.)
  9. Adler Yu.P., Markova E.V., Granovskij V.P. *Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nykh uslovij* [Planning an experiment to find optimal conditions]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 280 p. (Rus.)
  10. DSTU B V.2.7-114-2002. *Sumishi betonni. Metody vyprobuvan* [State Standard V.2.7-114-2002. Concrete mixes. Test methods]. Kyiv, Standartinform Publ., 2002. 25 p. (Ukr.)
  11. *Rukovodstvo po proektirovaniyu ventilyaczii ugol'nykh shakht* [Guidelines for the design of ventilation of coal mines]. Kyiv, Osnova, 1994. 312 p. (Rus.)
  12. NAOP 10.0-1.01-09. *Pravyly bezpeky u vuhilnykh shakhtakh* [State Standard 10.0-1.01-09. Safety rules in coal mines]. Kyiv, Minvuhleprom Ukrainy, MakNDI, 2009. 231 p. (Ukr.)

Рецензент: С.І. Чеберячко  
д-р техн. наук, проф., НТУ «ДП»

Стаття надійшла 03.04.2021

УДК 622.817

doi: 10.31498/2225-6733.42.2021.240685

© Когтєва О.П.\*

### ЛАБОРАТОРНА ПЕРЕВІРКА СПОСОБУ КОНТРОЛЮ ДЕГАЗАЦІЇ ГІРНИЧОГО МАСИВУ

*Розглянуто декілька варіантів зниження газової та газодинамічної безпеки при проведенні підготовчих виробок по викидонебезпечному пласту, увага акцентована на запропонованому способі проведення підготовчої виробки, що включає буріння випереджаючих свердловин, гідророзпушування вугільного пласта шляхом нагнітання у нього води та механічне руйнування вугілля й гірських порід. Спосіб відрізняється тим, що при гідророзпушуванні вугільного пласта до води додають пігмент, виконують відсмоктування метану зі свердловини, а механічне руйнування пласта й гірських порід при проведенні виробки виконують у межах простору, обробленого пігментом для наочного оцінювання ситуації. В лабораторних умовах перевірена ефективність способу і можливість реалізації в реальних умовах.*

**Ключові слова:** викидонебезпечний пласт, свердловина, противикидні заходи, буріння, гідророзпушення, пігмент.

**O.P. Kohtieva. Laboratory verification of the method of rock degassing control.** An increase in the depths of mining operations has become an acute problem of safe and efficient mining works; gas capacity of the developed layers and host rocks increasing. The process is accompanied by increased methane emissions and gas-dynamic effects: emissions of methane, coal and sandstone. The probability of the gas-dynamic effects increases with the increase in the area of roof rocks exposure, at conducting mining works in the zone of increased mountain pressure. Visible cracks form. It has been established that one of the effective ways to control mine methane is early degassing of the boreholes. At present, the methods that would help eliminate emissions while degassing the workspace are little known. It is necessary to make up new approaches to the development and use

\* аспірант, ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Покровськ, ORCID: 0000-0001-7282-8243, [olha.kohtieva@donntu.edu.ua](mailto:olha.kohtieva@donntu.edu.ua)

*of the methods of forecasting and protective measures. The relevance of the development and implementation of modern methods and techniques for monitoring the condition of the rock mass is currently central, because the safety of miners is an important task of the coal industry. To improve the safety of miners, it is necessary to develop fast but simple methods, portable devices, etc., that would make it possible to assess and monitor the state of the rock directly. Several options for reducing gas and gas-dynamic safety during preparatory works have been considered; attention being focused on the proposed method of preparatory works, including drilling of advance wells, hydro-loosening of coal seam by injection of water and mechanical destruction of coal. The method is distinguished by the fact that when the coal seam is loosened, pigment is added to the water, methane is sucked out of the well, mechanical destruction of the layer and rocks is performed; and within the space treated with pigment it is possible to assess the situation visually. In laboratory conditions the efficiency of the method and the possibility of its realization in real conditions has been checked.*

**Keywords:** *emission hazard layer, borehole, anti-emission measures, drilling, hydro loosening, pigment.*

**Постановка проблеми.** Гострою проблема безпечного та ефективного проведення гірничих робіт стала зі збільшенням глибин розробки шахт, бо разом з тим зросла газоносність розроблюваних пластів і вміщуючих порід [1]. Процес супроводжується підвищенням метановиділення та газодинамічними проявами: викид метану, вугілля та пісковиків. Вірогідність виникнення газодинамічного явища підвищується при збільшенні площі оголення порід покрівлі, ведення гірничих робіт в зоні підвищеного гірського тиску. Спостерігається утворення видимих тріщин [2]. Встановлено, що одним з ефективних способів боротьби з шахтним метаном є завчасна дегазація з використанням свердловин. Створення тріщин за рахунок гідророзпушення пласта ініціює виділення метану у вільному та адсорбованому вигляді до свердловини.

На теперішній час маловідомі способи, які б сприяли і усуненню викиднебезпечності, і дегазації робочого простору одночасно. Необхідне створення нових підходів до розробки і використання способів і засобів прогнозу та захисних міроприємств. Актуальність розробок та впроваджень сучасних способів та методів контролю за станом масиву порід є завжди, тому що безпечність праці гірників є важливою задачею вугільної промисловості. На сьогодні технічна забезпеченість багатьох шахт дозволяє підвищити темпи проведення робіт, але необхідний постійний контроль для попередження або виявлення небезпечних ситуацій [3]. Для поліпшення безпеки шахтарів необхідні розробки швидких, але простих методів, портативних приборів тощо, які б надали можливість безпосереднього оцінювання і контролю за станом масиву.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасні дослідження [4] мають результати випробувань в області використання гідророзриву вугільного пласта при проведенні підготовчих виробок по високогазоносним вугільним пластам з ціллю зниження газової та газодинамічної небезпеки. Небезпека ініціювання небезпечних газодинамічних явищ, в тому числі раптових викидів вугілля і газу, а також вірогідність загазовування робочого простору є основними факторами, що впливають на темпи проведення підготовчих виробок. Вказується, що створення тріщин гідророзриву в нерозвантаженому масиві ініціює потік метану, що міститься в пласті у вільному і адсорбованому виді, до свердловини. Представлені способи використання гідророзриву вугільного пласта при проведенні підготовчих виробок з урахуванням технологічних особливостей їх проведення, а також пристрій для виконання гідророзриву вугільного пласта через шпури, що пробурені в забій підготовчої виробки. Використання способу гідророзриву через шпури буде в більшій мірі сприяти зниженню газодинамічного потенціалу призабійної зони пласта. Тому, представлені способи використання гідророзриву можна використовувати сукупно для досягнення більш високих результатів із зниження газової та газодинамічної небезпеки при проведенні виробок по високогазоносним пластам. Але зазначено, що створення тріщин гідророзриву в нерозвантаженому масиві ініціює потік метану, що міститься в пласті у вільному та адсорбованому вигляді, до свердловини і не передбачений місцевий швидкий контроль якості повітряної суміші в робочому просторі.

В наступному [5] трирівневому способі пропонують видобутку вугілля і газу, де на першому рівні поєднується наземний та підземний метод видобутку. Таким чином досягається-

ся спільний видобуток ґрунтового та підземного газу. Другий рівень – це видобуток вугільних ресурсів спільно через свердловини, пробурені з поверхні, та свердловини вздовж робочої поверхні пласта. Третій рівень – це оптимізація наземних та підземних систем видобутку та утилізації, для реалізації повного використання шахтного газу та досягнення мети спільного видобутку вугілля та ШМ (шахтного метану). Тривимірний метод запобігання виділенню та контролю газу створює нову модель управління газом для одиночних вугільних пластів з високим ризиком викиду газу та реалізує всебічну координацію та єдність різних методів газового контролю просторово і за часом. Метод може ефективно гарантувати безпеку експлуатації під час механізованих гірничих робіт, реалізувати видобуток та повне використання газу з окремими джерелами, а також забезпечити керівництво та напрямки для спільного видобутку вугілля та ПМС (повітряно-метанової суміші) з подібними умовами видобутку. Але метод, що пропонується, є довгостроковим, хоча і заявляється як такий, що гарантує екологічний та безпечний видобуток вугілля і газу за умови хорошої координації між запропонованими трьома рівнями видобутку.

В методі [6, 7] враховано попередній досвід вивчення тріщинної пористості порід та запропоновано дослідження розподілення компонентів пористості по поверхні та кількісна оцінка розмірів за рахунок капілярного розповсюдження люмінесцентної рідини. За основу взяті фізичні ефекти, такі як: капілярне насичення, сорбція, люмінесценція люмінофору в ультрафіолетовому світлі. Вищезазначене має за основу вивчення характеру розподілу і розміру тріщин, фізичних явищ, а не, наприклад, контроль якості виконання противикидних заходів.

Відомий експрес-метод [8], який пропонується використовувати навіть безпосередньо шахтарями для оцінки небезпеки за газовим фактором. Метод, що представлений, дає можливість швидко і просто підвищити безпеку і економічність роботи в газоносних шахтах при використанні тепловізорів або інфрачервоних термометрів та десорбметрів. Можливе прогнозування газовиділення з дегазаційних свердловин вже при бурінні, швидке визначення газокінетичних властивостей вугілля та залишкової газонасиченості в пробах, а також оцінювання ефективності дегазації будь-яких пластів на кожній ділянці.

Але наявність хоча і мінімальних приборів (пірометра або тепловізора) та десорбметра необхідна, а також вміння робітників користуватись приладами. Вищезазначені методи і способи мають свої недоліки, які потребують додаткових досліджень, що тягне за собою додаткові матеріальні і фінансові витрати. Тому було запропоновано інший спосіб надійного та оперативного контролю стану безпеки вугільного пласта та оточуючих порід в робочій зоні. В основу корисної моделі [9] поставлено задачу створення способу проведення підготовчої виробки по викидонебезпечному вугільному пласту для забезпечення надійності оперативного контролю якості виконання противикидних заходів безпосередньо прохідниками виробки. Поставлена задача вирішується тим, що спосіб проведення підготовчої виробки по викидонебезпечному вугільному пласту включає буріння випереджаючих свердловин, гідророзпушування вугільного пласта з високонапірним нагнітанням у нього води та механічне руйнування вугілля й гірських порід. Згідно корисної моделі, випереджаючі свердловини бурять в породах підшви пласта в напрямку майбутнього розташування пластової виробки, при гідророзпушуванні вугільного пласта до води додають пігмент світлого кольору. Далі виконують відсмоктування метану зі свердловини, а механічне руйнування пласта й гірських порід при проведенні виробки виконують у межах простору, обробленого пігментом. Вказані ознаки складають суть запропонованої корисної моделі, тому що вони є необхідними і достатніми для досягнення технічного результату – забезпечення надійного оперативного контролю якості виконання противикидних заходів безпосередньо прохідниками виробки.

При проведенні підготовчої виробки по газонасичених викидонебезпечних пластах випереджаючі свердловини бурять у породах підшви пласта (рис. 1), що виключає вірогідність мікровикидів вугілля та газу в порожнечу свердловини та затискання бурового інструмента. Гідророзпушування гірського масиву виконують таким чином, щоб тріщини утворювались як у вугільному пласті, так і у породах, що його вміщують. В результаті утворюються канали для фільтрації метану до свердловини. Після гідравлічної обробки гірничого масиву воду зі свердловини відкачують та підключають до дегазаційної мережі. Відсмоктування газової суміші зі свердловини призводить до ліквідації небезпеки викиду вугілля й газу в межах простору, в якому утворено тріщини. Додавання пігменту світлого кольору до водяного розчину призво-

дять до забарвлення стінок тріщин. Прохідники виробки візуально оцінюють наявність або відсутність пігменту на стінках тріщин. Вибій виробки спрямовують у межі простору, де існує забарвлення стінок тріщин.

При проведенні пластової виробки за допомогою прохідницького комбайна реалізується швидкісна проходка. Прохідники візуально контролюють стан безпеки пласта та оточуючих порід за наявністю пігменту на стінках тріщин. Межі безпечного простору позначаються залишками пігменту на стінках тріщин, що свідчить про відсутність загрози викиду. Далі проводиться наступний цикл виїмки порід та вугілля з поверхні вибою. Застосування запропонованого способу дозволяє значно знизити витрати коштів та часу на виконання операцій з оцінки викидонебезпечності, забезпечити швидкісне та безпечне проведення підготовчих виробок комбайном по викидонебезпечних газонасичених вугільних пластах. Однак, натурних досліджень в шахтних умовах проведено не було, тому запропоновану технологію використано в лабораторних умовах.

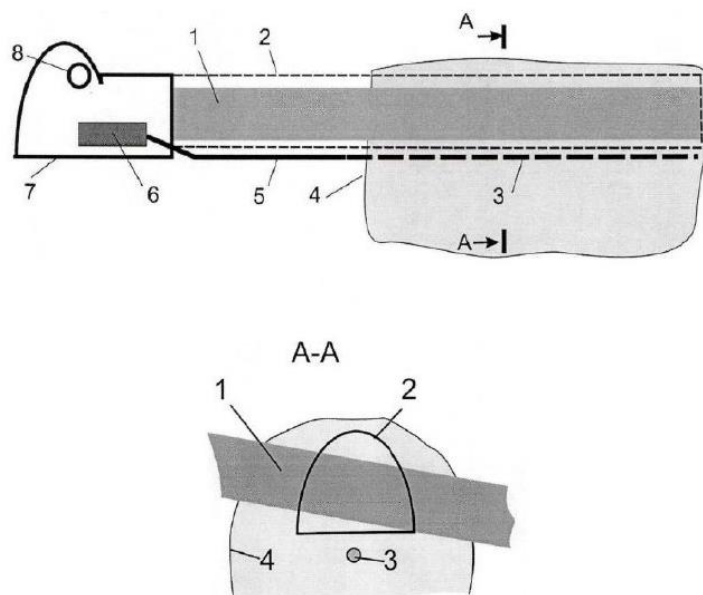


Рис. 1 – Схема розташування свердловини вздовж виробки: 1 – вугільний пласт; 2 – підготовча виробка; 3 – свердловина; 4 – контур розпушення; 5 – ділянка нерозчленованої свердловини; 6 – буровий верстат; 7 – магістральна виробка; 8 – дегазаційний трубопровід

**Мета досліджень** – завдяки лабораторним випробуванням показати можливість реалізації запропонованого способу оперативного контролю стану безпеки вугільного пласта та оточуючих порід в шахтних умовах.

**Виклад основного матеріалу.** В лабораторних умовах були проведені дослідження обробки пігментом пісковиків різної пористості і вугілля. Було використано установку зі створення підвищеного гідравлічного тиску на породні зразки, в якості робочого тіла використовували водний розчин ПАР (поверхнево-активної речовини) з додаванням барвника зеленого кольору. Установка містила наступне обладнання: компресор для створення розрідження у замкненому просторі, манометр – для контролю тиску, ємність для підтримки постійного тиску в замкненому просторі, ємність з рідиною, що містить барвник та ПАР (для більшого контакту поверхні зразка з забарвленою рідиною). За допомогою компресора створювалось розрідження у замкненому просторі. За рахунок перепаду тиску поровий простір зразків, що був заповнений повітрям, заповнився рідиною, насиченою барвником (рис. 2).

В результаті тридцятихвилинного насичення зразки частково набули кольору барвника.

Для подальшого дослідження і оцінки проникнення пігменту вглиб поверхонь зразки розкололи за допомогою преса ГП-50 (рис. 3).

Результати насичення і оцінка проникнення пігменту проведено методом мікроскопії за допомогою портативного мікроскопа (рис. 4).



Рис. 2 – Фото установки для створення розрідження: 1 – компресор; 2 – манометр; 3 – скляна ємність; 4 – ємність із зануреними в забарвлену рідину зразками



Рис. 3 – Фото преса гідравлічного ГП-50



Рис. 4 – Фото портативного USB-мікроскопа

На знімках, отриманих за допомогою мікроскопа, видимі профарбовані зони поверхонь при 10-кратному збільшенні та зони, збільшені у 50 раз (рис. 5, поз. 1).



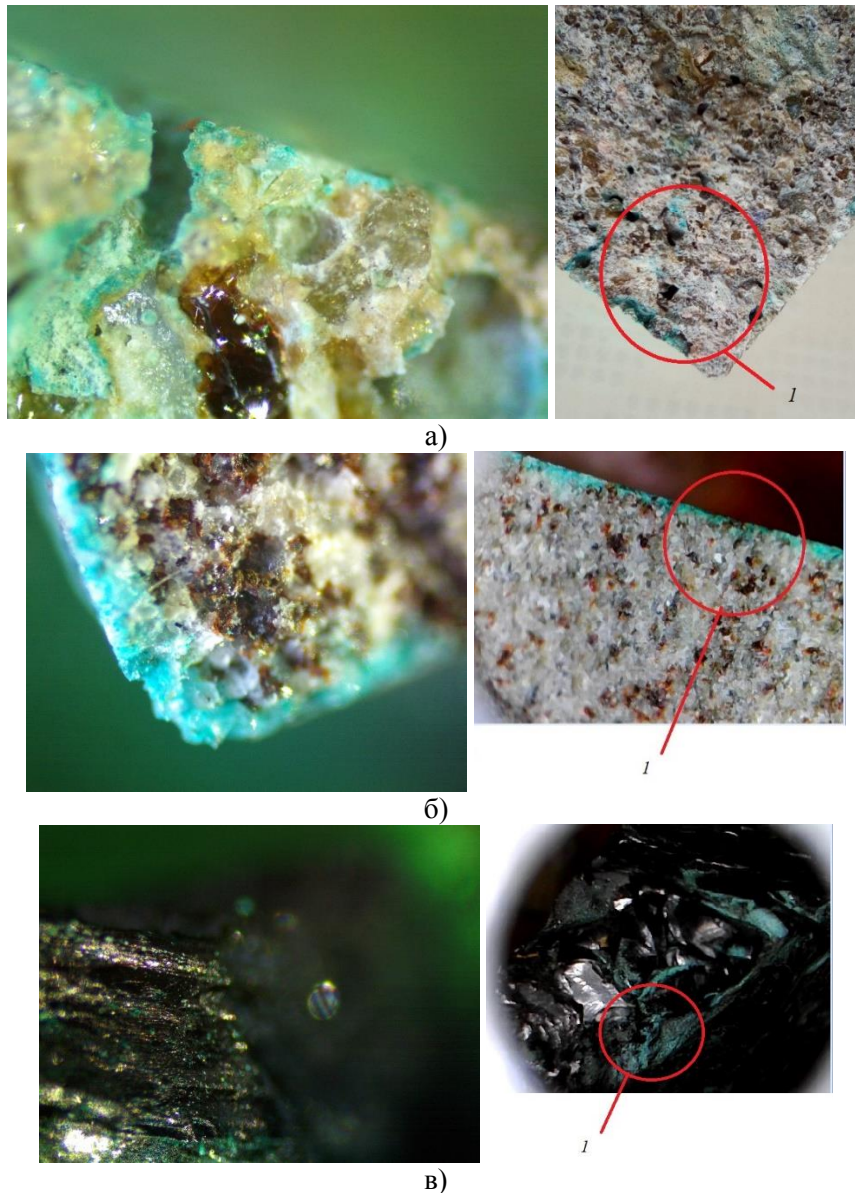


Рис. 5 – Вигляд зламів при збільшенні (поз. 1) під мікроскопом: а – пористий пісковик; б – пісковик; в – вугілля

За отриманими знімками видно, що наочне оцінювання фарбування вугілля ускладнене за рахунок темного кольору як самого зразка, так і барвника. На зразках пісковика оцінити глибину профарбованості значно легше. Також можна зробити висновок, що в пористий зразок проникнення пігменту було глибшим майже у 10 разів, ніж у поверхні пісковика менш пористого. На глибину проникнення барвника в матеріал впливає тріщинуватість, зовнішні чинники, такі як тиск, і діючі речовини, що підвищують гідрофільність матеріалу.

#### Висновки

Лабораторні випробування показали можливість реалізації запропонованого способу в шахтних умовах. При цьому можливе використання портативного мікроскопу. З його допомогою достовірно визначається проникнення барвника у вміщуючі породи і вугілля. Важливою умовою є вибір пігменту, враховуючи результати лабораторних досліджень; колір повинен бути контрастним або з люмінофорними властивостями. Враховуючи постійну необхідність у контролюванні безпечності стану робочого середовища та попередній досвід і розробки в цьому напрямку, які не повністю враховують всі аспекти безпеки, вперше запропоновано метод нао-

чної оцінки стану масиву безпосередньо шахтарями в процесі роботи, після використання гідророзпушення з додаванням барвника. За наявності кольору пігменту на стінках тріщин можливо оцінити безпечність ситуації для проведення подальших робіт. Тобто, стан робочого середовища може бути оцінений самим працівником на робочому місці. Також слід зазначити маловитратність даного способу з економічної точки зору.

#### Перелік використаних джерел:

1. Кочерга В.М. Обґрунтування параметрів способу дегазації виїмкової ділянки з використанням свердловин у неконтрольованих виробках : дис. ... канд. техн. наук : 05.15.09 / Кочерга Віктор Миколайович ; НАН України, Ін-т геотехн. механіки ім. М.С. Полякова. – Дніпро, 2018. – 214 с.
2. Ларин М.К. Виды и причины газодинамических явлений на угольных шахтах / М.К. Ларин, И.Г. Розум, К.И. Бушуев // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2019. – № 4 (30). – С. 25-27.
3. Козырева Е.Н. Возможности повышения эффективности управления газовой выделением на выемочном участке / Е.Н. Козырева // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2017. – № 3. – С. 30-35. – Mode of access: <https://doi.org/10.26631/arc3-2017-30-35>.
4. Плаксин М.С. Применение технологии гидроразрыва угольного пласта при проведении подготовительных выработок / М.С. Плаксин // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2017. – № 3. – С. 16-22. – Mode of access: <https://doi.org/10.26631/arc3-2017-16-22>.
5. A gas outburst prevention and control strategy for single thick coal seams with high outburst risk: A case study of Hudi Coal Mine in Qinshui Basin / H. Li, J. Ma, Z. Wang, W. Wang, Y. Liu // Energy Science & Engineering. – 2020. – Vol. 8, iss. 7. – Pp. 2471-2491. – Mode of access: <https://doi.org/10.1002/ese3.680>.
6. Метод и устройство для оценки распределения показателей пористости по поверхности аншлифа угля / А.С. Танайно, Б.Б. Сиволап, Е.А. Максимовский, О.А. Персидская // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2016. – № 6. – С. 187-195.
7. Жуков В.С. Анализ некоторых способов оценки трещинной пористости / В.С. Жуков, В.В. Моторыгин // Вести газовой науки. – 2017. – № 3 (31). – С. 207-215.
8. Радченко С.А. Малозатратный экспресс-метод оценки опасности по газовому фактору при буровых и проходческих работах в угольных шахтах / С.А. Радченко, Н.Г. Матвиенко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 9. – С. 220-226.
9. Пат. 142087 Україна, МПК Е 21 F 5/02, Е 21 F 7/00. Спосіб проведення підготовчої виробки по викидонебезпечному вугільному пласту / В.К. Костенко, Я.О. Ляшок, О.Л. Зав'ялова, О.П. Когтева. – № u201911749; заявл. 09.12.2019; опубл. 12.05.2020, Бюл. № 9. – 5 с.

#### References:

1. Kocherha V.M. *Obgruntuvannia parametriv sposobu degazatsii viimkovoï dil'nitsi z vikoristanniam sverdlovyn u nekontrol'ovanikh virobkakh*. Diss. kand. techn. nauk [Substantiation of parameters of the method of degassing of the excavation site using wells in uncontrolled workings. Cand. tech. sci. diss.]. Dnipro, 2018. 214 p. (Ukr.)
2. Laryn M.K., Rozum I.H., Bushuev K.I. *Vidy i prichiny gazodinamicheskikh yavlenii na ugolnykh shakhtakh* [Types and causes of gas-dynamic phenomena in coal mines]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta – Bulletin of the Siberian State Industrial University*, 2019, vol. 4 (30), pp. 25-27. (Rus.)
3. Kozyreva Ye.N. *Vozmozhnosti povysheniia effektivnosti upravleniia gazovydeleniem na vyemochnom uchastke* [Opportunities to increase gas emission control efficiency at the extraction section]. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noi promyshlennosti – Industrial Safety*, 2017, no. 3, pp. 30-35. doi: 10.26631/arc3-2017-30-35. (Rus.)
4. Plaksin M.S. *Primenenie tekhnologii gidrorazryva ugol'nogo plasta pri provedenii podgotovitel'nykh vyrabotok* [Hydraulic destruction method application for preparatory opening heading]. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noi promyshlennosti – Industrial*

- Safety*, 2017, no. 3, pp. 16-22. doi: 10.26631/arc3-2017-16-22. (Rus.)
5. Li H., Ma J., Wang Z., Wang W., Liu Y. A gas outburst prevention and control strategy for single thick coal seams with high outburst risk: A case study of Hudi Coal Mine in Qinshui Basin. *Energy Science & Engineering*, 2020, vol. 8, iss. 7, pp. 2471-2491. doi: 10.1002/ese3.680.
  6. Tanaino A.S., Sivolap B.B., Maksimovskii E.A., Persidskaia O.A. Metod i ustroistvo dlia otsenki raspredeleniia pokazatelei poristosti po poverkhnosti anshlifa uglia [Method and device for assessing the distribution of porosity indicators over the surface of a polished section of coal]. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh – Journal of Mining Sciences*, 2016, no. 6, pp.187-195. (Rus.)
  7. Zhukov V.S., Motorygin V.V. Analiz nekotorykh sposobov otsenki treshhinnoi poristosti [Analysis of some methods for assessing fracture porosity]. *Vesti gazovoi nauki*, 2017, no. 3 (31), pp. 207-215. (Rus.)
  8. Radchenko S.A., Matvienko N.G. Malozatratnyi ekspres-metod otsenki opasnosti po gazovomu faktoru pri burovnykh i prokhodcheskikh rabotakh v ugolnykh shakhtakh [Low-cost express method for assessing the hazard by the gas factor during drilling and tunneling operations in coal mines]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal) – Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, 2015, no. 9, pp. 220-226. (Rus.)
  9. Kostenko V.K., Liashok Ya.O., Zavalova O.L., Kohteva O.P. *Sposib provedennia pidhotovchoi vyrobky po vykydonebezpechnomu vuhilnomu plastu* [The method of preparatory work on the emission hazardous coal seam]. Patent UA, no. 142087, 2020. (Ukr.)

Рецензент: В.К. Костенко  
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ДонНТУ»

Стаття надійшла 21.04.2021