

ВПРОВАДЖЕННЯ ГЕОЕКОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ У ТЕХНОЛОГІЮ ВИДОБУВАННЯ ВУГІЛЛЯ

І.Г. Кірющенко

Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна,

E-mail: kir-sev@i.ua

Головний електронік відділу геоecології та пошукових досліджень.

На підставі геолого-структурно-термо-атмогеохімічних досліджень запропонований метод поточного прогнозу раптових викидів вуглепородного масиву і газу як синтез технологій структурно-термо-атмогеохімічних досліджень і ведення шахтних робіт, що забезпечують їх безпеку. Результати структурно-термо-атмогеохімічних досліджень після викиду на Північній ділянці шахти імені О.Ф. Засядька показали, що в місці аварії, викликаній газодинамічним явищем, виділення газу триває і може викликати повторні жертви. Запропоновані критерії стійкості породи стосовно технології ведення видобування вугілля в шахтах дозволяють оцінити зміст горючого газу попереду проходки. Впровадження запропонованого методу дозволяє виключити необхідність бурити контрольні шпури прямо в забої і перенести їх на поверхню. Інновація цього методу полягає в тому, що унеможливується проникнення газу під тиском з пробурених шпурів у гірничу виробку із забою. Запропонований метод пройшов кваліфікаційну експертизу на винахід – патент України № 119595 від 10.07.2019.

Ключові слова: контрольні шпури; газовий тиск; показники структурно-термо-атмогеохімічних досліджень; критерії викидонебезпечності.

IMPLEMENTATION OF GEOECOLOGICAL METHODS IN THE COAL MINING TECHNOLOGY

I.G. Kiryushchenko

Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine,

E-mail: kir-sev@i.ua

Chief Electronics Officer of the Department of Geoecology and Exploratory Research.

On the basis of geological-structural-thermo-atmoecogeochemical studies, a method for in-line forecasting of sudden emissions of carbonaceous massif and gas is proposed as a synthesis of structural-thermo-atmoecogeochemical research technologies and mine operations ensuring their safety. The results of structural-thermo-atmoecogeochemical studies after the emission in the Northern section of the A.F. Zasyadko mine showed that at the site of an accident caused by a gas-dynamic phenomenon, the release of gas is continuing and can cause repeated casualties. The proposed criteria for rock stability, in relation to the technology of coal mining in mines, make it possible to evaluate the content of combustible gas ahead of the penetration. The introduction of the proposed method eliminates the need to drill the control boreholes directly in the face and transfer them to the surface. The innovation of this method lies in the fact that gas penetration under pressure from drilled holes into the mine working from the bottom is excluded. The proposed method has passed qualification examination for the invention - Patent of Ukraine No. 119595 dated 07/10/2019.

Key words: control borehole; gas pressure; indicators of structural-thermo-atmoecogeochemical studies; emission hazard criteria.

ВНЕДРЕНИЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ТЕХНОЛОГИЮ ДОБЫЧИ УГЛЯ

И.Г. Кирющенко

Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина,

E-mail: kir-sev@i.ua

Главный электроник отдела геоecологии и поисковых исследований.

На основании геолого-структурно-термо-атмогеохимических исследований предложен метод поточного прогноза внезапных выбросов углепородного массива и газа как синтез технологий структурно-термо-атмогеохимических исследований и ведения шахтных работ, обеспечивающих их безопасность. Результаты структурно-термо-атмогеохимических исследований после выброса на Северном участке шахты имени А.Ф. Засядько

показали, що в месте аварии, вызванной газодинамическим явлением, выделение газа продолжается и может вызвать повторные жертвы. Предложенные критерии устойчивости породы применительно к технологии ведения добычи угля в шахтах позволяют оценить содержание горючего газа впереди проходки. Внедрение предложенного метода позволяет исключить необходимость бурить контрольные шпуров прямо в забое и перенести их на поверхность. Инновация этого метода заключается в том, что исключается проникновение газа под давлением из пробуренных шпуров в горную выработку из забоя. Предложенный метод прошел квалификационную экспертизу на изобретение – патент Украины № 119595 от 10.07.2019.

Ключевые слова: контрольные шпуров; газовое давление; показатели структурно-термо-атмогеохимических исследований; критерии выбороопасности.

Освоєння нових вугільних родовищ може спричинити нещасні випадки із загибеллю людей і пошкодженням шахтного обладнання, які викликані раптовими викидами вугілля і газу. Саме тому виникла необхідність удосконалити технологію видобування вугілля шахтним способом.

Найбільш перспективними методами контролю стану гірського масиву є акустичні методи [Король, Скобенко, 2013]. Перевагами методу є висока технологічність і оперативність контролю масиву, при цьому здійснюється автоматичний режим обробки даних. Контроль за станом масиву проводиться безперервно, в процесі руйнування порід робочим пристроєм комбайну; причому він не порушує основний технологічний процес, а ведеться паралельно. На базі цього методу сформована автоматизована система акустичного контролю стану масиву гірських порід і прогнозу динамічних явищ – САКСМ [Копылов и др., 2015], яка включає апаратуру реєстрації, передачі сигналу і програмне забезпечення по його обробці та аналізу. Апаратура АК-1 дозволяє виділити такі зони масиву: при $0 < K < 2$ – безпечна зона; $2 < K < 3$ – перехідна зона; $K > 3$ – небезпечна зона. Даний метод та його критерії пройшли перевірку в шахтах України, Росії, Казахстану. Він рекомендований до використання на підприємствах вугільної промисловості України.

При вивченні технології вугільної виробки фахівці Інституту геологічних наук НАН України прийшли до висновку, що критерієм наближення до небезпечних зон вугільної породи в традиційній технології видобування вугілля, крім аналізу акустичних коливань, що генеруються ріжучим пристроєм у вугільному масиві, потрібний ще аналіз тиску газу в розломі або тріщині, що виникли у процесі проведення виробки. Таким методом є метод поточного прогнозу раптових викидів вугілля і газу [Патент РФ № 2231649, 2000]. Він включає визначення початкової швидкості газовиділення g_n із контрольних

шпурів, пробурених по потенційно викидонебезпечній пачці вугілля або їх сукупності, перед початком циклу робіт по проведенню виробки; визначення відношення K амплітуд високої і низької частин спектра акустичних коливань, що генеруються ріжучим приладом у вугільному масиві, в процесі проведення виробки та на основі показників g_n і K оцінюють викидонебезпечність зони вугільного масиву, при цьому рівномірно поінтервально визначають комплексний показник викидонебезпечності Π відповідно до виразу $\Pi = (g_{n,max}/4) + (K_{max}/3)$ і відносять зону вугільного масиву до викидонебезпечної при умовах, якщо $\Pi \geq 2$, і до безпечної, якщо $\Pi < 2$.

Постановка завдання

Проблема полягає в тому, що для уточнення причин напруження – гірського або газового, прямо в забої бурять шпур, в який вставляють вимірювач швидкості просочування газу. Пробурений шпур в напруженій породі може призвести до порушення стійкості вугільного масиву та спричинити раптовий викид вугілля і газу прямо в шахтну виробку, де знаходяться люди та обладнання. Саме це і відбулося на Північній ділянці шахти імені О.Ф. Засядька в травні 2009 р.

Вирішення проблеми

Відомо, що наближення акустичного випромінювача до напруженої ділянки гірського масиву змушує його коливатися подібно натягнутій струні, але причину газового напруження додатково визначають бурінням.

Прогноз викидонебезпечності, спричиненої газовим чинником [Дегтярь, Поляков, 2009], ґрунтується на результатах геологічних робіт, які проводились при експедиційних дослідженнях. Відомо, що розломи і тріщини, які виникають при проведенні гірничих робіт, визначають еманційним методом за аномальними значеннями радону, торону і вуглекислого газу [Багрій, 2003], що є важливими показниками визначення газової

напруженості гірського масиву. При цих дослідженнях вперше було простежено корелятивний зв'язок між полями торону, радону і вуглекислого газу. Була запропонована додаткова характеристика розподілу атмогеохімічних аномалій – інтегральний коефіцієнт K_{int} :

$$K_{int} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i \frac{C_i}{C_{\phi i}}, \quad (1)$$

де C_i – вміст газохімічного компонента в пункті спостережень; C_{ϕ} – фонове значення вмісту газохімічного компонента на території досліджень; k_i – коефіцієнт значущості даного газохімічного компонента, який визначається за результатами статистичного і кореляційного аналізу; C_i/C_{ϕ} – коефіцієнт контрастності концентрації компонента газу; n – кількість газових компонентів, що враховуються при розрахунку інтегрального компонента.

Враховуючи тільки результати досліджень еманцій при $k_i = 1$, було встановлено, що аномально високі його значення добре узгоджуються зі схемою розломних порушень за даними дешифрування космічних фотоматеріалів [Багрій, 2003], де аномальні значення обчислюють за формулою:

$$K_{int \text{ аном}} \geq K_{int \phi} + 3S, \quad (2)$$

де $K_{int \phi} = K_{int}$ – середнє арифметичне значення масиву K_{int} на території досліджень; S – стандартне відхилення K_{int} , що обчислюють за прийнятою формулою:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (K_{int} - \bar{K}_{int})^2}{n}}. \quad (3)$$

В проведених дослідженнях [Багрій, 2013] запропоновано використовувати інтегральний коефіцієнт активності розпаду радону, торону та вмісту вуглекислого газу при значенні $k_i = 1$ і $n = 3$ для визначення зон можливої геодинамічної активності з позначенням $K_{гд}$:

$$K_{гд} = \frac{\left(\frac{C_{Rn}}{C_{\phi Rn}} + \frac{C_{Tn}}{C_{\phi Tn}} + \frac{C_{CO_2}}{C_{\phi CO_2}} \right)}{3}, \quad (4)$$

де C_{Rn} – питома об'ємна активність радону; $C_{\phi Rn}$ – фонове значення питомої об'ємної активності радону; C_{Tn} – питома об'ємна активність торону; $C_{\phi Tn}$ – фонове значення питомої об'ємної активності торону; C_{CO_2} – вміст вуглекис-

лого газу; $C_{\phi CO_2}$ – фонове значення вмісту вуглекислого газу.

Якщо $K_{гд}$ дорівнює аномальному значенню $K_{int \text{ аном}}$, то роблять висновок, що напруження гірської породи зумовлене газовим тиском та подальші шахтні роботи ведуть по його розвантаженню.

В процесі проведення досліджень додатково з'явилася можливість визначити місця скупчення вуглеводневих газів у вуглепородному масиві і подальшої дегазації та використання. Таким об'єктом може бути лінза, яка утворена пористою породою, розломи і зони тріщинуватості, які закриті від розвантаження флюїдоупором (покришкою). Для визначення таких об'єктів пропонується використовувати інтегральний коефіцієнт суми гомологів метану з позначкою K_{BB} , де $n = 6$:

$$K_{BB} = \frac{\left(\frac{C_{C_2H_6}}{C_{\phi C_2H_6}} + \frac{C_{C_3H_8}}{C_{\phi C_3H_8}} + \frac{C_{C_4H_{10}}}{C_{\phi C_4H_{10}}} + \frac{C_{C_4H_{10}}}{C_{\phi C_4H_{10}}} + \frac{C_{C_2H_4}}{C_{\phi C_2H_4}} + \frac{C_{C_3H_6}}{C_{\phi C_2H_6}} \right)}{6}, \quad (5)$$

де C – концентрація вуглеводнів у пункті спостереження; C_{ϕ} – фонові значення вмісту вуглеводню на території дослідження; n – кількість компонентів в інтегральному коефіцієнті.

Стандартне відхилення K_{BB} і аномальні значення обчислюють за запропонованими формулами (2) і (3). Таким чином можна визначити, що напруження гірської породи, яке зумовлене газовим тиском, пожежобезпечне або пожежонебезпечне. В залежності від цього планують подальші шахтні роботи по розвантаженню гірської породи.

На рисунку представлена схема зон тріщинуватості, які обумовлені техногенними чинниками, що виникають під час проходки – це перерозподіл газів при збільшенні тріщинуватості чи скупчення їх в зонах з покришкою через ці тріщини. Ці дані були отримані за допомогою показників системи приповерхневих структурно-термо-атмогеохімічних досліджень (СТАГД). На Північній ділянці шахти імені О.Ф. Засядька [Багрій та ін., 2011] було використано комплекс показників еманційних і газохімічних даних, одержаних із пробурених контрольних шпурів на поверхні над вуглепородним масивом одночасно з контролем акустичних коливань і за критерієм K_{int} .

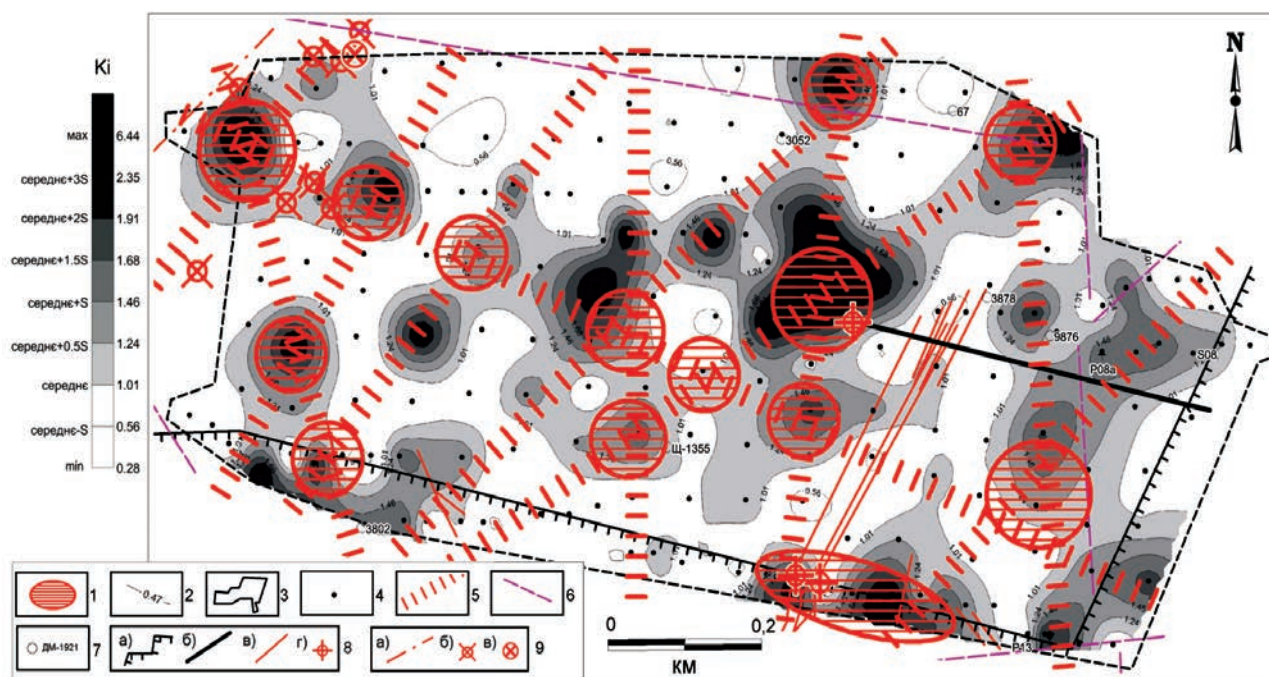


Схема зон тріщинуватості, розуцільнення гірських порід та місць можливих проявів ГДЯ за даними СТАГД на Північній ділянці шахти імені О.Ф. Засядька

1 – ділянки можливих проявів геодинамічної активності чи ГДЯ; 2 – ізолінії значень K_i ; 3 – межа Північної ділянки; 4 – пункти спостереження СТАГД; 5 – зони тріщинуватості та розуцільнення гірських порід; 6 – лінеаменти за даними МКЗ; 7 – свердловини та їх номери за технологією маркшейдерських робіт; 8 – умовні позначення з плану гірничих робіт по пласту m_3 шахти імені О.Ф. Засядька: а) межа відпрацьованої частини пласта, б) проходка станом на 05.2009 р. 18-го західного конвеєрного штреку пласта m_3 , в) розривні порушення та зони тріщинуватості за результатами проходки, г) розривне порушення за результатами буріння св. 3985, д) місця раптових викидів газу, вугілля, порід; 9 – умовні позначення з плану гірничих робіт по пласту n_1 (шахта «Бутівська»): а) очікуваний насув, б) осередки ліквідованих пожеж, в) місця вибуху газу

Scheme of fracture zones, rock depressions and places of possible manifestations of gas-dynamic phenomena according to STAHS in the Northern section of the O. F. Zasyadko mine

1 – areas of possible manifestations of geodynamic activity or gas-dynamic phenomena; 2 – isolines of K_i values; 3 – boundary of the Northern section; 4 – STAHS observation points; 5 – zones of fracture and rock fragmentation; 6 – lineaments according to the MK3; 7 – wells and their numbers by mining technology; 8 – symbols from the plan of mining works on the layer m_3 of the O.F. Zasyadko mine: a) boundary of the spent part of the reservoir, б) drilling as of 05.2009 of the 18th western conveyor mound of the m_3 reservoir, в) breaking and fracturing zones according to the results of drilling, г) breaking by drilling results 3985, д) places of sudden emissions of gas, coal, rocks; 9 – symbols from the plan of works on the layer n_1 (“Butivska” mine): a) expected impasse, б) centers of liquidated fires, в) gas explosion sites

На рисунку виділена чорна лінія (умовні позначення 8 б)), яка позначає проходку станом на 05.2009 р. 18-го західного конвеєрного штреку пласта m_3 , де вибірка наближалася до небезпечної зони. Результатами проведеної зйомки за допомогою комплексних даних СТАГД (після викиду з людськими втратами) були визначені зони тріщинуватості і розуцільнення гірських порід (умовні позначення 5). На місцях їх перетину (умовні позначення 1) одна з визначених зон збігається з місцем аварійного викиду (ГДЯ). Цей збіг свідчить про доцільність застосування комплексних показників СТАГД для визначення ділянок (зон) можливого виникнення викидів (газодинамічне явище – ГДЯ). Якби газонебез-

печні зони надавалися забійникам відразу після прийняття акустичного сигналу за даними, знятими з випередженням по системі СТАГД, то не потрібно було бурити шпур в напруженій гірській породі та загибель людей можна було уникнути.

Висновки

Проведені дослідження дозволили запропонувати метод поточного прогнозу раптових викидів вуглепородного масиву і газу, з допомогою якого можна здійснювати вибірку гірської породи в шахтах на сучасному рівні максимально безпечно. Сутність методу полягає у такому:

- Включають різучий пристрій в чинному забої, де робочий інструмент є джерело широкого спектру акустичного сигналу.

- Проводять акустичний контроль гірського масиву, в процесі якого використовують, наприклад, заводську апаратуру АК-1 та оцінюють безпеку ділянки масиву за допомогою співвідношення для показника викидонебезпечності у вигляді відношення високочастотної частини спектра до низькочастотної.

- Бурять контрольні шпури на поверхні над вуглепородним масивом одночасно з контролем акустичних коливань у масиві, випереджаючи шахтну проходку.

- Визначають показник акустичного прогнозу викидонебезпечності, відомого з прототипу $K_{\text{пред}} \geq 3$, або із критеріїв, зазначених в автоматизованій системі [Багрій та ін., 2011] акустичного контролю стану масиву гірничих порід і прогнозу динамічних явищ автоматизованою системою САКСМ.

- При досягненні граничного критерію при акустичному контролі визначають рівень газового тиску за результатами газового виміру, проведеного на поверхні шахти над вугільним масивом у зоні перед забоєм.

- Визначають тип напруженого стану гірської породи – газовий чи гірський – за допомогою отриманих даних за критерієм $K_{\text{инт}} = K_{\text{инт аном}}$ згідно з розробкою структурно-термо-атмогеохімічних показників (СТАГД) [Багрій, 2013], що проводять попереду забою, при цьому вимірюють питому об'ємну активність газів радону, торону та вміст вуглекислого газу в шпурах і за отриманими даними визначають зони можливих

раптових викидів вуглепородного масиву і газу за критерієм інтегрального атмогеохімічного коефіцієнта $K_{\text{инт}}$:

$$K_{\text{инт}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{\text{фи}}}, \quad (6)$$

де C_i – питома об'ємна активність компонентів радону, торону та вміст вуглекислого газу в шпурі; $C_{\text{фи}}$ – фонові значення питомої об'ємної активності компонентів радону, торону та вмісту вуглекислого газу в шпурі; $C_i/C_{\text{фи}}$ – коефіцієнти контрастності компонентів газу; n – кількість газових компонентів, яке дорівнює 3.

Далі після прийняття сигналу про напружений стан гірського масиву визначають показник $K_{\text{инт аном}}$. При недотриманні умов $K_{\text{инт аном}} \geq K_{\text{интФ}} + 3S$ відносять зону масиву до викидонебезпечної за газовим тиском, а при $K_{\text{инт аном}} < K_{\text{интФ}} + 3S$ – до зони викидонебезпечності за гірським тиском.

Інновація цього методу полягає в тому, що унеможливується проникнення газу під тиском з пробурених шпурів у гірничу виробку із забою і максимально вирішується проблема підвищення безпеки робіт у вугільних шахтах шляхом винесення буріння шпурів за межі гірничих виробок на поверхню.

Додатковим результатом методу є підвищення продуктивності виробництва при відсутності завад на поверхні, що досягається виконанням робіт без зупинки процесу видобування вугілля.

На запропонований метод отриманий патент України на винахід № 119595 від 10.07.2019.

Список літератури

Багрій І.Д. Прогнозування розломних зон підвищеної проникності гірських порід для вирішення геоecологічних та пошукових задач. Київ: ІГН НАН України, 2003. 149 с.

Багрій І.Д. Розробка геолого-структурно-термо-атмогеохімічної технології прогнозування пошуків корисних копалин та оцінки геоecологічного стану доквілля. Київ: Логос, 2013.

Багрій І.Д., Гожик П.Ф., Почтаренко В.І., Аксьом С.Д., Дубосарський В.Р., Мамишев І.Є., Кізлат А.М., Палій В.М. Прогнозування геодинамічних зон та перспективних площ для видобутку шахтного метану вугільних родовищ Донбасу. Київ: Фоліант, 2011. 236 с.

Дегтярь Р.В., Поляков П.И. Исследование физических процессов проявления газового давления

в «газовых ловушках» на больших глубинах разработки. *Физико-технические проблемы горного производства*: 36. науч. пр. 2009. Вып. 12. С. 59-66.

Копылов К.Н., Смирнов О.В., Кулик А.И. Акустический контроль состояния массива и прогноз динамических явлений. *Горн. информ.-аналит. бюл. (науч.-техн. журн.)*. Москва: ООО «Горная книга»: Промышленная безопасность минерально-сырьевого комплекса в XXI веке, 2015. Вып. 57. С. 574-583.

Король В.И., Скобенко А.В. Акустический способ прогноза газодинамических явлений в угольных шахтах. Днепропетровск: НГУ, 2013. 182 с.

Патент РФ № 2231649, МПК E21F 5/00 (2000.01). Опубл. 27.06.2004. Бюл. № 18.

References

- Bagriy I.D.**, 2003. Prediction of fractured zones of high permeability of rocks to solve geo-ecological and search problems. Kyiv: IGN NAS of Ukraine, 149 p. (in Ukrainian).
- Bagriy I.D.**, 2013. Development of geological-structural-thermo-atmospheric-chemical forecasting technology of mineral resources exploration and geo-environmental assessment of the environment. Kyiv: Logos (in Ukrainian).
- Bagriy I.D., Hozhyk P.F., Pochtarenko V.I., Aksyom S.D., Dubosarsky V.R., Mamyshev I.E., Kizlat A.M., Paliy V.M.**, 2011. Prediction of geodynamic zones and perspective areas for coal mine methane production in Donbas. Kyiv: Foliant, 236 p. (in Ukrainian).
- Degtyar R.V., Polyakov P.I.**, 2009. Investigation of the physical processes of gas pressure manifestation in «gas traps» at great depths of mine workings. *Physical and technical problems of mining: Zb. nauk. pr.*, No. 12, p. 59-66 (in Russian).
- Kopylov K.N., Smyrnov O.V., Kulyk A.Y.**, 2015. Acoustic control of the state of the array and the forecast of dynamic phenomena. *Horn. inform. analit. byul. (scientific-technical journal)*. Moscow: OOO “Gornaya knyga”: Industrial safety of the mineral resource complex in the 21st century, No. 57, p. 574-583 (in Russian).
- Korol V.I., Skobenko A.V.**, 2013. An acoustic method for predicting gas-dynamic phenomena in coal mines. Dnepropetrovsk: NSU, 182 p. (in Russian).
- RF Patent** No. 2231649, IPC E21F 5/00 (2000.01). Publ. 06/27/2004. Bul. № 18 (in Russian).

Стаття надійшла
11.07.2019