

## Розділ 1. Фізика вугілля і гірничих порід

УДК 622.841:622.833.5:622.281.74 <https://doi.org/10.37101/ftpgv25.01.001>

### ВРАХУВАННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНОГО МЕТАНОПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ БЕЗПЕЧНОЇ ІЗОЛЯЦІЇ АВАРІЙНИХ ДІЛЯНОК ПІД ЧАС ПОЖЕЖ У ВУГІЛЬНИХ ШАХТАХ

Н.О. Калугіна<sup>1\*</sup>, С.П. Мінеєв<sup>2</sup>, І.Б. Беліков<sup>3</sup>, А.С. Чорний<sup>3</sup>, О.О. Віннік<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Відділення фізики гірничих процесів Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, м. Дніпро, Україна

<sup>2</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, м. Дніпро, Україна

<sup>3</sup>Державна воєнізована гірничорятувальна служба, м. Мирноград, Донецька обл., Україна

\*Відповідальний автор: e-mail: kalugina\_n\_a@ukr.net

### CONSIDERATION OF THE FEATURES OF FORMATION OF AN EXPLOSIVE METHANE-AIR ENVIRONMENT FOR SAFE ISOLATION OF EMERGENCY AREAS DURING A FIRE IN COAL MINES

N.O. Kalugina<sup>1\*</sup>, S.P. Minieiev<sup>2</sup>, I.B. Belikov<sup>3</sup>, A.S. Chernyk<sup>3</sup>, O.O. Vinnik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Branch for Physics of Mining Processes of the M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine

<sup>2</sup>Institute of Geotechnical Mechanics named of the M.S. Polyakov of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

<sup>3</sup>State Militarized Mountain Rescue Service, Myrnohrad, Donetsk Region, Ukraine

\*Corresponding author: kalugina\_n\_a@ukr.net

#### ABSTRACT

**Purpose.** Study of the influence of gas emission characteristics in the mining system to improve the method of safe isolation of emergency areas during fires in coal mines.

**Methods** The work uses a numerical analysis of the model of filtration-diffusion movement of methane in mine workings, taking into account the emergency situation.

**Findings.** As a result of the research, it was proposed to take into account the evolution of methane concentration in the mine atmosphere to improve the calculation of the distance of safe isolation of emergency areas during fires in coal mines.

**Originality.** Based on the release of methane from a coal seam through a filtration-diffusion mechanism, it is proposed to take into account the influence of its sorbed phase on the intensification of a possible explosion of a methane-air mixture in an emergency.

**Practical implications.** The results obtained are intended to improve the methodology for calculating the laying of explosion-resistant bridges when isolating a fire based on the characteristics of methane release in mine workings.

**Keywords:** fire, explosion-proof jumpers, explosion, methane-air mixture, safe distance, coal mine

## 1. ВСТУП

Одними з найбільш частих аварійних ситуацій, що виникають на гірничих підприємствах внаслідок порушень технології вуглевидобування є загазування, самонагрівання вугільних скупчень, займання та вибухи метаноповітряних сумішей. Ліквідація аварійних ситуацій завжди супроводжується великими економічними втратами, травмуванням або загибеллю гірників і рятувальників.

Пожежі у вугільних шахтах можуть бути катастрофічними та небезпечними для життя та здоров'я підприємств, а також можуть призвести до серйозних екологічних та економічних наслідків [1]. Запобігання пожежам у вугільних шахтах вимагає суворих заходів безпеки та дотримання нормативних вимог. Ізоляція аварійних ситуацій на гірничих виробках вугільних шахт при пожежі є найважливішим важливим заходом для безпеки рятувальників та запобігання поширенню пожежі.

Складні підземні аварії можуть супроводжуватися вибухами з формуванням ударних хвиль, що поширюються по гірничих виробках і руйнують все на своєму шляху. Надлишковий тиск на фронті хвилі як у зоні горіння, так і після його припинення залежить від складу вихідної суміші, довжини загазованої частини, розмірів виробки, її наповненості, типу кріплення та інших факторів.

Одне із завдань ефективної локалізації вибухів метану і вугільного пилу зводиться до прогнозування найбільш небезпечних потенційних осередків спалахів (вибухів) та місць їх розташування в мережі гірничих виробок.

Питання формування вибухонебезпечного середовища в технологічних виробках вугільних шахт нерозривно пов'язане з утворенням підвищених концентрацій метану внаслідок його виділення з оголеної поверхні пласта, відбитого вугілля, газоносних вміщуючих порід.

Згідно з дослідженнями, облік динаміки метановиділення повинен спиратися на фундаментальні фізичні уявлення про фазові стани метану у вугіллі, особливості сорбційних властивостей і своєрідність пористої структури виходного вугілля [2-5].

Розроблені нормативні документи [6-7] для запобігання надзвичайним ситуаціям, дотримання правил пожежної безпеки, правила ведення гірничорятувальних робіт потребують вдосконалення діючих норм, що вимагає використання системи сучасних наукових уявлень і встановлених закономірностей фізичних процесів, що супроводжують гірниче виробництво.

## 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

При потенційній загрозі вибуху газу та пилу у вугільних шахтах виникає проблема вибору безпечних місць ведення гірничорятувальних робіт. Роботи на аварійних та ізольованих ділянках шахт пов'язані з небезпекою повторних вибухів у рудничній атмосфері в заперемичених просторах.

Місця встановлення вибухостійких перемичок визначає відповідальний керівник робіт з ліквідації аварії та керівник гірничорятувальних робіт [2]. В умовах, коли згідно з розрахунками, зведення вибухостійких перемичок з урахуванням підтоплення виробок водою під час їх зведення, зміни режиму роботи дегазаційної системи та інших факторів не призведе до підвищення об'ємної частки метану до 2% і більше у вентиляційному струмені повітря, що надходить до осередка пожежі, обсяг ізольованих виробок повинен бути мінімальним. В інших умовах вибухостійкі перемички зводять з урахуванням безпечних відстаней, що визначаються методикою, розрахунок за якою необхідно починати з визначення обсягу вибухонебезпечного шарового або загального загазування виробів.

Згідно з існуючою методикою, задають довжину активної ділянки вибуху  $L^{\text{акт}}$ , частку поперечного перерізу виробки, заповненої вибухонебезпечною сумішшю  $\sigma$ , площу поперечного перерізу виробки  $F$  і обчислюють об'єм вибухонебезпечної суміші за формулою:

$$V = L^{\text{акт}} \cdot F \cdot \sigma / 100 \text{ \%}.$$

За зону вибуху вихідної суміші беруть ділянку гірничих виробок, заповнену вибухонебезпечною сумішшю та вугільним пилом у вибухонебезпечній концентрації. Зона вибуху може займати будь-яку частину виробки, всю виробку або кілька суміжних виробок відразу. До обсягу загазованості лави необхідно включати частину виробленого необваленого простору. У цьому випадку обсяг загазованості лави збільшують:

- для рядів з управлінням покрівлі – повне обвалення або повне закладання виробленого простору при розрахунку безпечних відстаней у 1,5 рази;
- для рядів із частковою закладкою виробленого простору при розрахунку безпечних відстаней у 2 рази;
- за наявності гомологів метану, виявлених при аналізі проб шахтного повітря аварійної ділянки, збільшення відносного надлишкового тиску враховують коефіцієнтом  $\psi$ , який надають спеціалізовані організації, що залучає відповідальний керівник робіт з ліквідації аварії.

Ця існуюча методика при розрахунку навантаження на захисну споруду використовує відомий підхід, заснований на результатах експериментальних вибухів і отриманих на їх основі емпіричних залежностях.

Однак, при даному підході, не враховуються особливості метановиділення у виробці з урахуванням сучасних знань про газодинаміку і, особливо, виділення додаткових обсягів метану у виробці, зокрема сорбованого. А це суттєво вплине на результати такого розрахунку, що може значно підвищити небезпеку роботи під час гасіння пожежі. Тому цілком зрозуміла необхідність обліку таких параметрів метановиділення у виробках.

Сучасні уявлення про газодинаміку у вугільних пластах і встановлені закономірності впливу фільтрації метану на його концентрацію у гірничих виробках дозволять уточнити параметри безпечної ізоляції аварійних ділянок під час пожеж у вугільних шахтах за рахунок моделювання формування вибухонебезпечного метаноповітряного середовища в мережі гірничих виробок. Це дасть можливість простежити за динамікою концентрації метану в часі та по виробці.

Що, у свою чергу, дозволить більш достовірно та безпечно визначити безпечні відстані для розміщення вибухостійких перемичок у виробках аварійної, пожежонебезпечної ділянки при гасінні шахтної пожежі.

### 3. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Скористаємося модельними уявленнями, розвиненими в [2-5]. Відповідно до цих уявлень, метан у вугільному пласті знаходиться у вільному газоподібному стані в системі пор, тріщин, що сполучаються із зовнішньою поверхнею вугільного пласта (фільтраційному об'ємі); в адсорбційній плівці на поверхні непорушених фрагментів (блоків) вугільної речовини; у вигляді твердого розчину в об'ємі блоків. Всередині кожного блоку є система закритих пор (не поєднана каналами з фільтраційним об'ємом), в яких метан міститься в газоподібному стані і в адсорбованому – на поверхні пор. Особливістю явища витікання метану з вугільного пласта є накладання двох процесів масопереносу: фільтрації газу через систему відкритих каналів, тріщин і пор та дифузії метану з твердого розчину (блоків) у фільтраційний об'єм.

Заповнення простору виробки метаном залежить від швидкості його виходу з вугілля, від швидкості виносу метаноповітряної суміші, що утворюється, із аналізованої порожнини в пов'язані капітальні виробки. Ця швидкість визначається загальношахтною депресією, наявністю та потужністю примусової вентиляції.

Фізико-математичне моделювання етапу процесу масопереносу після виходу метану з пласта, або з відбитого вугілля [8] дозволяє перенести ті ж міркування на спостереження за концентрацією метану у просторі і часі у ізольованій ділянці гірничої виробки у разі аварійної ситуації.

Нехай метан надходить у виробку довжиною  $l$  і поперечним перерізом  $S$  з тієї частини контуру поперечного перерізу довжиною  $l_f$ , яка відповідає виходу вугілля на поверхню виробки (певної частки бічної поверхні виробки), а також з відбитого вугілля, яке транспортується конвеєром. Швидкість просування вибою позначимо через  $V_n$ , а швидкість руху конвеєрної стрічки через  $V_k$ .

Згідно побудованій моделі, диференціальне рівняння, що описує зміну у часі  $t$  середньої концентрації  $c$  метану у виробці має вигляд

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \varphi(t)(1 - c),$$

де функція  $\varphi(t)$  – усереднена інтенсивність джерел метану, яка має вигляд

$$\varphi(t) = \frac{2b_1}{A_1} (\sqrt{t + t_0 + A_1} - \sqrt{t + t_0}) + \frac{2b_2}{A_2} (\sqrt{t + t_0 + A_2} - \sqrt{t + t_0})$$

включає чотири безрозмірні параметри:

$$A_1 = \frac{V_s}{V_n}; A_2 = \frac{V_s}{V_k}; b_1 = \frac{\rho_0}{\rho_a} \sqrt{\frac{\gamma_e D_f l}{\pi V_s}} \cdot \frac{l_f}{S}; b_2 = \frac{\rho_0}{\rho_a} \sqrt{\frac{\gamma_e D_f l}{\pi V_s}} \cdot \frac{6k_0 V_n}{l_c V_k};$$

Функція  $\varphi(t)$  складається з двох доданків, перший з яких відповідає газо-виділенню з поверхні виробки, а другий – з шматків відбитого вугілля середнього розміру  $l_c$ , яке, наприклад може знаходитися на конвеєрі. Крім вищеперерахованих функція  $\varphi(t)$  включає фізичні параметри:  $\rho_0$  – вихідна густина газоподібного метану в непорушеному пласті,  $\rho_a$  – густина повітря при атмосферному тиску,  $\gamma_e = \gamma_0 + v(1 - \gamma_0)(1 - \gamma + \frac{\gamma}{v})$  – ефективна пористість, де  $\gamma_0$  – відкрита пористість вугілля, його закрита пористість,  $v$  – розчинність метану у вугіллі,  $D_f$  (м<sup>2</sup>/с) – коефіцієнт фільтрації метану крізь вугілля по системі відкритих пор, каналів та тріщин.  $k_0 < 1$  – коефіцієнт завантаження видобувного обладнання.

Рівняння записані в безрозмірних змінних. Швидкість газу вимірюється в одиницях  $V_s = \sqrt{\frac{T}{m}}$  (швидкість звуку,  $T$  – абсолютна температура суміші,  $m$  – середньозважена маса молекули газу), координати вимірюються в одиницях  $l$  – довжини виробки, час – відповідно в одиницях  $\frac{l}{V_s}$ .

Запис у безрозмірному вигляді дозволяє отримувати концентрацію метану безпосередньо у відсотках. Для переходу до залежності наповнення ви-

робки метаном від розмірного часу треба скористатися зв'язком  $\frac{\partial c}{\partial \tau} = \frac{\partial c}{\partial t} \frac{l}{V_s}$

де  $\tau$  – безрозмірний час,  $t$  – звичайний розмірний час. Тому в безрозмірному вигляді потужність джерел пропорційна кореню з довжини виробки ( $\sqrt{l}$ ), а в більш фізичному розмірному вигляді обернено пропорційна кореню з довжини ( $1/\sqrt{l}$ ).

Враховуючи, що час, необхідний для ізоляції аварійної ділянки може складати від 1 до 3-5 діб, то в розрахунках додаткового виділення газу доцільно враховувати такий же часовий фактор.

Чисельне моделювання дозволить дослідити внесок окремих джерел у загальну картину метанонаповнення шахтної виробки, а також дослідити рівень концентрації метану в залежності від довжини виробки і його зміну у часі. Такі розрахунки сприятимуть оптимальному прийняттю рішень при виборі безпечних відстаней при ізоляції аварійних ділянок.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для чисельних розрахунків було використано пакет прикладних програм MatLab. Для розрахунків приймемо наступні вихідні значення фізичних параметрів: при кімнатній температурі  $V_s=300$  м/с, коефіцієнт фільтрації метану у вугіллі  $D_f = 10^{-7} \frac{m^2}{c}$ , ефективна пористість  $\gamma_e = 0.6$ , відношення  $\frac{\rho_0}{\rho_a}$  пластового тиску метану до атмосферного вважаємо рівним 20. Технологічні вихідні дані: площа поперечного перерізу виробки  $S = 10$  м<sup>2</sup>, довжина тієї частини контуру поперечного перерізу, яка відповідає виходу вугілля на поверхню виробки  $l_f = 6$  м, коефіцієнт завантаження видобуткового обладнання  $k_0 = 0.5$ ; розмір відбитих від масиву шматків вугілля  $l_c = 10^{-2}$  м; швидкість просування вибою  $V_n = 10$  м/добу; швидкість руху конвеєрної стрічки  $V_k = 1$  м/с.

На рис. 1 розраховано наростання загальної концентрації метану з часом для виробок довжиною 500, 1000 та 1500 м.

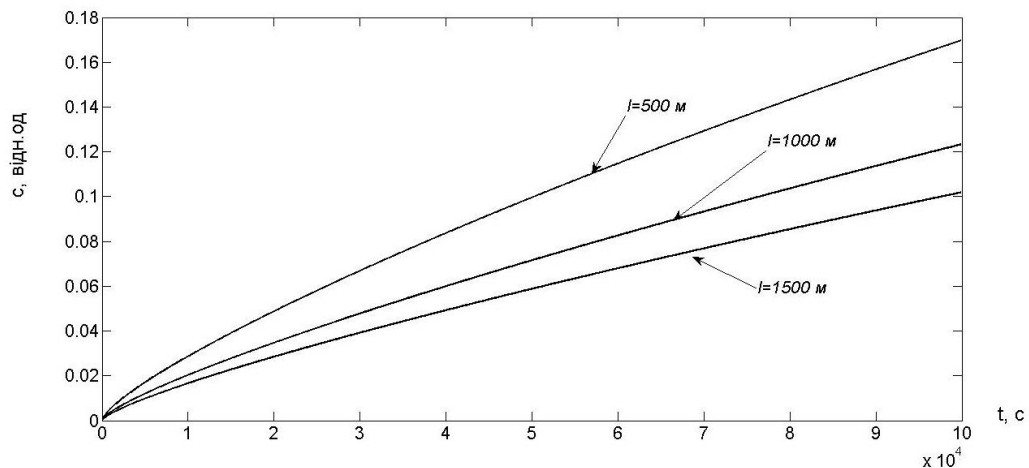
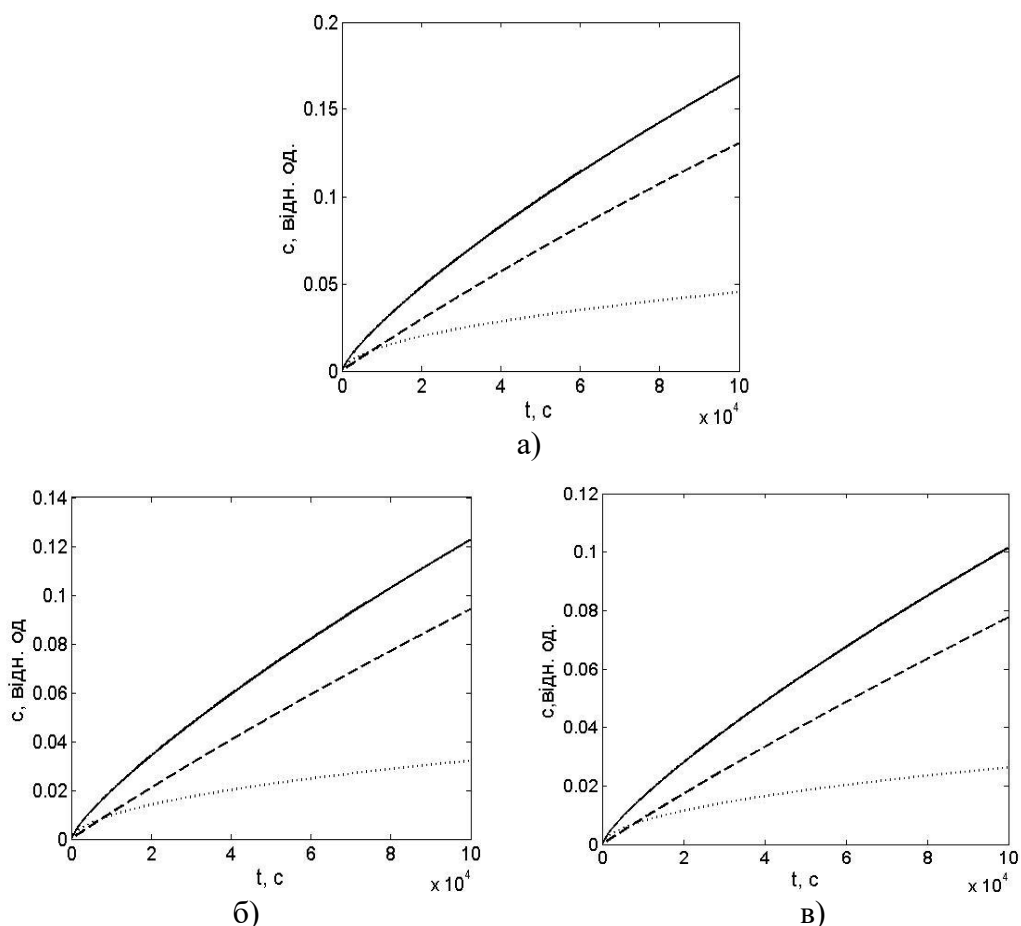


Рисунок 1. Зміна концентрації метану з часом для виробок різної довжини

Аналіз отриманих кривих показує, що для виробок більшої протяжності наростання концентрації метану за один і той же час за інших рівних умов відбувається повільніше (обернено пропорційно кореню з довжини виробки).

З представлених закономірностей на рисунку 2 видно, що за час однієї-двох робочих змін концентрація метану за рахунок відбитого вугілля може становити до 30% у загальній концентрації метану у не провітрюваній виробці, що не можна не враховувати в картині загального загазування.



**Рисунок 2.** Формування газової обстановки з плином часу за рахунок різних джерел: – концентрація метану за рахунок поверхні виробки, – за рахунок шматків відбитого вугілля, – загальна концентрація у виробках довжиною а) 500 м, б) 1000 м, в) 1500 м

## 5. ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Отримані залежності дозволяють уточнювати розрахунки очікуваного надлишкового тиску при вибуху метаноповітряного середовища, яке, згідно з чинними нормативними документами, залежить від об'єму метаноповітряної суміші з вибухонебезпечною концентрацією метану.

Проведені розрахунки показують, що в результаті обліку додаткового виділення десорбованого метану із зруйнованого вугілля у виробки, загальна кількість метану та надлишковий тиск на фронті ударної хвилі у випадку вибуху може зрости. Відповідно, безпечна відстань розміщення вибухостійкої перемички у виробці з ймовірним осередком пожежі буде більше. Більш детальні розрахунки такої відстані можуть бути зроблені за методикою [7] з урахуванням визначеного об'єму метаноповітряної суміші з вибухонебезпечною концентрацією метану.

Крім того, у процесі досліджень було також встановлено, що при утворенні пожежонебезпечного газового середовища наявність відбитого вугілля

у виробці збільшує на 20–30% рівень вибухонебезпечної концентрації метану, за рахунок виходу сорбованого газу, час якого пропорційний фільтраційній проникності метану у вугіллі, залежить від розмірів вугільних фракцій та пористості, природної метаноносності вугілля, причому наростання концентрації метану в зоні загазування за інших рівних умов відбувається обернено пропорційно кореню з довжини виробки.

Останні міркування дозволяють уточнювати технологічні параметри зведення вибухобезпечної перемички, тобто розробити технологічний паспорт для зведення перемички.

## 6. ВИСНОВКИ

1. Використання дифузійно-фільтраційної моделі виходу метану з вугільного пласта та отримані на її базі чисельні результати дозволяють вдосконалити розрахунки очікуваного надлишкового тиску ударної повітряної хвилі при вибуху метаноповітряного середовища, який згідно з чинними нормативними документами залежить від об'єму суміші з вибухонебезпечною концентрацією метану.

2. При розрахунках за нормативними методиками, доцільно враховувати, що при утворенні вибухонебезпечного газового середовища наявність відбитого вугілля у виробці збільшує на 20–30% рівень вибухонебезпечної концентрації метану за рахунок виходу сорбованого газу. Час його виходу пропорційний фільтраційній проникності метану у вугіллі, залежить від розмірів вугільних фракцій та пористості, природної метаноносності, причому наростання концентрації метану в зоні загазування за інших рівних умов відбувається обернено пропорційно кореню з довжини виробки, що дозволяє уточнювати технологічні параметри зведення вибухобезпечної перемички (розробити технологічний паспорт для зведення перемички).

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Булат А.Ф., Минеев С.П., Смоланов С.Н., Беликов И.Б. (2021). *Пожары в горных выработках. Изоляция аварийных участков*. Харьков. 730.
2. Alexeev, A.D., Vasilenko, T.A., Gumennik, K.V., Kalugina, N.A., Feldman, E.P. (2007). Diffusion-filtration model of methane escape from a coal seam. *Technical Physics*, 52(4), 456-465.
3. Минеев, С.П. (2009) *Свойства газонасыщенного угля*. Днепропетровск. НГУ. 220.
4. Alexeev, A.D., Feldman, E.P., Kalugina, N.A. (2010). Thermodynamics of a gas-coal massif and a nonuniform gas distribution in a coal bed. *Technical Physics*, 55(12), 1764-1768.
5. Vasilkovskiy, V., Minieiev, S., Kalugina, N. (2019) Bonding energy and methane amount at the open surface of metamorphic coal. *Essays of Mining Science and Practice. Web of Conferences* (109). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900108/>
6. *Статут ДВГРС по організації і веденню гірничорятувальних робіт: ДНАОП 1.1.30–4.01–97*, 1997 (Мінвуглепром України), 454.
7. СОУ–Н 10.1.00174102.012:2010 *Параметри повітряних ударних хвиль та безпечних відстаней при вибухах газів та пилу у гірничих виробках. Методика розрахунку*. (2011). 49.



8. Fel'dman, E.P., Kirik, G.V., Stadnik, A.D., Spozhakin, A.I., Kalugina, N.A. (2011). Methane accumulation in non-ventilated blind coal roadways. *Journal of Mining Science*, 47(1), 20-29

## REFERENCES

1. Bulat A.F., Mineev S.P., Smolanov S.N., Belikov I.B. (2021). *Pozhary v gornyh vyrabotkah. Izolyaciya avarijnyh uchastkov*. Harkov. 730.
2. Alexeev, A.D., Vasilenko, T.A., Gumennik, K.V., Kalugina, N.A., Feldman, E.P. (2007). Diffusion-filtration model of methane escape from a coal seam. *Technical Physics*, 52(4), 456-465.
3. Mineev, S.P. (2009) *Svojstva gazonasyshennogo uglya*. Dnepropetrovsk. NGU. 220.
4. Alexeev, A.D., Feldman, E.P., Kalugina, N.A. (2010). Thermodynamics of a gas-coal massif and a nonuniform gas distribution in a coal bed. *Technical Physics*, 55(12), 1764-1768.
5. Vasilkovskiy, V., Minieiev, S., Kalugina, N. (2019) Bonding energy and methane amount at the open surface of metamorphic coal. *Essays of Mining Science and Practice*. Web of Conferences (109). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900108/>
6. *Statut DVHRS po orhanizatsii i vedenniu hirnychoriativalnykh robit: DNAOP* 1.1.30–4.01–97, 1997 (Minvuhleprom Ukrainy), 454.
7. SOU–N 10.1.00174102.012:2010 *Parametry povitrianykh udarnykh khvyl ta bezpechnykh vidstanei pry vybukhakh haziv ta pylu u hirnychykh vyrobkakh. Metodyka rozrakhunku*. (2011). 49.
8. Fel'dman, E.P., Kirik, G.V., Stadnik, A.D., Spozhakin, A.I., Kalugina, N.A. (2011). Methane accumulation in non-ventilated blind coal roadways. *Journal of Mining Science*, 47(1), 20-29.

## ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

**Мета.** Дослідження впливу особливостей газовиділення в системі гірничих виробок для вдосконалення методики безпечної ізоляції аварійних ділянок під час пожеж у вугільних шахтах.

**Методика.** У роботі використаний чисельний аналіз моделі фільтраційно-дифузійного руху метану у гірничих виробках з урахуванням аварійної ситуації.

**Результати.** В результаті досліджень запропоновано враховувати еволюцію концентрації метану у рудничній атмосфері для вдосконалення розрахунку відстані безпечної ізоляції аварійних ділянок під час пожеж у вугільних шахтах.

**Наукова новизна.** На підставі виходу метану з вугільного пласта за фільтраційно-дифузійним механізмом запропоновано враховувати вплив його сорбованої фази на інтенсифікацію можливого вибуху метаноповітряної суміші при аварійній ситуації.

**Практична значимість.** Отримані результати призначені для вдосконалення методології розрахунку закладення вибухостійких перемичок при ізоляції пожежі за характеристиками метановиділення у гірничих виробках.

**Ключові слова:** пожежа, вибухостійкі перемички, вибух, метаноповітряна суміш, безпечна відстань, вугільна шахта

## ABOUT AUTHORS

Kalugina Nadiia, Doctor of Engineering Sciences, Scientific Secretary of the Branch for Physics of Mining Processes of the M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 15 Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine, 49005. E-mail: kalugina\_n\_a@ukr.net

Minieiev Serhii, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Head of Department of Pressure Dynamics Control in Rocs, Institute of Geotechnical Mechanics named of the M.S. Polyakov of the National Academy of Sciences of Ukraine, (IGTM, NASU), 2A Simferopolska Street, 49005, Dnipro, Ukraine. E-mail: sergmineeiv@gmail.com

Belikov Igor, State Militarized Mountain Rescue Service, 1 Robochy lane, 85323, Myrnograd, Donetsk Region, Ukraine.

Cherny Anatoly, State Militarized Mountain Rescue Service, 1 Robochy lane, 85323, Myrnograd, Donetsk Region, Ukraine. E-mail: chornyi\_84@ukr.net

Vinnik Olena, Researcher, Department of Physics of Coal and Rock, Branch for Physics of Mining Processes of the M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 15 Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine, 49005. E-mail: lena\_vinnik@ukr.net