

УДК 622.814:622.411.52

## ВПЛИВ ВИХОДУ ЛЕТКИХ РЕЧОВИН НА ВИЗНАЧЕННЯ ВИБУХОВОСТІ ВУГІЛЬНОГО ПИЛУ

<sup>1</sup>Мінєєв С.П., <sup>1</sup>Дякун І.Л., <sup>2</sup>Яценко І.О.

<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, <sup>2</sup>Департамент охорони праці Міністерства енергетики та вугільної промисловості України

## ВЛИЯНИЕ ВЫХОДА ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗРЫВЧАТОСТИ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

<sup>1</sup>Минеев С.П., <sup>1</sup>Дякун И.Л., <sup>2</sup>Яценко И.А.

<sup>1</sup>Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, <sup>2</sup>Департамент охраны труда Министерства энергетики и угольной промышленности Украины

## THE INFLUENCE OF VOLATILE SUBSTANCE RELEASE ON DETERMINING COAL DUST EXPLOSIVENESS

<sup>1</sup>Mineev S.P., <sup>1</sup>Dyakun I.L., <sup>2</sup>Yashchenko I.A.

<sup>1</sup>Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of NAS of Ukraine, <sup>2</sup>Department of Labor Protection Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine

**Анотація.** Щорічно на шахтах України відбуваються аварії, які пов'язані з вибухами метаноповітряної суміші та вугільного пилу. В наслідок інтенсифікації технологічного процесу видобутку вугілля, а також під час очисних та підготовчих робіт в гірничих виробках все більш глибоких горизонтів спостерігається різке зростання пилоутворення і газоносності шахт, що сприяє підвищенню небезпеки вибухів. Вибуховість вугільного пилу визначається фізико-хімічними властивостями шахтного пласта, що розробляється, і гірничо-технічними умовами при яких можливо протікання вибуху.

Показано, що одним з основних факторів, що характеризують схильність пилу до вибуху, є вихід летких речовин при термічному розкладанні вугілля без доступу повітря. Для вугілля з виходом летких речовин до 30 % простежується строга закономірність між вмістом метану в продуктах піролізу і ступенем вибуховості пилу, що використовується для відповідної класифікації вугільних пластів.

Розглянуто поняття виходу летких речовин. Приведено методику визначення виходу летких речовин, суть якої полягає в прокалюванні наважки аналітичної (повітряно-сухої) проби палива в муфельній печі без доступу повітря при температурі  $(900 \pm 5)$  °C протягом 7 хв. При нагріванні твердого палива відбувається розкладання термічно нестійких молекул органічних речовин горючої маси і вуглеводистих з'єднань. Виділяються при цьому горючі (CH<sub>4</sub>, CO, H<sub>2</sub>) і негорючі (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> та ін.) газу. Головними компонентами в складі летких речовин, що зумовлюють вибуховість пилу, є смолисті сполуки і важкі вуглеводні. Основними горючими складовими летючих речовин є метан, водень, окис вуглецю, вуглекислий газ, етан, важкі вуглеводні і ін. Стверджується, що основним компонентом газоподібних продуктів термічного впливу, який визначає вибуховість вугільного пилу – метан.

Запропонована аналітична залежність нижньої межі вибуховості вугільного пилу від виходу летких речовин.

**Ключові слова:** вихід летких речовин, проба, вугільний пил, вибуховість.

Щорічно на шахтах України відбуваються аварії, які пов'язані з вибухами метаноповітряної суміші. У деяких випадках відбуваються вибухи метану та вугільного пилу. Крім того, високий рівень вуглевидобутку, як правило, пов'язано з її інтенсифікацією, постійним ускладненням гірничо-геологічних умов у вугільних шахтах, зі збільшенням глибини гірничих робіт, що пред'являє більш жорсткі вимоги до техніки безпеки і в першу чергу до способів і засобів боротьби з пилогазовими вибухами [1].

Вибуховість вугільного пилу визначається фізико-хімічними властивостями шахтного пласта, що розробляється, і гірничими технічними умовами при яких

можливо протікання вибуху. До фізико-хімічних властивостей відносяться: стадія метаморфізму вугілля, яку кількісно можна виразити виходом летких речовин, вміст золи і вологи у вугіллі, дисперсність вугільного пилу, що витає та відклався. До гірничих технічних умов відносяться: концентрація зваженого вугільного пилу, що відклався в гірничій виробці, джерело запалювання, вміст метану в атмосфері вугільної шахти. Вплив цих чинників на ступінь вибуховості вугільного пилу різний, проте відомо, що із зростанням летких речовин вибуховість пилу зростає.

Вихід летких речовин  $V$  (від англ. «Volatile» - леткий) є найважливішою характеристикою горючої маси палива і зменшується в міру збільшення його хімічного віку (табл. 1).

Таблиця 1 - Вихід і температура початку виходу летких речовин

Вид палива	Вихід летких речовин, %	Температура початку виходу летких, °C
Торф	70-75	100-120
Буре та молоде кам'яне вугілля	30-60	150-170
Старе кам'яне вугілля	10-15	380-400
Антрацити	2-9	400

Леткі речовини не містяться у вільному вигляді в паливі, а утворюються при нагріванні, тому говорять не про зміст летких, а про їх вихід.

До останнього часу різними організаціями було розроблено велика кількість методик по визначенню нижньої межі вибуховості вугільного пилу та виходу летких речовин [2-8], а також виконано багато уточнюючих елементів, які були включені в ці методики. ІГТМ НАН України має великий досвід у розробці ефективних методів і засобів боротьби з раптовими викидами порід і вугілля, який було враховано в уточненні СОУ Міненерговуглепрому України «Методика визначення виходу летких речовин вугільного пласта та нижніх меж вибуховості вугільного пилу» [2-3]. Далі розглянемо методику визначення виходу летких речовин і її вплив на вибуховість вугільного пилу.

При визначенні виходу летких речовин температурний режим, умови та тривалість нагрівання палива строго регламентовані. Суть методу визначення виходу летких речовин полягає в прокалюванні наважки аналітичної (повітряно-сухої) проби палива в муфельній печі без доступу повітря при температурі  $(900 \pm 5) ^\circ\text{C}$  протягом 7 хв [1].

Вихід летких - зменшення маси проби палива (за вирахуванням, що міститься в ній вологи) - прийнято відносити до горючої маси палива та позначати  $V^{daf}, \%$ .

Вихід летких речовин на аналітичний стан проби  $V^a$  ( в % за масою) визначається як середнє арифметичне результатів двох паралельних визначень  $V_1^a$  та  $V_2^a$

$$V^a = \bar{V}^a = \frac{V_1^a + V_2^a}{2};$$

$$V_1^a = 100 \cdot \frac{n_{21} - n_{31}}{n_{21} - n_{11}} - W^a;$$

$$V_2^a = 100 \cdot \frac{n_{22} - n_{32}}{n_{22} - n_{12}} - W^a,$$

де  $n_{11}$ ,  $n_{12}$  - маси першого та другого тиглів з кришками;  $n_{21}$ ,  $n_{22}$  - маси першого та другого тиглів з кришками і наважками палива;  $n_{31}$ ,  $n_{32}$  - маси першого та другого тиглів з кришками і коксового залишку після термічного розкладання;  $W^a$  - вологість аналітичної проби [2].

Вихід летких речовин на сухий беззольний стан палива розраховується за формулою

$$V^{daf} = V^a \cdot \frac{100}{100 - (W^a + A^a)},$$

де  $A^a$  - зольність на аналітичний стан палива [3].

При нагріванні твердого палива відбувається розкладання термічно нестійких молекул органічних речовин горючої маси і вуглеводневих з'єднань. Виділяються при цьому горючі ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ) і негорючі ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  та ін.) гази, які називаються леткими речовинами. Чим більше вихід летких речовин, тобто чим більше палива перетворюється при нагріванні в горючий газ, тим простіше запалити це паливо та легше підтримувати стійке горіння. В процесі термічного розкладання не весь вуглець палива переходить в леткі речовини. Вуглець, що залишився після термічного розкладання разом з мінеральними домішками палива утворює твердий нелеткий залишок, званий коксом. Залежно від виду палива коксовий залишок може бути порошкоподібним, злиплі, слабоспеченим, спеченим та сплавленим. Характер коксового залишку грає вирішальну роль при визначенні найбільш раціонального шляху використання палива. Паливо з високим вмістом летких (торф, буре вугілля, молоде кам'яне вугілля) при нагріванні швидко виділяє значну кількість горючих газоподібних речовин, які легко спалахують та швидко згорають. Кокс, що залишився після виділення летких речовин від такого палива містить відносно малу кількість вуглецю, тому горіння його протікає також порівняно швидко та з малими втратами теплоти від недопалу. Навпаки, паливо з малим вмістом летких (антрацит, худі вугілля) запалюється значно важче, а горіння його коксового залишку протікає більш тривалий час.

Головними компонентами в складі летких речовин, що зумовлюють вибуховість пилу, є смолисті сполуки і важкі вуглеводні. Основними горючими складовими летких речовин є метан, водень, окис вуглецю, вуглекислий газ, етан, важкі вуглеводні і ін. Тобто можна стверджувати, що основним компонентом газоподібних продуктів термічного впливу, який визначає вибуховість вугільного

пилу - метан, що підтверджується даними на рисунку 1. Як видно з рисунку 1, зміст  $\text{CH}_4$  в продуктах піролізу з збільшення виходу летючих речовин зростає.

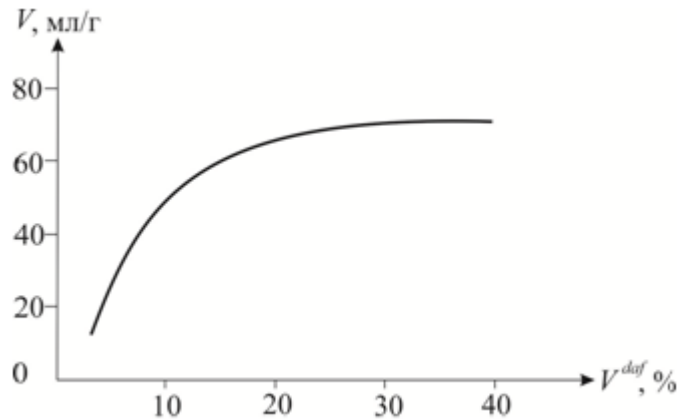


Рисунок 1 – Залежність вмісту метану в газоподібних продуктах піролізу вугілля від виходу летких речовин

Для вугілля з виходом летких речовин до 30 % простежується строга закономірність між вмістом метану в продуктах піролізу і ступенем вибуховості пилу, що використовується для відповідної класифікації вугільних пластів.

В Україні згідно діючим у вугільних і сланцевих шахтах Правилам безпеки до небезпечних за вибухом пилу відносяться пласти вугілля з виходом летких речовин 15 % і більш, а також пласти вугілля (окрім антрацитів) з меншим виходом летких речовин, вибуховість пилу яких встановлена лабораторними випробуваннями [4].

Це обґрунтовано систематичним аналізом даних випробувань вугільного пилу на вибуховість [5-7], результати показані на рисунку 2.

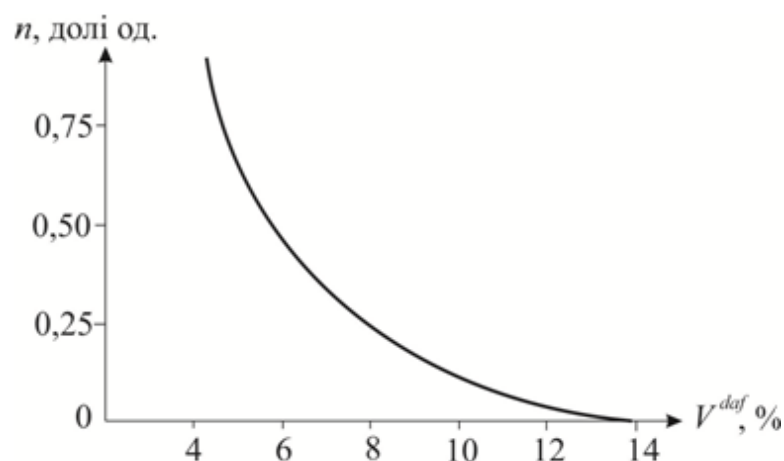


Рисунок 2 – Залежність частоти появи невибухового вугільного пилу від виходу летких речовин

З графіка випливає, що при  $V^{daf} \leq 6\%$  всі випробувані проби вугільного пилу невибухові. При збільшенні виходу летких речовин частота появи невибухових

проб знижується, а при  $V^{daf} \geq 15\%$  - всі проби пилу виявлялися вибуховими.

Для визначення нижньої межі вибуховості пилу від виходу в ній летких речовин була отримана залежність з достатньою для практики точністю

$$\delta_{відкл} = 262,5 \cdot \exp(-0,07 \cdot V^{daf}) + 3,3 \cdot \exp(-0,06 \cdot V^{daf}) \cdot A_{\phi},$$

де  $\delta_{відкл}$  - нижня концентраційна межа вибуховості вугільного пилу шахтного пласта, г/м<sup>3</sup>;  $V^{daf}$  - вихід летких речовин, %;  $A_{\phi}$  - вміст негорючих речовин у пластовій пробі вугілля, % [8].

На рисунку 3 показана характеристика нижньої межі вибуховості пилу в залежності від виходу в ній летких речовин при фіксованих значення зольності вугілля. З даного рисунку видно, що при збільшенні негорючих речовин у суміші з пилом, концентраційна межа вибуховості збільшується.

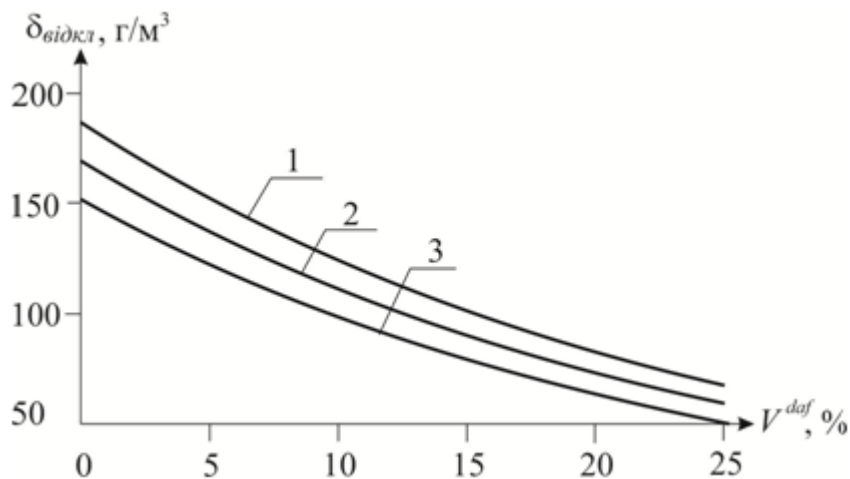


Рисунок 3 – Залежність концентраційної межі вибуховості вугільного пилу від виходу летких речовин

Вугілля всіх шахтопластів з виходом летких речовин менше 15 % (крім антрацитів) один раз на рік підлягають обов'язковим випробуванням в лабораторії на вибуховість їх пилу з одночасним встановленням нижніх меж вибуховості.

Нижні межі вибуховості пилу шахтопластів вугілля з виходом летких речовин від 15 до 30 % визначають і коригують відповідно до [5], а для нововведених в експлуатацію шахтопластів - за результатами лабораторних випробувань.

Необхідно відзначити, що останнім часом виконано ряд розробок, як по уточненню методики визначення вибуховості вугільного пилу [-1, 9], так і за методами зниження ймовірності реалізації вибуху вугільного пилу при веденні гірських робіт [10-12]. Наприклад, потрібно розуміти, що якщо при оцінці вибуховості вугільного пилу досить важливим елементом, крім самої методики визначення вибуховості пилу, є ще і коректний метод відбору проб в шахтних умовах. Урахування всіх цих факторів істотно наблизить до більш об'єктивного результату лабораторного експерименту з оцінки вибуховості вугільного пилу.

Звичайно, до теперішнього часу виконано безліч робіт по методам мінімізації можливості вибуху вугільного пилу [5-7 та ін.]. Однак, вибухи відбуваються і необхідність подальших розробок цілком очевидна. В ІГТМ НАН України розроблено ряд технічних рішень щодо вдосконалення способів боротьби з вибухами вугільного пилу. Ці рішення складаються у використанні акустичних, пульсуючих і ежекційних впливів у заданих діапазонах на вугільний масив і пил, перемішуванні за певною методикою вугільного та інертного пилу [10-12 и др.]. За деякими з них проведені лабораторні та шахтні експерименти. Однак ці рішення ще не включені в нормативні документи.

Відповідно до вищевикладеного можна стверджувати, що вихід летких речовин при термічному розкладанні вугілля без доступу повітря є одним з основних факторів, що характеризують схильність пилу до вибуху.

Таким чином, виконані дослідження з оцінки впливу виходу летючих речовин з вугілля, за якими можна достовірно визначати нижні межі вибуховості вугільного пилу, причому в даній методиці важливим є і коректний відбір проб у шахтних умовах. Не менш важливим моментом у боротьбі з неприпустимістю вибухів вугільного пилу у шахтних умовах є нові технічні рішення спрямовані на зниження ймовірності таких вибухів.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ

1. Минеев С.П. О предупреждении аварий, связанных со взрывами метана в угольных шахтах / Уголь Украины. 2018. № 1-2. С. 50-59.
2. Пат. України № 124544, МПК E21 F5/00. Спосіб визначення нижньої межі вибухонебезпечності вугільного пилу / А.Ф. Булат, І.О. Яценко, С.П. Мінєєв, А.М. Селезньов, С.В. Дрозд, заявник і патентовласник Ін-т геотехн. мех. НАН України. - № u201711457; заявл. 23.11.2017, опубл. 10.04.2018, Бюл. №7/2018 – 4с.
3. ГОСТ 6382-91 (ИСО 562-81). Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода летучих веществ: межгосударственный стандарт. - введ. 1993-01-01.– М.: Издательство стандартов, 1992. – 10 с.
4. ГОСТ 27314-91 (ИСО 589-81). Топливо твердое минеральное. Методы определения влаги: межгосударственный стандарт. - введ. 1993-01-01.– М.: Стандартиформ, 2007. – 11 с.
5. ГОСТ 11022-95 (ИСО 1171-97). Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности: межгосударственный стандарт. - введ. 1997-01-01.– М.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. – 11 с.
6. Правила безпеки у вугільних шахтах: НПАОП 10.0-1.01-10 / Держгірпромнагляд України. – К.: Охорона праці, 2010. 430 с.
7. Предупреждение и локализация взрывов в подземных условиях / А.Е. Умнов, А.С. Голик, Д.Ю. Палеев [и др.]. - М.: Недра, 1990. 286 с.
8. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных пластах / С.П.Минеев, А.А.Рубинский, О.В.Витушко [и др.]. – Донецк: Східний видавничий дім, 2010. 604 с.
9. Збірник інструкцій до правил безпеки у вугільних шахтах: в 2 т. - К.: Основа, 1996. – Т. 1. – 425 с.
10. ДСТУ ISO 602:2015. Вугілля. Визначення мінеральних речовин. – введ. 2016-01-01. – К.: ДЕРЖБуд УКРАЇНИ, 2015. - 13 с.
11. Пат. України № 122296, МПК E21 F5/00. Спосіб оцінки вибухонебезпечності вугільного пилу поблизу прохідницьких робіт / С.П. Мінєєв, А.М. Селезньов, І.О. Яценко, Д.Ю. Самохвалов, заявник і патентовласник Ін-т геотехн. мех. НАН України. - № u201708486; заявл. 18.08.2017, опубл. 26.12.2017, Бюл. №24/2017 – 4с.
12. Пат. України № 121783, МПК E21 F5/02. Спосіб обезпилювання гірничих виробок / С.П. Мінєєв, А.М. Селезньов, І.О. Яценко, Д.Ю. Самохвалов, заявник і патентовласник Ін-т геотехн. мех. НАН України. - № u201707665; заявл. 19.07.2017, опубл. 11.12.2017, Бюл. №23/2017 – 4с.
13. Пат. України № 120572, МПК E21 F5/00. Спосіб зниження вибухонебезпечності вугільного пилу при добуванні вугілля / С.П. Мінєєв, А.М. Селезньов, заявник і патентовласник Ін-т геотехн. мех. НАН України. - № u201708486; заявл. 17.05.2017, опубл. 10.11.2017, Бюл. №21/2017 – 3с.
14. Пат. України № 123465, МПК E21 F5/08. Спосіб захисту від вибухонебезпечності вугільного пилу / С.П. Мінєєв, А.М. Селезньов, І.О. Яценко, О.С. Янжула, Д.Ю. Самохвалов, заявник і патентовласник Ін-т геотехн. мех. НАН України. - № u201709747; заявл. 06.10.2017, опубл. 26.02.2018, Бюл. №4/2018 – 3с.

## REFERENCES

1. Mineev, S. (2018), "About the prevention of accidents associated with methane explosions in coal mines", *Coal of Ukraine*, vol.1-2, pp.50-59.
2. Bulat, A., Yaschenko, I., Mineev, S., Seleznev, A., Drozd, S., M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the NAS of Ukraine (2018), *Sposib vyznachennya nyzhnoyi mezhi vybuhonebezpechnosti vugilnogo pylu* [Method of determining the lower boundary of the explosive hazard of coal dust], State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat.№ 124544.
3. Standard Publishing (1992), GOST 11022-95 (ISO 1171-97). *Toplivo tverdoe mineralnoe. Metody i opredeleniya vykhoda le-tuchih veshchestv* [11022-95. Solid mineral fuel. Methods for determining emission volatile substances], Moscow, Russia.
4. Standardinform (1993), GOST 27314-91 (ISO 589-81). *Toplivo tverdoe mineralnoe. Metody opredeleniya vlagi*. [27314-91. Solid mineral fuel. Methods for determining moisture], Moscow, Russia.
5. Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification (1997). GOST 11022-95 (ISO 1171-97) *Toplivo tverdoe mi-neralnoe. Metody opredeleniya zolnosti*. [11022-95. Solid mineral fuel. Methods for determination of ash content], Moscow, Russia.
6. Gosgorpromnadzor Ukraine (2010), 10.0-1.01-10. *Pravila bezpeki u vugilnykh shakhtakh*. [10.0-1.01-10. Safety rules in coal mines], Kiev, Ukraine.
7. Umnov, A.E., Golik, A.S., Paleev, D.Yu. et. al (1990). *Preduprezhdenie i lokalizatsiya vzryvov v podzemnykh usloviyakh*. [Warning and localization of explosions in underground conditions], Nedra, Moscow, Russia.
8. Mineev, S.P., Rubinskiy, A.A., Vitushko, O.V. et.al (2010). *Gornye raboty v slozhnykh usloviyakh na vybrosoopasnykh plas-takh* [Mining operations in difficult conditions on release-dangerous layers], East Publishing House, Donetsk, Ukraine.
9. Standart (1996), *Zbirnik Instruksiy do pravil bezpeki u vugilnykh shakhtakh* [Collection of instructions for safety rules in coal mines], Kiev, Ukraine.
10. Derzhbud of Ukraine (2016), DSTY ISO 602:2015. *Vugillya. Vyznachennya mineralnykh rehovyn* [602:2015. Coal. Determination of mineral substances], Kiev, Ukraine.
11. Mineev, S., Seleznev, A., Yaschenko, I., Samohvalov, D., M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the NAS of Ukraine (2017), *Sposib otsinki vybuhonebezpechnosti vugilnogo pylu poblizu prokhidnytskykh robot* [Assessment method of explosive coal dust near the tunnel works], State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat.№ 122296.
12. Mineev, S., Seleznev, A., Yaschenko, I., Samohvalov, D., M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the NAS of Ukraine (2017), *Sposib obezpylyuvannya gimnychyykh vyrobok* [Method of decontamination of mining workings], State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat.№ 121783.
13. Mineev, S., Seleznev, A., M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the NAS of Ukraine (2017), *Sposib znyzh-hennya vybuhonebezpechnosti vugilnogo pylu pri dobuванні vugillya* [Method reduce coal dust explosion at a coal mining], State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat.№ 120572.
14. Mineev, S., Seleznev, A., Yaschenko, I., Yanzhula, O., Samohvalov, D., M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the NAS of Ukraine (2018), *Sposib zakhystu vid vybuhonebezpechnosti vugilnogo pylu* [The method of protection against explosive coal dust], State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat.№ 123465.

## Об авторах

**Мінець Сергій Павлович**, доктор технічних наук, професор, завідувачий відділу управління динамічними проявами гірського тиску, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАНУ), Дніпро, Україна, sergminee@gmail.com

**Дякун Інна Леонідівна**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу проблем шахтних енергетичних комплексів, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАНУ), Дніпро, Україна, dyakun@ukr.net

**Яценко Ігор Олексійович**, кандидат технічних наук, заступник начальника департаменту охорони праці Міністерства енергетики та вугільної промисловості України, Київ, Україна, sergminee@gmail.com

## About the authors

**Mineev Sergei Pavlovich**, Doctor of Technical Science (D. Sh), Professor, Head of Department of Pressure Dynamics Control in Rock, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, sergminee@gmail.com

**Dyakun Inna Leonidivna**, Candidate of Technical Science (Ph. D), Senior Researcher of Department of Mine Energy Complexes, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, dyakun@ukr.net

**Yaschenko Igor Oleksiyovich**, Candidate of Technical Science (Ph. D), Deputy Head of Department of Labor Protection of the Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine, Kyiv, Ukraine, sergminee@gmail.com

**Аннотация.** Ежегодно на шахтах Украины происходят аварии, связанные со взрывами метановоздушной смеси и угольной пыли. В результате интенсификации технологического процесса добычи угля, а также во время очистных и подготовительных работ в горных выработках все более глубоких горизонтов наблюдается резкий рост пылеобразования и газоносности шахт, что способствует повышению опасности взрывов. Взрывчатость угольной пыли определяется физико-химическими свойствами шахтного пласта, разрабатываемого и горнотех-

ническими условиями при которых возможно протекание взрыва.

Показано, что одним из основных факторов, характеризующих склонность пыли к взрыву, выход летучих веществ при термическом разложении угля без доступа воздуха. Для угля с выходом летучих веществ до 30% прослеживается строгая закономерность между содержанием метана в продуктах пиролиза и степенью взрываемости пыли, используется для соответствующей классификации угольных пластов.

Рассмотрено понятие выхода летучих веществ. Приведена методика определения выхода летучих веществ, суть которой заключается в прокаливании навески аналитической (воздушно-сухой) пробы топлива в муфельной печи без доступа воздуха при температуре  $(900 \pm 5)^\circ\text{C}$  в течение 7 мин. При нагревании твердого топлива происходит разложение термически неустойчивых молекул органических веществ горючей массы и углеродистых соединений. Выделяются при этом горючие ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ) и негорючие ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  и др.) газы. Главными компонентами в составе летучих веществ, обуславливающих взрывчатость пыли, являются смолистые соединения и тяжелые углеводороды. Основными горючими составляющими летучих веществ является метан, водород, окись углерода, углекислый газ, этан, тяжелые углеводороды и др. Утверждается, что основным компонентом газообразных продуктов термического воздействия, определяет взрывчатость угольной пыли - метан.

Предложена аналитическая зависимость нижнего предела взрываемости угольной пыли от выхода летучих веществ.

**Ключевые слова:** выход летучих веществ, проба, угольная пыль, взрывчатость.

**Annotation.** Annually, accidents occur in the mines of Ukraine, which are related to explosions of methane-air mixture and coal dust. As a result of intensification of technological process of the coal mining, as well as during the stoping operations and roadway preparation in the deep horizons, sharp growth of dust and gas content is observed in the mines, which increases risk of explosions. The explosion of coal dust is determined by the physical and chemical properties of the mine layer being developed and the mining conditions under which explosion may occur.

It is shown that one of the main factors characterizing proneness of dust to explode is volatile substance release during the thermal decomposition of coal without air. For coal with an output of volatile substances up to 30%, a strict pattern between the content of methane in pyrolysis products and the degree of dust explosion used for the classification of coal seams is traceable.

The concept of the release of volatile substances is considered. The method of determining the yield of volatile substances, the essence of which is to calibrate the analytical (air-dry) fuel sample in a muffle furnace without access to air at a temperature  $(900 \pm 5)^\circ\text{C}$  for 7 minutes. When heating solid fuels is decomposition of thermally unstable molecules of organic substances of combustible mass and carbohydrate compounds. At the same time, combustion gases ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ) and incombustible ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ , etc.) are emitted. Main components of volatile substance composition that determine explosiveness of dust are resinous compounds and heavy hydrocarbons. Basic combustion agents of volatile substances are methane, hydrogen, carbon oxide, carbonate gas, ethane, heavy hydrocarbon, etc.

Concept of volatile substance release and method for determining this parameter are presented in the article. It is argued that the main component of gaseous products of thermal influence, which determines the explosion of coal dust - methane. An analytical dependence between lower limit of coal dust explosiveness and volatile substance release is proposed.

**Keywords:** release of volatile substances, test, coal dust, explosiveness.

*Стаття надійшла до редакції 04.10.2018*

*Рекомендовано до друку д-ром геол. наук. Барановим В.А.*