

УДК 622.814

DOI: 10.31474/2415-7902-2020-1(4)-2(5)-110-118

М.О. Уваров, О.П. Когтєва

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ВИЗНАЧЕННЮ ОКРЕМИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ДЕГАЗАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ В АВАРІЙНИХ УМОВАХ

Мета. Метою даної роботи є визначення фактичного дебіту метану каптуємого дегазацією для оперативного управління метановиділенням аварійної ділянки, обґрунтування та визначення окремих параметрів роботи дегазаційної системи аналітичним методом.

Методика. Аналіз існуючих способів визначення дебіту метану в дегазаційному трубопроводі на шахтах України показав, що усі способи засновані на прямому замірі окремих параметрів роботи. Найпоширенішим способом контролю за кількістю метану, що відсмоктується є вимірювальні діафрагми, які встановлюються в газопроводах на стороні нагнітання. Складність методики розрахунку дебіту метану в трубопроводі полягає у великій кількості показників та коефіцієнтів, які взаємопов'язані та потребують тривалого часу для визначення при прямому замірі. Окремі показники в умовах аварійної ділянки визначити взагалі неможливо у зв'язку з відсутністю спеціальних пристроїв на оснащенні технічних служб шахти та гірничорятувальних підрозділів. Визначення відсутніх показників проводиться аналітично, шляхом розрахунку за перетворювальним формулам.

Результати. Розроблений алгоритм визначення параметрів та коефіцієнтів, які використовуються при розрахунку дебіту каптуємого метану взаємодоповнюючими емпіричним та аналітичним методами. Даний алгоритм дозволяє скоротити час визначення дебіту в аварійних умовах і надає можливість прийняти виважене рішення щодо напрямку ліквідації аварії. Правильне та своєчасне визначення кількості каптуємого системою дегазації метану при виникненні «загазування» 151 лави шахти «Степова» ВСП «Шахтоуправління Першотравенське» ПрАТ ДТЕК «Павлоградвугілля», яке виникло 16.06.2020 дозволило обґрунтувати підсилення дегазації аварійної ділянки, визначитись з напрямком ліквідації та в стислі терміни ліквідувати наслідки надзвичайної ситуації.

Наукова новизна. В роботі обґрунтований та вдосконалений алгоритм визначення дебіту каптуємого метану дегазаційною системою виїмкової ділянки.

Практичне значення. Запропонований алгоритм дозволяє заздалегідь визначити окремі показники роботи дегазаційної системи, що суттєво скорочує час на прямі заміри в шахті в аварійних умовах та уникнути застосування пристроїв та приладів, які відсутні на оснащенні вугільних підприємств та гірничорятувальних підрозділів.

Ключові слова. дебіт, каптуємий метан, алгоритм, аварійні умови, вимірювальна діафрагма

Вступ. На теперішній час на шахтах України за даними ДВГРС в експлуатації знаходяться 22 виїмкових ділянки, де застосовується дегазація.

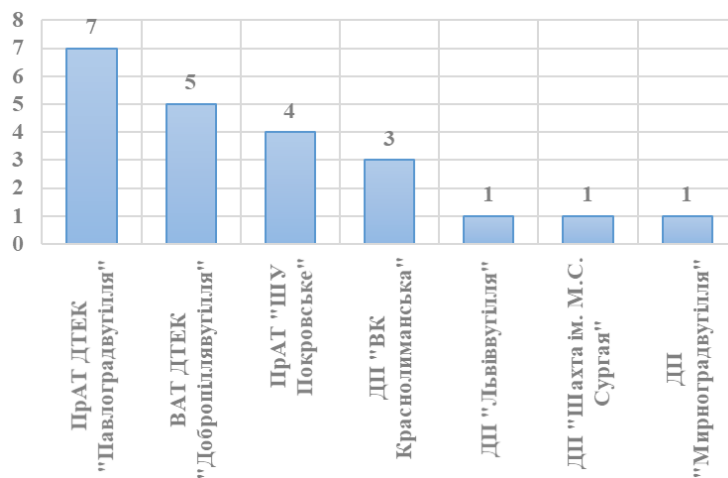


Рисунок 1 – Розподіл виїмкових ділянок, де застосовується дегазація, у розрізі вугільних шахт та виробничих об'єднань

У більшості випадків для контролю витрат газометанової суміші використовуються стаціонарні звужуючі пристрої, які встановлюються на ділянках газопроводу, які не мають місцевого опору, так звані діафрагми. Виміри дебіту каптуємого метану, визначення ефективності дегазації та її частки в газовому балансі виїмкової ділянки потребують значних витрат часу на проведення прямих замірів та на подальший громіздкий розрахунок параметрів і коефіцієнтів, які в свою чергу не завжди вдається виміряти, особливо в аварійних умовах.

Оперативність визначення дебіту метану в дегазаційному трубопроводі аварійної ділянки забезпечує прийняття ефективного рішення щодо управління метановиділенням та напрямку ліквідації аварії. В умовах, коли визначення окремих параметрів неможливе безпосередньо в шахті, пропонується розрахунок цих параметрів виконувати аналітичним методом. Задля забезпечення можливості обрахунку дебіту метану в дегазаційному трубопроводі вдосконалений алгоритм розрахунку та обґрунтовані емпіричні коефіцієнти, застосування, яких передбачено стандартною методикою [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Останні дослідження та публікації в даному напрямку направлені на пошук та розробку нових пристроїв, які б надали можливість визначення безпосередньо дебіту шляхом мінімальної кількості замірів. Методика розрахунку дебіту в газопроводі, приведена в джерелі [1], розглядається як недосконалий метод та в більшості наукових статей приводиться оглядово без роз'яснень та обґрунтування по визначенню окремих параметрів [2,3].

В реаліях сьогоdnішнього стану справ у вугільній промисловості України забезпечити себе новітніми іноземними та вітчизняними приладами заміру дебіту метану має можливість дуже незначна частка вугільних підприємств. Виходячи з вищенаведеного слідує, що розробка покрокового алгоритму визначення параметрів та коефіцієнтів для розрахунку дебіту метаноповітряної суміші та метану, каптуємого дегазацією, безсумнівно має практичне значення.

Мета статті. Метою даної роботи є визначення фактичного дебіту метану, що каптується дегазацією для оперативного управління метановиділенням аварійної ділянки, обґрунтування та визначення окремих параметрів роботи дегазаційної системи аналітичним методом.

Методи дослідження. Аналіз сучасних рекомендацій з визначення дебіту метану в газопроводі шляхом замірів на стаціонарних діафрагмах. Удосконалення алгоритму визначення дебіту метану. В роботі розглянуті основні розрахункові операції та обґрунтовано походження окремих параметрів та коефіцієнтів.

Викладення основного матеріалу. Методика розрахунку дебіту метану каптуємого дегазацією пропонує загальний виклад знаходження окремих параметрів і коефіцієнтів та не враховує реалії та практику роботи вугільних підприємств – відсутність необхідних пристроїв для вимірів тих чи інших параметрів, дозвільних документів на застосування приладів і пристроїв, кваліфікованого персоналу, який знає та вміє правильно їх застосовувати, невідповідність пристроїв для використання в рудникових умовах, відсутність своєчасного тарування та держпівірки, фізичний та моральний знос.

Контроль роботи дегазаційної системи здійснюється стаціонарними, напів-стаціонарними та переносними приладами. В даній роботі розглянутий комбінований спосіб контролю шляхом заміру параметрів переносними приладами на стаціонарній станції контролю – діафрагмі.

Для забезпечення сталого та керованого режиму роботи дегазаційної системи необхідний постійний та ефективний моніторинг параметрів каптуємої метаноповітряної суміші, а саме: абсолютний тиск в газопроводі, мм рт. ст.; вакууметричний тиск в

умов. Такими прийнято вважати тиск 760 мм рт. ст. і температуру 0°C. Витрати метаноповітряної суміші, приведеної до нормальних умов визначаються за формулою:

$$Q_{\text{сн}} = 0,36 \cdot Q_{\text{ф}} \frac{P_z}{273 + t_z} \quad (1)$$

Приведення результатів розрахунків до нормальних умов проводиться при вакууметричній зйомці дегазаційної мережі, коли не забезпечується необхідна ефективність дегазації або вміст метану в каптуємії суміші нижче проектного.

В аварійних умовах проведення вакууметричної зйомки дегазаційної мережі надає результат, на основі якого аналізується можливість підсилення дегазації аварійної ділянки. Підсилення дегазації на аварійній ділянці забезпечується наступними способами: 1) включення на паралельну роботу резервного вакуум-насоса; 2) відключення або послаблення дегазації на інших виїмкових ділянках, які обслуговуються тією ж дегазаційною мережею; 3) буріння додаткових дегазаційних свердловин з підземних виробок або денної поверхні; 4) застосування пересувної вакуум-насосної станції або установки, яка працює на мережу тільки аварійної ділянки; 5) прокладка паралельних гілок газопроводу на ділянках мережі, які мають високий аеродинамічний опір або заміна частини газопроводу на труби з більшим діаметром [6]. Додатково підсилення дегазації досягається зведенням вентиляційних споруд, що за рахунок перерозподілу вентиляційного тиску у виробках дозволяє збільшити забір метаноповітряної суміші.

Найбільш оперативні та малозатратні для реалізації способи 1 та 2. Для обох – критичне значення має величина дебіту каптуємого метану, визначення якої обґрунтовує застосування безпосередньо одного зі способів. Реалізація дозволяє оцінити ефективність заходів прийнятих для ліквідації аварії за результатами контролю параметрів роботи дегазаційної системи та складу рудникової атмосфери в діючих виробках шахти.



Рисунок 3 – Фото дискової діафрагми

Для визначення величини дебіту та пошуку відсутніх параметрів роботи дегазаційної системи застосовуємо аналітичних метод, а необхідні коефіцієнти визначаємо за даними проектної документації із застосуванням перетворювальних формул. Такий комбінований підхід щодо визначення технологічних параметрів роботи дегазаційної системи дозволяє оперативно визначити дебіт каптуємої метаноповітряної суміші та кількість метану у газовому балансі виїмкової ділянки, що досить принципово в умовах аварії.

Вдосконалений алгоритм розрахунку містить обґрунтування та пояснення щодо визначення фактичного дебіту метану у дегазаційному трубопроводі у місці встановлення замірної діафрагми та має наступний вигляд [1]:

Фактичний дебіт метану I дорівнює:

$$I = 0,01 \cdot Q_{\phi} \cdot C, \quad (2)$$

де Q_{ϕ} – витрати метаноповітряної суміші в точці заміру, $\text{м}^3/\text{хв.}$; C – концентрація метану в метаноповітряній суміші в точці заміру, %.

Фактичні витрати метаноповітряної суміші визначаються за формулою:

$$Q_{\phi} = 0,209 \cdot 10^{-3} \cdot a \cdot d_o^2 \sqrt{\frac{\Delta P_{\partial}}{\rho}}, \quad (3)$$

де a – коефіцієнт витрат в залежності від відношення d_o^2 до квадрату діаметру газопроводу d_r^2 ; d_o – діаметр отвору діафрагми, мм; d_r – внутрішній діаметр газопроводу, мм.; ΔP_{∂} – втрати тиску на замірній діафрагмі, мм вод. ст.

$$a = 0,61 - 0,055 \cdot m - 0,45 \cdot m^2, \quad (4)$$

де m – модуль діафрагми

$$m = \frac{d_o^2}{d_r^2} \quad (5)$$

Модуль діафрагми обирають в діапазоні $0,3 \leq m \leq 0,5$.

Діаметр отвору обирається відповідно до типу і технічної характеристики діафрагми, за даними паспорта або інструкції з експлуатації. Внутрішній діаметр газопроводу визначається за технологічними даними проекту дегазації виїмкової ділянки.

Втрати тиску визначаються при прямому замірі U-образним ртутним манометром, при розрахунку одиниці вимірювання тиску конвертуються наступним чином: 1 мм рт. ст. = 13.5950981 мм вод. ст.

Об'ємна густина метаноповітряної суміші залежить від температури, концентрації метану та тиску в газопроводі в місці заміру.

$$\rho = 2,01 \cdot 10^{-3} \cdot (224 - C) \frac{P_r}{273 + t_r}, \quad (6)$$

де ρ – об'ємна густина вимірюваної метаноповітряної суміші, $\text{кг}/\text{м}^3$; P_r – тиск метаноповітряної суміші в газопроводі, мм рт. ст.; t_r – температура метаноповітряної суміші, $^{\circ}\text{C}$.

Тиск метаноповітряної суміші в газопроводі визначається за формулою:

$$P_r = P_a - B_r \quad (7)$$

де B_r – розрядження (різниця між тиском в газопроводі та в оточуючому середовищі визначається прямим заміром, мм рт. ст.; P_a – атмосферний тиск в місці встановлення діафрагми, мм рт. ст.

Методикою передбачається визначення дебіту каптуємого метану вимірюванням атмосферного (барометричного) тиску в гірничих виробках в місці встановлення замірної станції прямим заміром за допомогою мікробарометру. На оснащенні вугільних підприємств та підрозділів гірничорятувальної служби мікробарометри будь-якого типу відсутні і виміряти атмосферний тиск в гірничих виробках неможливо.

Для розв'язання даної практичної задачі запропоновано визначати атмосферний тиск в гірничих виробках аналітичним методом, що дозволить скоротити час на прямі заміри в шахті та своєчасно і оперативно розрахувати дебіт метаноповітряної суміші та метану в дегазаційному трубопроводі.

В стандартизований алгоритм розрахунку для визначення атмосферного тиску в газопроводі вводиться формула з емпіричними коефіцієнтами, яка застосовується при розрахунку газопроводів [1]:

$$P_a = P_0 (1 + 1,17 \cdot 10^{-4} z) \quad (8)$$

де P_0 – барометричний (атмосферний) тиск на поверхні шахти, мм рт. ст.; z – глибина від поверхні до виробки, де встановлена діафрагма, м.

Завдяки математичному перетворенню, значення тиску метаноповітряної суміші в газопроводі дорівнює:

$$P_r = P_0 (1 + 1,17 \cdot 10^{-4} z) - B_r, \quad (9)$$

Введення та застосування формули спрощує увесь алгоритм розрахунку, так як барометричний тиск на поверхні шахти визначається за даними метеосайтів в районі розташування шахти. Глибина виробки, де прокладений дегазаційний трубопровід та встановлена діафрагма вираховується з плану гірничих робіт.

Обговорення результатів. Запропонована методика розрахунку параметрів дебіту метану була успішно застосована при ліквідації загазування, яке виникло 16.06.2020 на вихідному струмені дільниці 151 лави шахти «Степова» ВСП «Шахтоуправління Першотравенське» ПрАТ ДТЕК «Павлоградвугілля». Абсолютна метановість 151 виїмкової дільниці під час аварії збільшилася з розрахункових 33,88 м³/хв. до 108,1 м³/хв. За показниками датчика ППІ встановленого на вихідному струмені дільниці за 151 лавою концентрація метану становила від 2,5% до 5%, що є неприпустимою відповідно до правил безпеки у вугільних шахтах при тому, що скорочення кількості повітря, на аварійній дільниці не відбулося.

Основним напрямком ліквідації аварії було зниження концентрації метану в діючих виробках до гранично допустимих. Резерв, щодо збільшення кількості повітря на аварійній дільниці, був відсутній. Для виваженого оперативного рішення необхідно було в стислі строки виміряти дебіт каптуємого дегазацією метану та метану, який видаляється повітряним струменем. Замір концентрації метану та кількості повітря проводився за допомогою газоаналізатора та цифрового анемометру на безпечних відстанях, поза зоною дії надлишкового тиску можливої ударної хвилі вибуху, тому контролювалися дві точки, так як вихідний з аварійної дільниці повітряний струмінь мав два напрямки руху.

Для прямого заміру параметрів роботи дегазаційної системи на стаціонарній діафрагмі в наявності були тільки U-образний ртутний манометр та газоаналізатор, що не забезпечувало можливості вимірювання технологічних параметрів, необхідних для розрахунку дебіту метану відповідно до стандартної методики.

В аварійних умовах було прийнято рішення щодо розрахунку відсутніх параметрів аналітичним методом шляхом використання алгоритму запропонованого в даній роботі. Алгоритм розрахунку дозволив оперативно визначити дебіт катуємого метану і метановість дільниці загалом та розробити заходи направлені на зниження концентрації метану у повітряних струменях діючих виробок до гранично допустимих норм (рис. 4) шляхом підсилення дегазації за рахунок включення на паралельну роботу резервного вакуум-насоса та послаблення дегазації суміжної виїмкової дільниці.

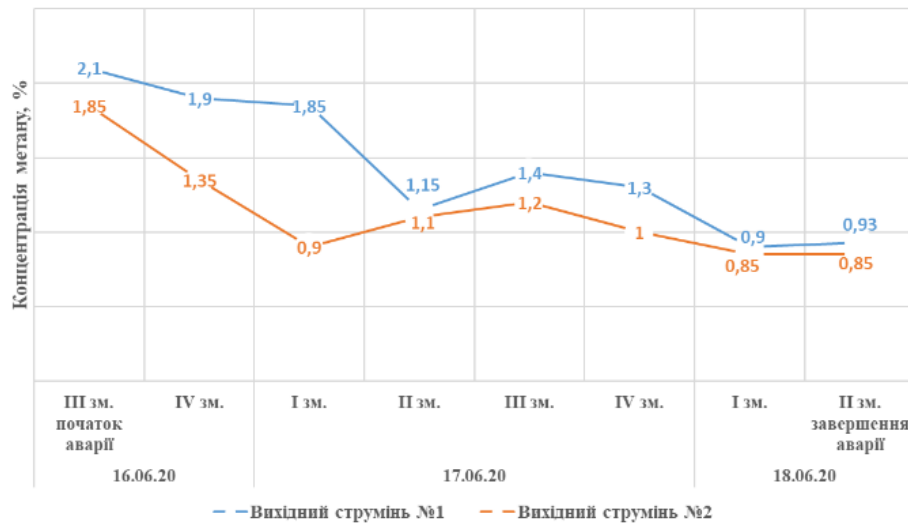


Рисунок 4 – Динаміка концентрації метану на вихідних струменях аварійної дільниці 151 лави в період ліквідації аварії

Ефективне управління метановиділенням та раціональний режим роботи дегазації забезпечили ліквідацію наслідків аварії в короткий термін – протягом двох діб, метановість аварійної дільниці поступово наблизилась до проектного значення (рис. 5).

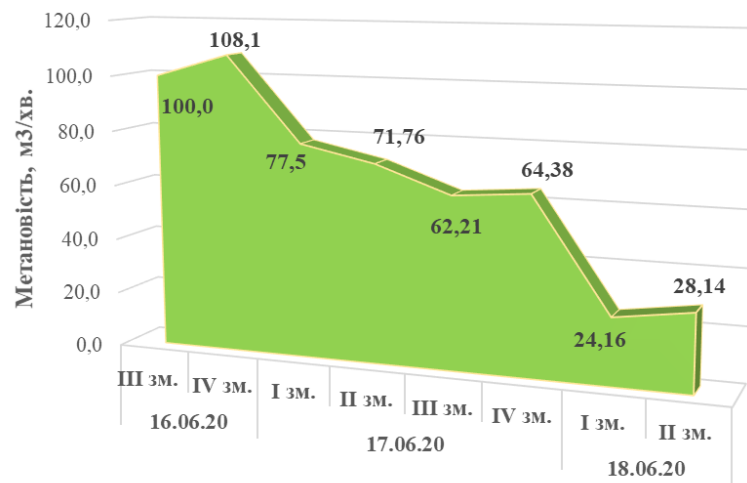


Рисунок 5 – Динаміка метановості дільниці 151 лави в період ліквідації аварії.

Удосконалена методика-алгоритм пропонується для застосування в розрахунку дебіту каптуємого дегазацією метану при складних аваріях на вугільних шахтах України небезпечних за газом.

Висновки. Приведена методика розрахунку дебіту каптуємого метану дозволяє аналітично визначати окремі параметри і коефіцієнти для обрахунку та мінімізувати кількість прямих замірів в аварійних умовах.

Даний покроковий алгоритм розрахунку обґрунтовує емпіричні коефіцієнти та дозволяє шляхом нескладних замірів та обрахунку визначати дебіт метану в дегазаційному трубопроводі робітникам або особовому складу гірничорятувальних підрозділів спеціально не підготовлених в області знань з вентиляції та дегазації, що надає роботі важливе практичне значення.

Список літератури

1. СОУ 10.1.00147088.001-2004 «Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации. Официальное издание. Киев: Минтопэнерго Украины, 2004. с.161.
2. Хиврин М.В., Кубрин С.С., Собеневский А.Г. Контроль параметров метано-воздушной смеси в дегазационном трубопроводе угольной шахты. *Отдельные статьи горного информационно-аналитического бюллетеня*. 2012. с. 107-115.
3. Бунько Т.В., Дудник М.Н. Об измерении дебита в дегазационных скважинах анемометром АПР-2 в режиме турбинного расходомера. *Геотехнічна механіка*. 2015. №122. с.107-115.
4. Минеев С.П., Кочерга В.Н., Наривский Р.Н., Янжула А.С., Колесников, Гордиевский К.Н. Методология разработки противоаварийных мероприятий в проекте дегазации угольной шахты. *Геотехнічна механіка*. 2016. №117. с.226-238.
5. Novikov, L.A. Control of degassing systems. *Essays of Mining Science and Practice 2019*, (109), 1-6. Режим доступа: (<https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900062>).
6. ДНАОП 1.1.30-4.01-97 «Устав ГВГСС по организации и ведению горноспасательных работ». Киев, 1997, с. 226.

References

1. Degassing of coal mines. Requirements for methods and degassing schemes. Official publication: SOU 10.1.00147088.001-2004 [Degazaciya ugolnih shaht. Trebovaniya k sposobam i shemi degazacii. Oficialnoe izdanie: SOU 10.1.00147088.001-2004]. (2005). Kyev: Mintopenergo of Ukraine. (in Russian).
2. Khivrin M.V., Kubrin S.S., Sobenevsky A.G. Control (2012) of the parameters of the methane-air mixture in the degassing pipeline of a coal mine. *Selected articles of the mining information and analytical bulletin*, 107-115. (in Russian).
3. Bunko T.V., Dudnik M.N. (2015). On measuring the flow rate in degassing wells with an APR-2 anemometer in the mode of a turbine flow meter. *Geotechnical mechanics*, No 122, 107-115. (in Russian).
4. Mineev, S.P., Kocherga V.N., Narivskiy R.N., Yanzhula A.S. Kolesnikov A.N. and Gordievsky K.N. (2016). Methodology for the development of emergency measures in a coal mine degassing project. *Geotechnical mechanics*, No 117, 226-238. (in Russian).
5. Novikov, L.A. (2019). Control of degassing systems. *Essays of Mining Science and Practice*. No 109, 1-6. (<https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900062>).
6. DNAOP 1.1.30-4.01-97 «Charter of GVGSS on the organization and conduct of mine rescue operations» [Ustav GVGSS po vedeniy gornospasatelnykh rabot]. (1997). Kyev. (in Russian).

Надійшла до редакції 17.09.2020

M. Uvarov, O. Kohtieva

RECOMMENDATIONS FOR DETERMINATION OF CERTAIN PARAMETERS OF WORK OF DEGASATION SYSTEM OF COAL MINES IN EMERGENCY CONDITIONS

Purpose. The purpose of this work is to determine the actual flow rate of methane captured by degassing for the operational management of methane emissions at the emergency site, justification and determination of certain parameters of the degassing system by the analytical method.

Methodology. The analysis of the existing methods of determining the methane flow in the degassing pipeline at the mines of Ukraine has shown that all methods are based on the direct measurement of certain operating parameters. The most common way to control the amount of methane sucked out are measuring diaphragms, which are installed in gas pipelines on the discharge side. The complexity of the method of calculating the flow of methane in the pipeline is the large number of indicators and coefficients that are interrelated and require a long time to determine the direct measurement. Some indicators in the conditions of the emergency site cannot be determined at all due to the lack of special devices on the equipment of technical services of mine and mine rescue units. Determination of missing indicators is carried out analytically, by calculating the recalculation formulas.

Research results. An algorithm for determining the parameters and coefficients used in calculating the flow rate of captured methane by complementary empirical and analytical methods has been developed. This algorithm reduces the time of flow determination in emergency conditions and provides an opportunity to make an informed decision about the direction of the accident. Correct and timely determination of the amount of

methane captured by the degassing system in the event of 'gassing' of the lava 151 of Stepova mine PSU 'Pershotravenske' PJSC DTEK 'Pavlogradvugillia' deadlines to eliminate the consequences of the emergency.

Scientific novelty. The algorithm for determining the flow rate of captured methane by the degassing system of the excavation section has been substantiated and improved.

Practical value. The proposed algorithm allows to determine in advance the individual performance of the degassing system, which significantly reduces the time for direct measurements in the mine in emergency conditions and to avoid the use of devices and appliances that are not on the equipment of coal mines and rescue units.

Keywords: flow rate, captured methane, algorithm, emergency conditions, measuring diaphragm.

Відомості про авторів

Уваров Микита Олександрович – аспірант, Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», (пл. Шибанкова, 2, м Покровск, 85300, Україна). Помічник командира 10 Воєнізованого гірничорятувального загону, (пров. Робочий, 1, м. Мирноград, 85323, Україна). E-mail: nikitavr@ukr.net

Когтєва Ольга Павлівна – аспірант, Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет». Старший лаборант кафедри природоохоронної діяльності ДВНЗ «ДонНТУ» (пл. Шибанкова, 2, м Покровск, 85300, Україна) E-mail: olha.kohtieva@donntu.edu.ua

Uvarov Mykyta Oleksandrovyh – post-graduate student, SHEE Donetsk National Technical University (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300, Ukraine). Assistant commander of Tenth Paramilitary Mine Rescue Unit (10th PMRU) (1, lane Robochiy, Myrnohrad, Donetsk region, 85323, Ukraine). E-mail: nikitavr@ukr.net

Kohtieva Olha Pavlivna - Doctoral Student, SHEE Donetsk National Technical University (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300, Ukraine) E-mail: olha.kohtieva@donntu.edu.ua