

УДК 621.311.16.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОСОБЛИВОЇ ВИБУХОБЕЗПЕЧНОСТІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ШАХТ, НЕБЕЗПЕЧНИХ ЗА ГАЗОМ

В. П. Колосюк, Ю. М. Чебенко

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: bgd@kdu.edu.ua

А. В. Колосюк

Донбаська національна академія будівництва та архітектури
вул. Шкадінова, 74, м. Краматорськ, 84313, Україна. E-mail: ww hale@rambler.ru

Викладено обґрунтування засобів і заходів щодо здійснення попередження загазування місць розташування електричних захисних апаратів та забезпечення захисного вимкнення напруги при вибухонебезпечній концентрації метану таким чином, щоб можливе іскріння в електрообладнанні системи електропостачання не могло з'явитись джерелом запалювання метано-повітряної суміші й вибуху в гірничій виробці. Розглянуто схему електричного апарату з датчиком метану як приклад технічної реалізації забезпечення особливої вибухобезпечності системи електропостачання. Розкрито роль надійності технічного рішення у зниженні ймовірності вибуху метано-повітряної суміші. Надано оцінку ефективності таких пропозицій по зниженню ймовірності можливого вибуху метану залежно від надійності системи контролю концентрації метану та захисного вимкнення напруги з електрообладнання як можливого джерела вибуху.

Ключові слова: вибухова суміш, джерело запалювання, датчик контролю метану, ймовірність, електричний апарат, система захисту від витоків струму, надійність.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОСОБОЙ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ШАХТ, ОПАСНЫХ ПО ГАЗУ

В. П. Колосюк, Ю. М. Чебенко

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: bgd@kdu.edu.ua

А. В. Колосюк

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры
ул. Шкадинова, 74, г. Краматорск, 84313, Украина. E-mail: ww hale@rambler.ru

Изложено обоснование средств и мер по осуществлению предупреждения загазованности мест размещения электрических защитных аппаратов и обеспечения защитного отключения напряжения при взрывоопасной концентрации метана таким образом, чтобы возможное искрение в электрооборудовании системы электропитания не могло явиться источником поджигания метано-воздушной смеси и взрыва в горной выработке. Рассмотрена схема электрического аппарата с датчиком метана как пример технической реализации обеспечения особой взрывобезопасности системы электропитания. Раскрыта роль надежности технического решения в снижении вероятности взрыва метано-воздушной смеси. Дана оценка эффективности таких предложений по снижению вероятности возможного взрыва метана в зависимости от надежности системы контроля концентрации метана и защитного отключения напряжения с электрооборудования как возможного источника взрыва.

Ключевые слова: взрывчатая смесь, источник воспламенения, датчик контроля метана, вероятность, электрический аппарат, система защиты от утечек тока, надежность.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. У вугільних шахтах, небезпечних за газом, електрообладнання, яке за своїми функціями повинно працювати в загазованому середовищі й тому знаходиться під електричною напругою, відповідно до вимог Правил безпеки у вугільних шахтах [1], повинно бути особливо вибухобезпечним. Завдяки такому рівню вибухобезпечності, не повинно бути виникнення іскор, дуг та інших електричних розрядів від електрообладнання у відкритій атмосфері загазованої гірничої виробки й таким чином повинно здійснюватись попереджування вибуху метано-повітряної вибухової суміші.

Традиційним методом особливої вибухобезпечності є виконання електрообладнання з видом вибухозахисту «іскробезпечне коло», потужність іскріння в якому такої величини, що не здібна підпалити

вибухонебезпечну суміш метану з повітрям. Але є обладнання, яке за своєю потужністю не може бути іскробезпечним (наприклад, обладнання, що є джерелом для іскробезпечної системи, та ін.), для якого, відповідно до ГОСТ 2287.0 [2], повинні бути застосовані інші заходи безпеки, ефективність яких доведено компетентною випробувальною організацією. Розробка таких заходів стала предметом наукових досліджень на кафедрі безпеки життєдіяльності Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського (КрНУ) у співдружності з Донбаською національною академією будівництва та архітектури (ДонНАБА), в результаті якої розроблено й запатентовано винахід – корисну модель особливо вибухонебезпечного електричного апарату [3].

Метою даної роботи є обґрунтування технічних рішень щодо забезпечення особливої вибухобезпечності системи електропостачання шахт, небезпечних за газом, і оцінки ефективності пропозицій по здійсненню таких рішень.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Виходимо з того, що вибух метану, як подія, виникає внаслідок співпадання в часі й просторі двох незалежних подій: 1) створення при загазуванні виробок вибухової суміші метану (концентрація від 5 до 15 %) з повітрям; 2) виникнення джерел запалювання від електрообладнання (електрична дуга, іскріння, витоки струму й т.ін.) з енергією понад 0,25 мДж або 0,25 мВAc. Тому система попередження вибуху базується на попередженні виникнення вибухової концентрації метану й небезпечного джерела закалювання шляхом захисного вимикання напруги.

Зважаючи на те, що не все електрообладнання в системі електропостачання можна створити іскробезпечним і в аварійній ситуації (викиди гірничої маси, обрушення породи, пошкодження кабелів і обладнання гірничих машин та ін.) може бути джерелом запалювання та вибуху, правила безпеки [1] передбачають низку заходів по недопущенню створення у виробках небезпечної концентрації метану, в тому

числі контроль вмісту метану в повітрі апаратурою контролю метану (АКМ) з розміщенням датчиків контролю в передбачених правилами місцях гірничих виробок. У даній роботі використана також ідея контролю концентрації метану безпосередньо в електричному апараті управління такого електрообладнання (яке не може бути іскробезпечним, але повинно працювати під напругою при небезпечному загазуванні виробки), тобто в місці установки захисного апарату, та поєднання в ньому засобів контролю метану із засобами захисного вимикання системи електропостачання як системи забезпечення вибухозахищеності.

Таким чином, вказана ідея матеріалізується застосуванням електричного апарату, що здійснює контроль концентрації метану безпосередньо на вході власної конструктивної оболонки цього апарату та одночасно захисне вимкнення, що знеструмує систему електропостачання як при пороговій концентрації метану, так і при спрацюванні електричних захистів від коротких замикань, витоків струму та перегрузу. Для цього до традиційного апарату з усіма електричними захистами (наприклад, магнітного пускача, автоматичного вимикача й т.ін.) прилаштовується серійний датчик метану, як це показано на рис. 1.

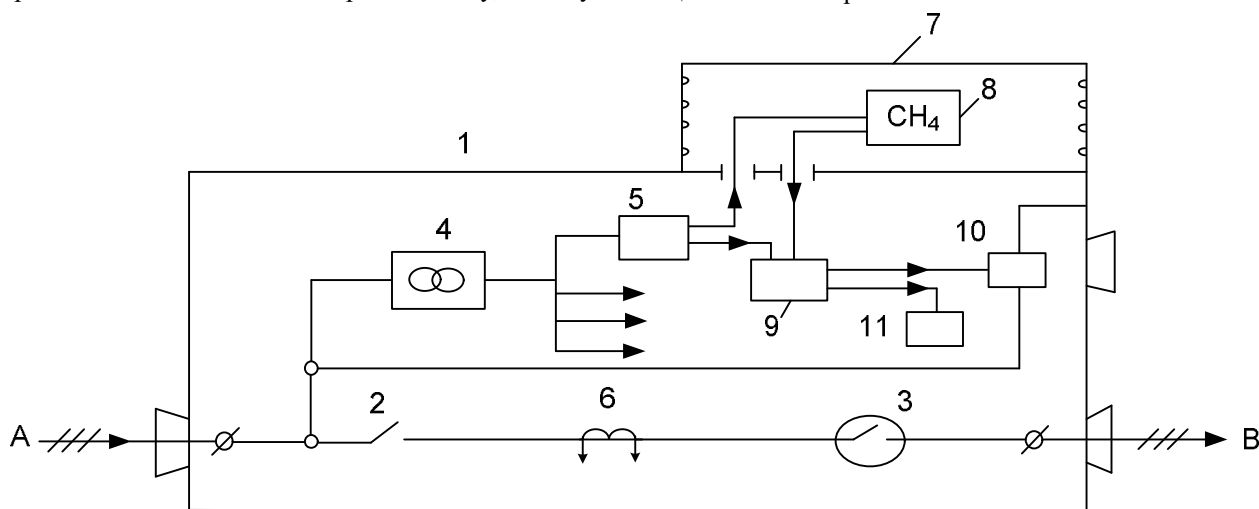


Рисунок 1 – Електричний апарат із засобами контролю концентрації метану та захисного вимкнення напруги:

- А, В – трифазний кабельний, відповідно, ввід та вивід; 1 – вибухозахищена оболонка; 2 – роз’єднувач;
- 3 – апарат управління (наприклад, контактор); 4 – джерело напруги власних потреб;
- 5 – блок іскробезпечного живлення; 6 – умовне позначення захистів від коротких замикань, перегрузів і т.ін.;
- 7 – оболонка відсіку для встановлення датчику метану; 8, 9 – блок обробки даних;
- 10 – пристрій для створення штучного витоку струму; 11 – блок сигналізації

До вводу «А» подається напруга від системи електропостачання (наприклад, від дільничної пересувної трансформаторної підстанції). Від виводу «В» напруга подається до електроспоживачів, що повинні працювати під напругою в умовах імовірного загазування (наприклад, трансформаторного джерела, що живить електрообладнання з особливо вибухобезпечним рівнем вибухозахисту).

Якщо виникає загазування у вугледобувних чи прохідницьких вибоях, то електрообладнання працюючих технологічних машин та установок знеструмується під дією загальної апаратури контролю метану, якою оснащена шахта, залишається в дії в загазованих умовах тільки особливо вибухонебезпечне (іскробезпечне) електрообладнання апаратури контролю метану, контролю швидкості повітря,

оксиду вуглецю та інших датчиків, що живляться від спеціального трансформаторного джерела з виводу «В». Але якщо загазування поширюється й настає загазування виробки, де встановлено запропонований захисний електричний апарат із датчиком контролю метану, цей датчик спрацьовує й одночасно подає сигнал на спрацювання тривожної сигналізації блоком 11 та створення штучного витоку струму на землю пристроєм 10, що призводить до спрацювання апарату захисту від витоків струму й вимкнення напруги автоматичним вимикачем дільничної підстанції, на якій діє цей апарат. Це призводить до захисного вимкнення системи електропостачання дільниці, чим попереджається можливий вибух загазованої метаном атмосфери.

У пристрої 10 передбачено резистор, який приєднано до однієї з фаз живлення та заземленої оболонки 1 для створення штучного витоку струму на землю через один із виходів блоку 9 (контакт, що вмикається при спрацюванні датчику метану 8), як це передбачено в апаратах захисту від струмів витоку [6–9].

Формування події «вибух» від електрообладнання системи електропостачання можна пояснити схемами, приведеними на рис. 2.

Відповідно до рис. 2, імовірність вибуху може бути визначена за наступними виразами.

При звичайній системі електропостачання:

$$Q_6 = Q_2 Q_3 \tag{1}$$

При системі електропостачання із запропонованим електричним апаратом з контролем концентрації метану в місці його знаходження:

$$Q_6' = Q_2 Q_3 Q_0 \tag{2}$$

Імовірність відмови додаткового контролю метану (Q_0) можна виразити через імовірність нормальної (безвідмовної) функції (P), як зворотної ймовірності Q_0 , на основі рівняння повної ймовірності:

$$Q_0 = 1 - P \tag{3}$$

З урахуванням цього, маємо:

$$Q_6' = Q_2 Q_3 (1 - P) \tag{4}$$

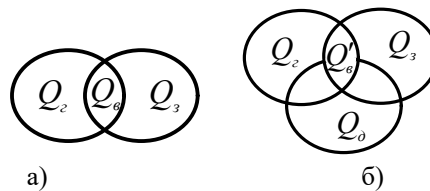


Рисунок 2 – Формування події «вибух» при звичайній системі електропостачання (а) і при системі електропостачання із застосуванням запропонованого захисного електричного апарату (б): Q_2 – імовірність виникнення небезпечного загазування електрообладнання; Q_3 – імовірність виникнення електричного джерела запалювання вибухової суміші; Q_0 – імовірність відмови додаткової системи контролю метану в запропонованому апараті; Q_6 і Q_6' – відповідно ймовірність вибуху при звичайній системі електропостачання та при системі електропостачання із запропонованим захисним електричним апаратом із контролем концентрації метану

Ефективність застосування додаткового контролю метану в запропонованому електричному апараті можна оцінити по зменшенню ймовірності вибуху за відношенням

$$n = \frac{Q_6}{Q_6'} \tag{5}$$

яке показує, у скільки разів імовірність Q_6' менше ймовірності Q_6 .

На основі отриманих рівнянь маємо:

$$n = \frac{Q_2 Q_3}{Q_2 Q_3 (1 - P)} = \frac{1}{(1 - P)} \tag{6}$$

Таким чином, ефективність застосування додаткового контролю метану в захисному електричному апараті залежить від показника надійності його функціонування (P).

Аналіз показує, що для високої ефективності зниження ймовірності можливого вибуху необхідна велика ймовірність безвідмовного функціонування системи контролю метану й захисного вимкнення напруги (табл. 1).

Таблиця 1 – Зниження ймовірності вибуху метану залежно від показника надійності

Імовірність безвідмовної роботи системи контролю й захисного вимкнення напруги	0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	0,95	0,96	0,97	0,98
Зниження ймовірності вибуху відносно ймовірності вибуху при відсутності контролю й захисного вимкнення, (n), разів	1	1,25	1,67	2,5	5	10	20	25	33,3	50

Залежність імовірності вибуху ($Q_в'$) безпосередньо від імовірності безвідмовної роботи (P) впливає з виразу

$$Q_в' = Q_в(1-P). \quad (7)$$

Якщо реально розраховувати на $P = 0,9$, то зниження імовірності вибуху буде на один порядок, а якщо забезпечити надійність $P = 0,95$, то отримаємо зменшення імовірності вибуху у 20 разів. Проте подальше підвищення надійності дуже проблематично. Тому для подальшого збільшення ефективності необхідно застосовувати всі можливі й інші заходи по збільшенню надійності апаратури.

Оскільки безвідмовність апаратури залежить від терміну, на який розрахована її безвідмовність, то важливе значення для збільшення імовірності безвідмовної роботи має збільшення частоти профілактичних заходів по встановленню роботоздатності апаратури й таким чином зменшення часу, на який розраховується безвідмовність. Якщо вважати, що відмови як події відбуваються одна за одною з деякою послідовністю, то їх можна надати як пуасонівський потік подій [6]. Для такого потоку ймовірність відмови виражається функцією

$$Q = 1 - e^{-\lambda \Delta t}, \quad (8)$$

де λ – інтенсивність потоку, тобто середнє число відмов в одиницю часу; Δt – середній проміжок часу між двома послідовними відмовами в потоці, годин.

Для практичного використання при розкладенні в ряд значення $e^{-\lambda \Delta t}$ величини вищого порядку малості можна зневажити, тому можна прийняти [4]:

$$Q = \lambda \Delta t. \quad)$$

Це дає можливість при стаціонарному пуасонівському потоці ймовірність відмови визначати як добуток інтенсивності потоку (λ) на величину проміжку часу (Δt). Тому ймовірність безвідмовного функціонування можна надати виразом

$$P = 1 - Q = 1 - \lambda \Delta t. \quad (10)$$

З отриманого виразу видно, що збільшення ймовірності безвідмовного функціонування апаратури можна досягти зменшенням часу між двома послідовними відмовами в їх потоці. Для цього необхідно встановити такий організаційний порядок, щоб після терміну роботи, що дорівнює Δt , виконувались профілактичні дії щодо перевірки стану й забезпечувалось відновлення повної роботоздатності виробу.

Доцільно відзначити, що нормована ймовірність безвідмовної роботи (P_n) різних електромеханічних систем розрахована на 720 год (тобто один місяць роботи):

$$P_n = 1 - \lambda \Delta t_n.$$

Із цього рівняння можна визначити нормовану інтенсивність потоку відмов:

$$\lambda = (1 - P_n) / \Delta t_n, \quad (11)$$

де Δt_n – нормативне значення часу, на який розраховано нормовану ймовірність (P_n).

Якщо ввести в рівняння (11) визначене значення інтенсивності потоку відмов, отримаємо залежність імовірності безвідмовної роботи від терміну (Δt):

$$P = 1 - \frac{1 - P}{\Delta t_i} \Delta t. \quad (12)$$

При цьому показник ефективності (n) буде:

$$n = \frac{1}{1 - P} \frac{\Delta t_i}{\Delta t}. \quad (13)$$

З рівнянь (12), (13) випливає важливий висновок, що при зменшенні терміну між відмовами (Δt) збільшується надійність функціонування апаратури (P) та ефективність зменшення ймовірності вибуху (n).

Як приклад, збільшення показника надійності й ефективності за рахунок зменшення Δt приведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Розрахункові значення ефективності при перевірці справності

Δt , год	720	240	168	120	24
P	0,9	0,967	0,976	0,983	0,9967
N	10	30	43	60	300

Важливим заходом контролю справності роботи апаратури контролю та захисту є пробні перевірки спрацювання. Наприклад, для апаратури контролю рівня електричної ізоляції й захисту від витоків струму передбачена перевірка спрацювання шляхом створення штучного витoku струму на землю натиском кнопки, що передбачена у конструкції пересувної трансформаторної підстанції. Таку перевірку доцільно застосувати для системи захисного вимкнення. Для перевірки справності системи контролю метану необхідно застосувати випробувальну суміш метану з повітрям, причому таку перевірку повинні виконувати спеціально навчені працівники.

При щоденній перевірці ($\Delta t = 24$ год) справності можна забезпечити зниження ймовірності вибуху в 300 разів, як про це свідчать дані в табл. 2.

У ГОСТ 12.1.017-76 [5] наведені такі вимоги: «виробничі процеси повинні розроблятися так, щоб імовірність виникнення вибуху на будь-якій дільниці протягом року не перевищувала 10^{-6} », тобто $Q_в \leq 10^{-6}$. Але фактично ймовірність вибуху у вугільних шахтах перевищує такий рівень: для виїмкової дільниці у вугільних шахтах України ймовірність вибуху складає $8,36 \times 10^{-4}$, а для тупикової виробки – $4,5 \times 10^{-4}$ [4]. Це свідчить про те, що проблема вибухобезпеки, як і раніше, залишається актуальною.

Покажемо, за яких умов при застосуванні заходів щодо забезпечення високих принципів надійності та при більш частих профілактичних заходах можна забезпечити вимоги ГОСТ щодо рівня ймовірності вибуху в шахтах $Q'_e \leq 10^{-6}$.

Вводячи у виразах (7), (12) імовірність вибуху, з урахуванням показників надійності та періоду профілактики справності системи, маємо:

$$Q'_e = Q_e \left(1 - 1 + \frac{1-P}{\Delta t_n} \Delta t \right) = Q_e \frac{1-P}{\Delta t_n} \Delta t. \quad (14)$$

Вищевказана умова записується виразами

$$Q'_e \leq 10^{-6} \text{ та } Q_e \frac{1-P}{\Delta t_n} \Delta t \leq 10^{-6}. \quad (15)$$

При цьому періодичність перевірок і відновлення роботоздатності буде:

$$\Delta t = \frac{10^{-6} \Delta t_n}{Q_e (1-P)}. \quad (16)$$

Таким чином, для забезпечення нормованого рівня ймовірності вибуху 10^{-6} періодичність перевірок і відновлення роботоздатності контролю метану пристроєм, яким оснащено вимикаючий електричний апарат, повинна вибиратись залежно від нормованих значень його надійності та фактично досягнутого рівня ймовірності вибуху.

Аналіз цього виразу доцільно виконати при значенні фактичної ймовірності вибуху метану, що має місце на вугільних шахтах України, тобто при $Q_e = 8,36 \times 10^{-4}$ при значеннях P : 0,8; 0,9; 0,95, що реально можна забезпечити на сучасному технічному рівні (табл. 3).

Таблиця 3 – Умови забезпечення ймовірності вибуху 1×10^{-6} за значеннями P і Δt

Імовірність безвідмовної роботи системи контролю метану в оболонці вимикального апарату (P)	0,8	0,9	0,95
Термін періодичної перевірки й відновлення роботоздатності системи контролю метану та вимикання напруги (Δt), год	4,36	8,36	17,2
Імовірність вибуху метану при значенні P і Δt	10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}

Отримані дані свідчать про те, що найбільш доцільно встановити щоденний термін періодичної перевірки й відновлення роботоздатності системи контролю метану та вимкнення напруги, приурочивши її до ремонтної зміни, яка повинна здійснюва-

тись відповідно до технологічного режиму та графіку роботи виїмкової дільниці вугільної шахти.

ВИСНОВКИ. 1. Обґрунтовано застосування контролю концентрації метану на вході електричного апарату, від якого отримує живлення неіскробезпечне електрообладнання, що повинно залишатись під напругою в загазованій атмосфері гірничої виробки, та захисне відключення вказаним апаратом системи електропостачання при небезпечній концентрації як необхідних засобів вибухобезпечності.

2. Надано оцінку запропонованої пропозиції по зменшенню ймовірності можливого вибуху в шахті та розкрито роль у такому зменшенні надійності системи контролю метану та захисного вимкнення напруги, яка показала, що при високій ймовірності безвідмовного функціонування запропонованої й обґрунтованої системи контролю метану та захисного знеструмлення ймовірність вибуху знижується на два порядки.

3. Доведено, що для зменшення в газових шахтах фактичної ймовірності вибухів до нормованого рівня 1×10^{-6} , крім забезпечення високої надійності, необхідно зменшення терміну чергової перевірки справності та відновлення роботоздатності системи контролю метану й захисного знеструмлення, а також застосування інших заходів та засобів вибухобезпеки.

4. За наявних фактичних рівнів ймовірності вибухів у вугільних шахтах вважається виправданою рекомендація щодо здійснення щоденно чергової перевірки справності системи контролю метану та захисного знеструмлення шляхом штучного створення або імітація виникнення порогової концентрації метану на вході захисного електричного апарату.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДНАОП 1.1.30-1.01-00. Правила безпеки у вугільних шахтах – К.: 2010. – 207 с.
2. ГОСТ 22782 О. Электрооборудование взрывозащищенное. Общие требования безопасности.
3. Опис до патенту на корисну модель UA 99014U. Електричний апарат / В.М. Чебенко, В.П. Колосюк. – Бюл. № 9. – 12.05.2015. – 4 с.
4. Ткачук С.П., Колосюк В.П., Ихно С.А. Взрывопожаробезопасность горного оборудования. – К.: Основа, 2000. – 695 с.
5. ГОСТ 12.1.010-76. Взрывобезопасность. Общие требования.
6. Колосюк В.П. Защитное отключение рудничных электроустановок. – М.: Недра, 1980. – 334 с.
7. Аппараты защиты от токов утечки рудничные для сетей напряжением до 1200 В. Общие технические условия. ГОСТ 22929. – М.: Госстандарт СССР, 1979. – 17 с.

8. Савицкий В.Н., Белошистов А.И., Стадник Н.И., Сергеев А.В. Защита от токов утечки в комбинированных распределительных сетях электрооборудования очистных комбайнов // Уголь Украины. – 2007. – Вып. 12. – С. 23–25.

9. Колосюк В.П., Товстун Ю.В. Электробезопасность в горной промышленности. – Донецк: Ноулиж, 2014. – 475 с.

**PROVIDE SPECIAL EXPLOSION-PROOF ELECTRICAL SYSTEMS OF MINES,
DANGEROUS ON GAS**

V. Kolosyuk, Yu. Chebenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: bgd@kdu.edu.ua

A. Kolosyuk

Donbas National Academy of Engineering and Architecture
vul. Shkadinova, 74, Kramatorsk, 84313, Ukraine. E-mail: wwahle@rambler.ru

Purpose. It sets out means and justification of measures to implement the prevention placement of electrical protective devices and ensure tripping voltage when an explosive concentration of methane in such a way that possible sparks in electrical power system could be a source of ignition of methane-air mixture and an explosion in the mine workings. **Methodology.** Electrical apparatus considered scheme of methane sensor, as an example of the technical implementation to provide special explosion-proof electrical system. Reveals the role technical solutions to reduce the reliability of the probability of explosion of methane-air mixture. **Results.** The estimation of the efficacy of such proposals to reduce the probability of a possible explosion of methane, depending on the concentration of methane control system reliability and tripping voltage electrical equipment as a possible source of the explosion.

Key words: explosive mixture, ignition source, methane control sensor, probability, electric apparatus, system of protection against leakage current, reliability.

REFERENCES

1. DNAOP 1.1.30-1.01-00 (2010), *Pravila bezpeki u vugilnikh shakhtakh* [Safety rules in coal mines], Kyiv. (in Ukrainian)

2. GOST 22782 O. *Elektrooborudovanie vzryvo-zashchishchennoe. Obshchie trebovaniya bezopasnosti* [Electric equipment hardened. General safety requirements]. (in Russian)

3. Chebenko, V.M. and Kolosyuk, V.P. (2015), *Opys do patentu na korysnu model UA 99014U* [Patent Utility Model UA 99014U "Electric machine"], Bul. no. 9. (in Ukrainian)

4. Tkachuk, S., Kolosyuk, V. and Ikhno, S. (2000), *Vzryvo-pozharobezopasnost gornogo oborudovaniya* [Explosion fire safety of mining equipment], Osнова, Kyev. (in Russian)

5. GOST 12.1.010-76. *Vzryvobezopasnost. Obshchie trebovaniya* [Explosion protection. General requirements]. (in Russian)

6. Kolosyuk, V. (1980), *Zashchitnoe otklyuchenie rudnichnykh elektroustanovok* [Cutout mine electrical], Nedra, Moscow. (in Russian)

7. GOST 22929. *Apparaty zashchity ot tokov utechki rudnichnye dlya setey napryazheniem do 1200 V. Obshchie tekhnicheskie usloviya* [Protection devices against leakage currents miner for voltage systems up to 1200 V. General specifications], Gosstandart, Moscow. (in Russian)

8. Savitskiy, V., Beloshistov, A., Stadnik, N. and Sergeev, A. (2007), "Protection against leakage currents in the combined distribution networks of electricity shearers", *Ugol Ukrainy*, no. 12, pp. 23–25. (in Russian)

9. Kolosyuk, V. and Tovstun, Yu. (2014), *Elektrobezopasnost v gornoy promyshlennosti* [Electrical safety in the mining industry], Noulizh, Donetsk. (in Russian)

Стаття надійшла 11.09.2016.