

**ЗАСОБИ ВИБУХОБЕЗПЕЧНОСТІ СИСТЕМ СИГНАЛІЗАЦІЇ,
ЗВ'ЯЗКУ ТА УПРАВЛІННЯ ДЛЯ ШАХТ, НЕБЕЗПЕЧНИХ ЗА ГАЗОМ**

В. П. Колосюк, В. 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 академія будівництва і архітектури

вул. Героїв Небесної Сотні, 14, м. Краматорськ, 84333, Україна.

E-mail: wwhele@rambler.ru

Одним із заходів запобігання вибухам є забезпечення вибухобезпечності електрообладнання за принципами «іскробезпечного електричного кола». Дійсна робота присвячена вдосконаленню засобів забезпечення іскробезпеки систем живлення індуктивних навантажень рудникового електрообладнання, як засобів забезпечення зниження аварій і травматизму у вугільних шахтах, небезпечних за газом, чим визначається актуальність цієї роботи. Отримані результати рекомендуються для реалізації організаціями і працівниками, які займаються забезпеченням вибухобезпечності систем електропостачання в шахтах, небезпечних за газом, та в інших підприємствах чи організаціях, у процесі діяльності яких створюються або виникають вибуховонебезпечні суміші газів з повітрям.

Ключові слова: іскробезпека, шахта, схема імпульсного живлення, діод, система сигналізації, газ.

**СРЕДСТВА ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ СИГНАЛИЗАЦИИ,
СВЯЗИ И УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ШАХТ, ОПАСНЫХ ПО ГАЗУ**

В. П. Колосюк, В. Н. Чебенко

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина.

E-mail: bgd@kdu.edu.ua

А. В. Колосюк

Донбасская академия строительства и архитектуры

ул. Героев Небесной Сотни, 14, г. Краматорск, 84333, Украина.

E-mail: wwhele@rambler.ru

Одной из мер предотвращения взрывов является обеспечение взрывобезопасности электрооборудования по принципу «искробезопасной электрической цепи». Настоящая работа посвящена совершенствованию средств обеспечения искробезопасности систем питания индуктивных нагрузок рудничного электрооборудования, как средств обеспечения снижения аварий и травматизма в угольных шахтах, опасных по газу, чем определяется актуальность данной работы. Полученные результаты рекомендуются для реализации организациями и работниками, которые занимаются обеспечением взрывобезопасности систем электроснабжения в шахтах, опасных по газу, и в других предприятиях или ор-

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

ганизациях, в процессе деятельности которых создаются или возникают взрывоопасные смеси газов с воздухом.

Ключевые слова: искробезопасность, шахта, схема импульсного питания, диод, система сигнализации, газ.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Вибухи метану, що відбуваються у вугільних шахтах, є не лише крупними аваріями з великими економічними втратами, але й призводять до групових нещасних випадків, у тому числі з летальним результатом. Одним із заходів запобігання вибухам є забезпечення вибухобезпечності електрообладнання за принципами «іскробезпечного електричного кола».

Це особливо стосується електрообладнання та систем сигналізації, зв'язку та управління, які за своїм призначенням повинні нормально функціонувати навіть в умовах повного загазування гірничих виробок, тобто знаходячись під напругою. За таких умов таке та електрообладнання та схеми живлення щоб не бути джерелом запалювання вибуховонебезпечної навколишньої суміші повинні бути особливо вибухобезпечними за термінологією правил безпеки у вугільних шахтах.

Іскробезпечне електричне коло є одним з видів забезпечення особливої вибухобезпеки електрообладнання, яке за умовами експлуатації повинне функціонувати у вибухонебезпечній атмосфері у разі будь-яких пошкоджень, знаходячись під напругою і не викликаючи іскор і нагріву, здатних бути джерелом займання вибухової суміші.

Поняття іскробезпеки належить в основному до іскор малої потужності. Проте в шахтах є системи, у яких слід застосовувати потужність вищу від мінімальної іскробезпечної. До таких систем відносять системи керування електрообладнанням, системи зв'язку, сигналізації та ін. У роботах вітчизняних і зарубіжних учених [1–6] вирішення питань іскробезпечності здійснюється шляхом обмеження потужності навантаження, нейтралізацією реактивних параметрів у колах, застосуванням різних шунтів і обмежувачів напруги, швидким вимиканням кола під час аварійних режимів і іншими заходами. Проте повністю це завдання не вирішено, оскільки весь час актуальним є підвищення потужності іскробезпечного навантаження, тому є потреба в проведенні подальших робіт з удосконалення вибухобезпечності.

Мета роботи – вдосконалення засобів забезпечення іскробезпеки систем живлення індуктивних навантажень рудникового електрообладнання, як засобів забезпечення зниження аварій і травматизму у вугільних шахтах, небезпечних за газом, чим визначається актуальність цієї роботи.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Використовуючи схему однофазного випрямлення струму, індуктивне навантаження пропонується підключати до живильної лінії із застосуванням запропонованих запираючого 5 і шунтувального діодів 4 (рис. 1).

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА
НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

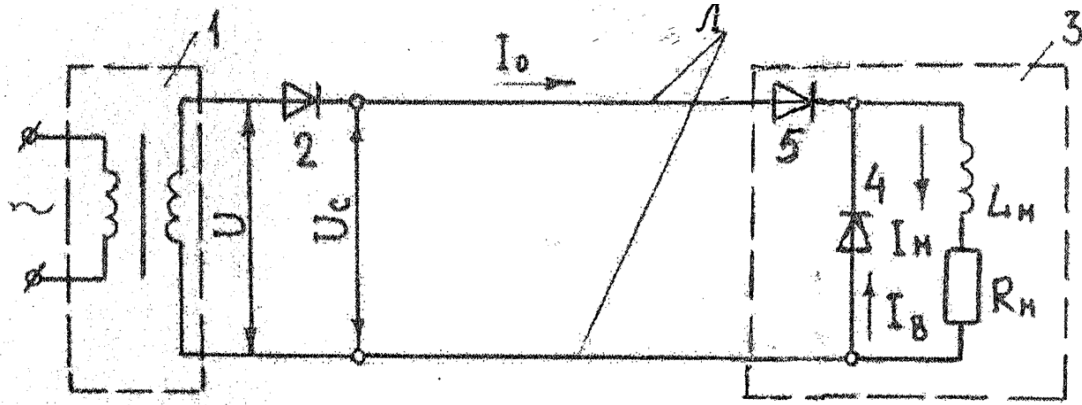


Рисунок 1 – Схема заміщення систем сигналізації, зв'язку або управління

Схему заміщення систем сигналізації, зв'язку або управління можна зобразити як поєднання трьох елементів: однофазного живильного трансформатора 1, індуктивно-активного навантаження 3 і двухпровідної лінії Л, що з'єднує трансформатор 1 (джерело живлення) та навантаження системи 3. Зазвичай у традиційних системах живлення здійснюється постійним струмом, тому у запропонованій схемі перетворення змінного струму в постійний забезпечено діодом 2 (рис. 1) [6, 7].

Вихідна напруга у системі є пульсуючою і її зображено синусоїдальними періодичними імпульсами з амплітудою U_M , як це показано на рис. 2, а.

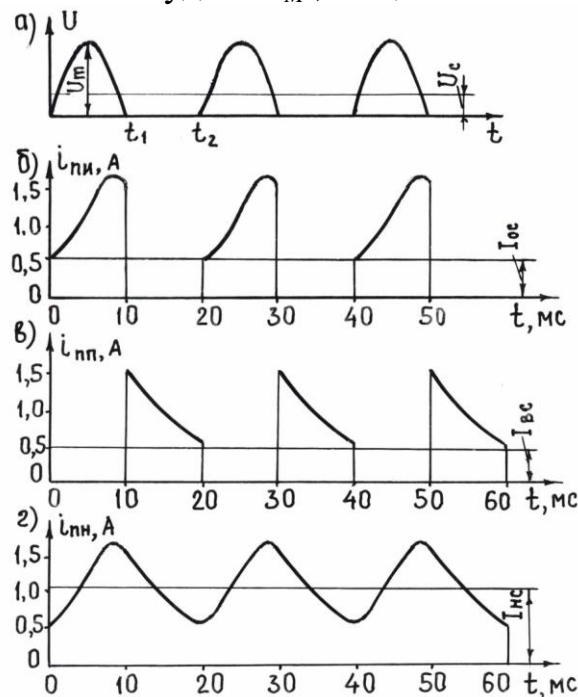


Рисунок 2 – Діаграма сталих миттєвих значень електричних параметрів схеми імпульсного живлення з однофазним випрямленням струму у разі діючої напруги $U=24$ В, індуктивності навантаження $L_H=0,1$ Гн, активного опору $R_H=10$ Ом: а – випрямлена напруга; б – струм у лінії; в – струм у колі шунтувального діода (струм паузи); г – струм у колі навантаження

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Після кожного імпульсу напруги утворюється пауза такої ж тривалості, як і імпульс напруги. Коли діє імпульс напруги, до навантаження по живильній лінії надходить імпульс струму i_{nu} через діод 5 (рис 2, б). При цьому у навантаженні наводиться ЕРС самоіндукції. Під час паузи струму у лінії немає, але в колі навантаження струм продовжує протікати і протягом паузи за рахунок дії ЕРС самоіндукції через шунтувальний діод 4 (рис. 2, в).

У позитивний напівперіод шунтувальний діод запертий позитивним імпульсом напруги, тому шунтування навантаження здійснюється лише в негативний напівперіод, тобто протягом пауз живильної напруги. При таких особливостях системи живлення можна визначити окремо струм у лінії протягом імпульсу напруги і струм у колі шунтувального діода протягом паузи, а струм у навантаженні – методом накладення, виходячи з того, що протягом імпульсу напруги у навантаженні протікає той же струм, що і в лінії, а протягом паузи - струм у шунтувальному колі, тому струм у лінії є безперервним пульсуючим (рис. 2, г).

У роботі визначено:

- закономірності сталого струму протягом N -го імпульсу (струму в лінії)

$$i_{Nu} = \frac{U_M}{Z} \left[\sin \varphi \frac{1}{1 - e^{-\delta \cdot \frac{T}{2}}} \cdot e^{-\delta \cdot t} + \sin(\omega \cdot t - \varphi) \right], \quad (1)$$

- сталого струму протягом N -ої паузи (струму в шунтувальному колі)

$$i_{Nn} = \frac{U_M}{Z} \sin \varphi \frac{1}{1 - e^{-\delta \cdot \frac{T}{2}}} \cdot e^{-\delta \cdot t}, \quad (2)$$

де U_M – амплітуда випрямленої напруги, В; Z – повний опір колу навантаження, Ом; φ – кут зсуву струму відносно напруги, рад; $\delta = \frac{R_H}{L_H}$ – коефіцієнт згасання кола, Ом/Гн; X_H – індуктивний опір кола, Ом; t – координата часу дії імпульсу в проміжку від 0 до 0,01с; T – період змінного струму; $\omega = 2\pi f$ – кутова частота; $t_2 = \frac{T}{2} = 0,01с$ – координата часу кінця паузи; $t_1 = \frac{T}{2} = 0,01с$ – координата часу кінця імпульсу.

Діаграми (рис. 2), ілюструють безперервність струму в колі навантаження, а також головну особливість схеми, що імпульси струму у лінії чергуються з паузами, протягом яких струму у лінії немає. Причому, коли немає випрямленої напруги, немає і струму в лінії.

Середні за період T значення струму в «лінії» (I_{lc}), струму в колі шунтувального діода (I_{ec}), а також струму навантаження (I_{nc}), визначено виразами:

$$I_{лс} = \frac{U}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot R_H} \cdot \frac{2 + m^2}{1 + m^2}; \quad I_{вс} = \frac{U}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot R_H} \cdot \frac{m^2}{1 + m^2}; \quad I_{нс} = \frac{\sqrt{2} \cdot U}{\pi \cdot R_H}, \quad (3)$$

де $m = \frac{X_H}{R_H}$ – відношення індуктивного опору навантаження до активного.

На рис. 2 показано також значення середньої напруги живлення (U_C), середнього струму в лінії (I_C), у колі шунтувального діоду (I_{BC}) та у колі навантаження (I_{HC}) як підтвердження вище наведеного аналізу.

Зі збільшенням індуктивного опору струм у лінії зменшується, а в шунтувальному колі збільшується, а середнє значення струму навантаження не залежить від індуктивності, як це видно з формули (3) і з рис. 2. Струм у лінії менше за струм навантаження і лише за $m = 0$, $L_H = 0$ струм у лінії дорівнює струму навантаження [8]. Таким чином, доведено, що у запропонованій схемі струм від ЕРС самоіндукції не протікає у лінії, а протікає тільки у колі шунтувального діода та навантаження, тому середнє значення струму у лінії менше, ніж у навантаженні, тоді як у традиційних схемах величина струму у лінії і навантаженні однакова [8]. У зв'язку з цим енергія іскріння при комутаціях у проводах запропонованої схеми нижче, ніж у традиційній схемі живлення постійним струмом, що було доведено експериментальними дослідженнями запалювальної здібності іскріння у вибуховій камері з вибуховою метано-повітряною сумішшю [9–11].

У наслідок особливостей імпульсного живлення під час комутацій в проводах лінії (як у разі нормального режиму, так і в разі коротких замикань) іскор розмикання, характерних для індуктивного навантаження, практично немає, а є лише іскри замикання. Це дозволяє обґрунтовувати більші мінімальні запалювальні струми в системі імпульсного живлення індуктивного навантаження, ніж у традиційній системі живлення постійним струмом і можливість удосконалення заходів забезпечення іскробезпечності в шахтах [7]. Співвідношення між середніми струмами у відносних величинах наведені на рис. 3. При необхідності визначення величин струмів у амперах треба відносне значення з рис. 3 помножити на величину номінального струму в амперах.

Іскробезпечну потужність у живильній лінії P_{II} визначають як добуток іскробезпечного струму і напруги живлення, а допустимий за умовами іскробезпечки середній струм навантаження - за умови, що середнє значення струму в лінії дорівнює розрахунковому іскробезпечному струму (I_{I6}):

$$I_{HC} = \frac{2I_{I6}}{1 + \left(\frac{R_H}{Z}\right)^2}. \quad (4)$$

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

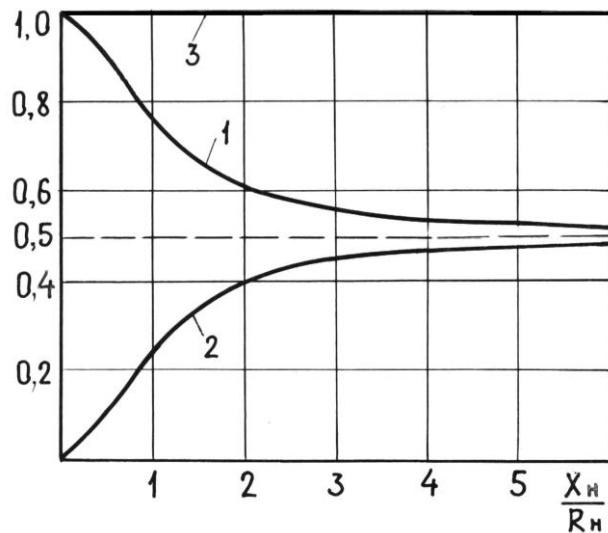


Рисунок 3 – Залежності відношення середнього струму в лінії (1), у колі шунтувального діода (2) до середнього струму в навантаженні (3) від величини X_H/R_H в системі імпульсного живлення з однофазним випрямленням:

$$1 - \frac{I_{lc}}{I_{nc}} = \frac{1 + m^2/2}{1 + m^2}; \quad 2 - \frac{I_{sc}}{I_{nc}} = \frac{m^2}{2 \cdot (1 + m^2)}; \quad 3 - \frac{I_{nc}}{I_{nc}} = 1$$

Допустима потужність (P_H) іскробезпечної системи живлення навантаження виражається як добуток напруги (U) і допустимого струму (I_{HC}) з урахуванням виразу (4):

$$P_H = \frac{2 \cdot U \cdot I_{Иб}}{1 + \left(\frac{R_H}{Z}\right)^2} = \frac{2 \cdot P_{И}}{1 + \left(\frac{R_H}{Z}\right)^2}. \quad (5)$$

У разі дуже великої індуктивності ($L_H \rightarrow \infty$) потужність у навантаженні майже у два рази більша від потужності в лінії. Це свідчить про те, що при такій іскробезпечній потужності у живильній лінії іскробезпечна потужність у навантаженні зростає адекватно майже у два рази.

Шунтувальний і запіральний діоди треба розглядати в комбінації як іскрозакисний елемент схеми і його параметри повинні задовольняти конструктивним вимогам ГОСТ 22782.5, щоб було неможливе їх пошкодження, а у разі їх пошкодження та виходу з ладу забезпечувалось автоматичне припинення живлення навантаження.

Доцільно підкреслити, що сферою застосування запропонованої системи імпульсного живлення з однофазним випрямленням струму можуть бути кола керування електроустановок і гірничих машин, системи зв'язку, сигналізації, телеконтролю та диспетчеризації, а також схеми керування магнітних пускачів, станцій керування і особливо вибухобезпечного електрообладнання з іскробезпечними колами, датчиків і приладдя, які за своїм призначенням повинні знаходитися під напругою у виробках з небезпечним вмістом метану та разом з тим при експлуатації не створювати небезпечних електричних розрядів, тобто не ство-

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

рювати вибухонебезпечних джерел запалювання вибухової метано-повітряної суміші у гірничих виробках.

ВИСНОВКИ. Доведено, що у запропонованій схемі живлення індуктивно-активних навантажень середнє значення струму у живильній лінії менше, ніж у навантаженні, завдяки ому, що струм від ЕРС самоіндукції протікає тільки у колі навантаження через шунтувальний діод і не протікає у живильній лінії, завдяки встановленому в ній запиральному діоду, що запирається під дією зворотної напруги живлення.

У системі імпульсного живлення енергія дугового розряду в іскрі знижується зі збільшенням відношення індуктивного опору кола до його активного опору, причому при всіх значеннях вказаного відношення більше 0,75 і інших рівних умовах енергія дугового розряду в разі іскріння в системі імпульсного живлення нижча, ніж в системі живлення постійним струмом.

У разі імпульсного живлення навантаження запалювальні струми вищі, ніж при традиційному живленні постійним струмом, і цим доведена можливість підвищення вибухобезпечності при застосуванні запропонованих вдосконалень систем живлення, а структурна побудова запропонованої схеми імпульсного живлення розкриває сутність вдосконалення таких засобів.

Отримані результати рекомендуються для реалізації організаціями і працівниками, які займаються забезпеченням вибухобезпечності систем електропостачання в шахтах, небезпечних за газом, та в інших підприємствах чи організаціях, у процесі діяльності яких створюються або виникають вибухонебезпечні суміші газів з повітрям.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кравченко В.С. Воспламеняющая способность электрического искрения. Ж. Электричество, 1952, № 9. – С. 21–27.
2. Льюис Б. и Эльбе Г. Горение и взрывы в газах – М.: Мир, 1968. – 592 с.
3. Искробезопасность электрических цепей / В.С. Кравченко, В.И. Серов, А.Т. Ерыгин, А.Е. Погорельский. – М.: Наука, 1976. – 230 с.
4. Коган Є.Г. Способы и средства обеспечения искробезопасности рудничного электрооборудования. – М.: Недра, 1998. – 150 с.
5. Взрывобезопасность горного оборудования / С.П. Ткачук, В.П. Колосюк, С.А. Ихно. – К.: Основа, 2000. – 695 с.
6. Импульсное питание электроустановок: энергосбережение и безопасность / В.П. Колосюк, А.В. Колосюк, В.В. Дорофиенко. – Донецк: ВИК, 2002. – 259 с.
7. Колосюк А.В. Обеспечение искробезопасности при импульсном питании индуктивных нагрузок рудничного электрооборудования / в кн. А.М. Брюханов, В.И. Бережинский, А.М. Мнухин и др. // Расследование и предотвращение аварий на угольных шахтах. Том 3. – Донецк: «Вебер», 2007. – С. 491–504.
8. Коптиков В.П., Колосюк А.В. Оценка величины воспламеняющих токов в искробезопасной схеме при импульсном питании индуктивных нагрузок // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: Сб. научных трудов МакНИИ. – Вып. 19. – Макеевка – Донбасс, 2007. – С. 209–214.

9. Колосюк А.В. Энергия дугового разряда в искробезопасной системе импульсного питания рудничного электрооборудования с однофазным выпрямлением тока // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: Сб. научных трудов МакНИИ. – Вып. 2(24). – Макеевка – Донбасс, 2009. – С. 71–84.

10. Колосюк А.В., Колосюк В.П. Забезпечення особливої вибухобезпеки систем електропостачання шахт, небезпечних за газом // Енергомеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2016. – Вип. 3/ 2016 (35). – С. 75–80.

11. Колосюк А.В., Колосюк В.П. Искробезопасность систем управления и автоматизации в производствах, опасных по взрывам газа. – К.: Новини Енергетики, № 3, 2016. – С. 16–24.

MEANS OF EXPLOSIVE SAFETY OF SIGNALING, COMMUNICATION AND MANAGEMENT SYSTEMS FOR MINES, DANGEROUS FOR GAS

V. Kolosyuk, V. Chebenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine.

E-mail: bgd@kdu.edu.ua

A. Kolosyuk

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

vul. Nebesnoyi Sotni, 14, Kramatorsk, 84333, Ukraine.

E-mail: wwahle@rambler.ru

Purpose. Improvement of the means of ensuring the intrinsic safety of power supply systems for inductive loads of mine electrical equipment as a means of ensuring the reduction of accidents and injuries in coal mines that are hazardous to gas. **Methodology.** We have applied the simulation of the scheme of replacement of alarm systems, communication or control to reduce the number of explosions in mines with the possibility of gas explosion. **Results.** In the pulsed power system, the energy of the arc discharge in the spark is reduced with an increase in the ratio of the inductive resistance of the circle to its active resistance, and at all values of this ratio greater than 0.75 and other equal conditions, the energy of the arc discharge in the case of sparking in the system of impulse power is lower than in the system DC power supply. **Originality.** For the first time, it is proved that in the proposed scheme of inductive-active loads, the average value of current in the supply line is less than that of the load, owing to the fact that the current from the EPO self-induction proceeds only in the circle of loading through the bypass diode and does not flow through the supply line due to the installed in it locked diode, which is locked under the action of a reverse supply voltage. **Practical value.** We The results obtained are recommended for the implementation of organizations and employees involved in the provision of explosion-proof systems for supplying electricity in mines that are hazardous to gas and in other enterprises or organizations in the course of which explosive dangerous gas mixtures are created or arise. References 11, tables 0, figures 3.

Key words: spark protection, mine, pulse power circuit, diode alarm system, gas.

REFERENCES

1. Kravchenko, V. (1952), "Inflammability of electrical sparking", *Jelektrichestvo*, no. 9, pp.21-27.
2. Lewis, B., Elbe, G. (1968), *Gorenie i vzryvy v gazah*, [Burning and explosions in gases], Nauka, Moscow, Russia.
3. Kravchenko, V., Serov, V., Erygin, A., Pogorel'skij, A. (1976), *Iskrobezopasnost' elektricheskikh cepej*, [Intrinsic safety of electrical circuits], Nauka, Moscow, Russia.
4. Kogan, Ye. (1998), *Sposoby i sredstva obespechenija iskrobezopasnosti rudnichnogo jeletrooborudovanija* [Methods and means to ensure the intrinsic safety of mine electrical equipment], Nedra, Moscow, Russia.
5. Tkachuk, S., Kolosyuk, V., Ihno, S. (2000) *Vzryvobezopasnost' gornogo oborudovanija* [Explosion safety of mining equipment], Osnova, Kyiv, Ukraine.
6. Kolosyuk, V., Kolosyuk, A., Dorofienko, V. (2002), *Impul'snoe pitanie jelektroustanovok: jenergosberezhenie i bezopasnost'* [Pulse power supply for electrical installations: energy saving and safety], VIK, Donetsk, Ukraine.
7. Kolosyuk, A. (2007), "Provision of intrinsic safety for pulsed power supply of inductive loads of mine electric equipment", *Rassledovanie ipredotvrashhenie avarij na ugol'nih shahtah*, vol.3, pp. 491-504.
8. Koptykov, V., Kolosyuk, A. (2007), "Estimation of the magnitude of flammable currents in an intrinsically safe circuit with a pulsed supply of inductive loads", *Sposoby i sredstva sozdaniya bezopasnyh i zdorovyh ruslovij truda v ugol'nyh shahtah: Sb. nauchnih trudov MakNII*, vol. 19, pp. 209-214.
9. Kolosyuk, A. (2009), "Energy of arc discharge in an intrinsically safe system of pulsed supply of mine electric equipment with single-phase rectification of current", *Sposoby i sredstva sozdaniya bezopasnyh i zdorovyh ruslovij truda v ugol'nyh shahtah: Sb. nauchnih trudov MakNII*, vol. 24, no. 2, pp. 71-84.
10. Kolosyuk, V., Kolosyuk, A. (2016), "Providing a special explosion safety system for power of mines, hazardous gas", *Enerhomekhanichni yi enerhozberihayuchi systemy. Shchokvartal'nyy naukovo-vyrobnychy zhurnal* vol. 3, no. 35, pp. 75–80.
11. Kolosyuk, V., Kolosyuk, A. (2016), "Intrinsic safety of control systems and automation in industries dangerous to gas explosions", *Novyny Enerhetyky*, no. 35, pp. 16-24.

Стаття надійшла 13.12.2017.