

УДК.621.314.6

П.В. КОРМИЛЬЦЕВ¹, И.А. БЕРШАДСКИЙ² (канд. техн. наук, доц.)¹ООО «Софит-люкс» г. Донецк²Государственное высшее учебное заведение

«Донецкий национальный технический университет»

Kormiltsev.Pavel@dn.sofit.com.ua

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ИСКРОБЕЗОПАСНОЙ МОЩНОСТИ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ПИТАНИИ

Предложена новая концепция стационарного искробезопасного освещения взрывоопасных сред. Проведен анализ потенциальных возможностей системы искробезопасного импульсного питания для светодиодного освещения шахт и взрывоопасных помещений. Определены длительность импульсов и длительность паузы между импульсами, а также определены максимально допустимые параметры питающей линии для условий искробезопасного питания.

Ключевые слова: искробезопасность, светильник, светодиод, источник питания, световой поток, мощность, импульс, индуктивность, электрическая дуга, минимальная воспламеняющая энергия, питающая линия.

Постановка проблемы. На сегодняшний день, стационарное освещение во взрывоопасных зонах характеризуется серьезным отставанием от современных требований к взрывобезопасным осветительным приборам (ВОП), поэтому принимаются попытки совершенствования ВОП основываясь на передовые разработки [1]. Находящиеся в эксплуатации ВОП характеризуются низкими показателями по удельным массогабаритным характеристикам, надежности, неудобны в обслуживании, не выполняют целого ряда функциональных требований. Они имеют низкие светотехнические показатели, требуют существенных затрат на организацию сетей с использованием силового бронированного кабеля, взрывозащищенных источников питания и распределительных коробок большого веса и габаритов, но, главное, они не выполняют в полном объеме требований Правил безопасности [2] и норм по взрывозащите электрооборудования, применяемого в шахте. Для функционирования процессов добычи в нормальном технологическом и аварийном режимах подземные выработки шахты должны быть оборудованы осветительными приборами, обеспечивающими нормированный уровень освещенности [3]. Так же немаловажным критерием является высокая стоимость взрывобезопасных корпусов ВОП, в сравнении со стандартными светильниками повышенной степени защиты IP65.

Анализ предыдущих исследований и публикаций. В работе [4] подробно рассмотрена функциональная схема интеллектуального источника питания, который будет оперативно реагировать на изменение параметров питающей линии и нагрузки, а так же распознавать аварийные режимы на ранних стадиях, не допуская возникновения искры во взрывоопасной зоне. Очевидна перспективность работ в данном направлении. Поиск решений по определению параметров и возможностей реализации блоков функциональной схемы, и устройства интеллектуального источника питания целиком. Одним из важнейших вопросов в данной проблеме, является тип и параметры сигнала питающего нагрузку, который будет генерировать интеллектуальный источник питания. Согласно работе [6] наиболее перспективным типом питающего сигнала является короткий импульс, который должен чередоваться с паузой, чтобы исключить возможность подпитки энергии дуги следующим импульсом. В работе [5] рассмотрен вариант питания нагрузки однофазным выпрямленным импульсом тока, при наличии значительной индуктивности в нагрузке мы можем получить стабильный, выпрямленный ток на нагрузке. Данная система питания имеет ограниченное применение, так как не каждая нагрузка имеет значительную индуктивность $L \gg R$. А вводить в схему нагрузки дополнительные индуктивные элементы, не целесообразно с точки зрения искробезопасности. Так как мы добавляя в нагрузку индуктивный элемент увеличиваем энергию которая выделится в дугу. Следовательно, наиболее перспективным типом питающих импульсов является, прямоугольный импульс с заданной паузой.

Формулирование цели статьи. Цель статьи состоит в том, чтобы определить параметры (длительность и пауза) прямоугольных импульсов для условий искробезопасности. Рассмотреть возможность питания данными импульсами системы стационарного, шахтного освещения, на базе светодиодных источников света.

Изложение основного материала. Исходя из выше обозначенной проблемы, очевидным является необходимость разработки системы искробезопасного освещения на базе низковольтного (24В), искробезопасного источника питания, с использованием светодиодных (LED) источников света. Внедряя данную технологию, мы получим следующие плюсы:

- более надежную и безопасную систему освещения взрывоопасных зон;
- возможность добиться необходимой освещенности;
- простоту в эксплуатации;
- существенно меньшие затраты на внедрение и эксплуатацию;
- экономия электроэнергии.

©Кормильцев П.В. Бершадский И.А. 2013

Исходя из требований к стационарному шахтному освещению, нам необходимо разработать систему искробезопасного питания на длинах линий от 100 до 1000 м. Чтобы реализовать данную систему, нужно принять во внимание все передовые разработки в области искробезопасных источников питания [4]. На данный момент самые прогрессивные искробезопасные системы питания позволяют передавать во взрывоопасную среду, мощность до 8Вт на длине кабельной линии до 1000м. Несмотря на небольшую мощность светодиодных источников света, нам необходимо добиться большей искробезопасной мощности на длинах кабеля до 1000м, а так же обеспечить стабильное напряжение питания, с учетом потерь напряжения на длинных (более 100м.) кабельных линиях. Питание светодиодных источников света (LED) осуществляется стабильным, постоянным напряжением одного кристалла от 3 до 3,2В (в зависимости от типа кристалла). Набирая последовательно несколько кристаллов, мы выходим на стандартные классы напряжений питания 12В или 24В.

Разработаем светодиодный аналог люминесцентному светильнику с лампой 40Вт которая имеет световой поток 2000лм. Принимаем к разработке кристаллы американского производителя CREE с параметрами : световой поток 7 лм, рабочий ток 19,44 мА, рабочее напряжение 3В. Мощность кристалла определим выражением

$$P = UI \quad (1)$$

где U – напряжение кристалла

I – ток кристалла.

Отсюда получаем мощность одного кристалла $P = 3 * 19,44^{-3} = 0,058$ Вт. Исходя из светового потока в 2000 лм, нам необходимо минимум 286 кристаллов.

Производитель изготавливает блоки кристаллов набранные параллельно по 36 шт. Такой блок имеет параметры: напряжение 3В, ток 700 мА, световой поток 252 лм. Соединив последовательно 8 таких блоков, мы получаем светодиодный аналог люминесцентного светильника с лампой 40 Вт. Итоговые параметры LED светильника таковы: световой поток 2016 лм, рабочее напряжение 24 В, рабочий ток 700 мА, мощность согласно выражению (1) $P = 24 * 700^{-3} = 16,8$ Вт.

В работе [5] обоснованна эффективность питания нагрузок однофазными выпрямленными импульсами в сравнении с постоянным током. Такая методика существенно увеличивает искробезопасную мощность, передаваемую во взрывоопасную среду. Однако данная система питания возможна только для нагрузок со значительной индуктивностью. В нашем случае, в нагрузке индуктивность практически отсутствует, что сводит на нет возможность питания выпрямленным напряжением. Но раскрывает перспективы питания прямоугольными импульсами с заданной длительностью. В работе [6] было глубоко, экспериментальным путем, изучена зависимость частоты питающего напряжения от энергии разряда дуги. Согласно опытным данным при увеличении частоты питающего напряжения уменьшается энергия, выделяемая цепью (при той же величине питающего напряжения). Однако, при достижении определенной частоты искробезопасность нарушается. Происходит это потому, что плазма разряда не успевает деионизироваться, и разряд сохраняется при следующей половине периода, что приводит к увеличению выделяемой энергии и воспламенению взрывоопасной среды. Следовательно, чтобы увеличить искробезопасную мощность при повышении частоты питающего напряжения, необходимо сохранить условия для деионизации плазмы. А значит обеспечить необходимое время паузы между питающими импульсами, чтобы исключить возможность подпитки дуги за счет мощности следующего импульса. На рис. 1 приведены данные полученные опытным путем. При напряжении питания $E = 300$ В. Исходя из приведенных графиков можно сделать вывод, что приняв график для тока 0,75 А мы выполним условия искробезопасности при условии, длительность прямоугольного импульса $\tau_1 = 70$ мкс, а длительность межимпульсовой паузы $T = 25$ мкс. Данные опыты проводились с чисто активной нагрузкой и без учета индуктивности питающей цепи. Поэтому необходимо произвести расчеты энергии для нашей системы, и проверить результаты на искробезопасность. Принимаем индуктивность питающей цепи 1мкГн/м., и исходя из выше определенных параметров рассчитаем энергию выделяющуюся в дуге при аварийных режимах. В [7] приведено выражение для определения энергии :

$$W_{\partial} = W_c + W_m = L \frac{I^2}{2} (1 + 2k \frac{\tau_1}{\tau}) \quad (2)$$

где $W_c = \int_0^{\tau_1} R(I - i)^2 dt = LI^2 k \frac{\tau_1}{\tau}$ – энергия, поступающая в искру при начальном значении тока;

$W_m = \frac{LI^2}{2}$ – энергия, запасенная в магнитном поле отключаемой цепи;

L – индуктивность цепи, принимаем 1 мкГн на погонный метр;

k – коэффициент, значение которого определено в [8] принимаем максимальное значение $k = 0,17$;

τ_1 – длительность дугового разряда;

$\tau = \frac{L}{R}$ – постоянная времени отключаемой цепи;

R – активное сопротивление цепи. С учетом стабилизирующих резисторов, активное сопротивление цепи принимаем - 200Ом.

По полученным расчетным данным построим ряд зависимостей приведенных на рис. 2 и 3.

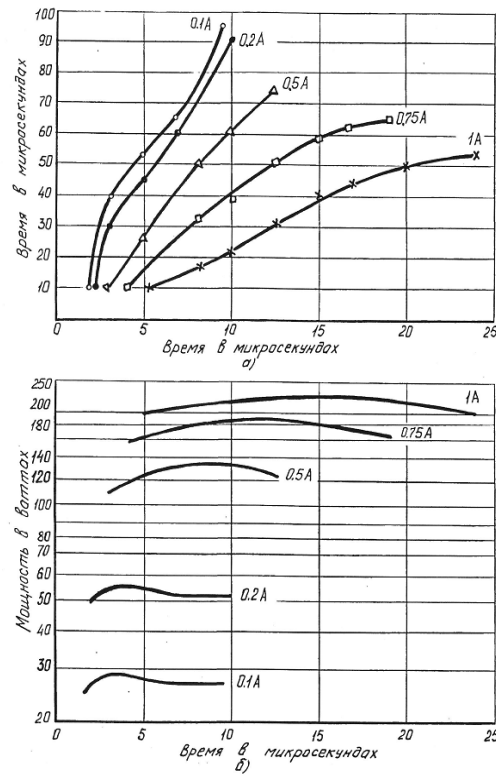


Рисунок 1. Зависимость длительности импульсов (а) и искробезопасной мощности (б) цепи импульсного тока от длительности паузы между импульсам.

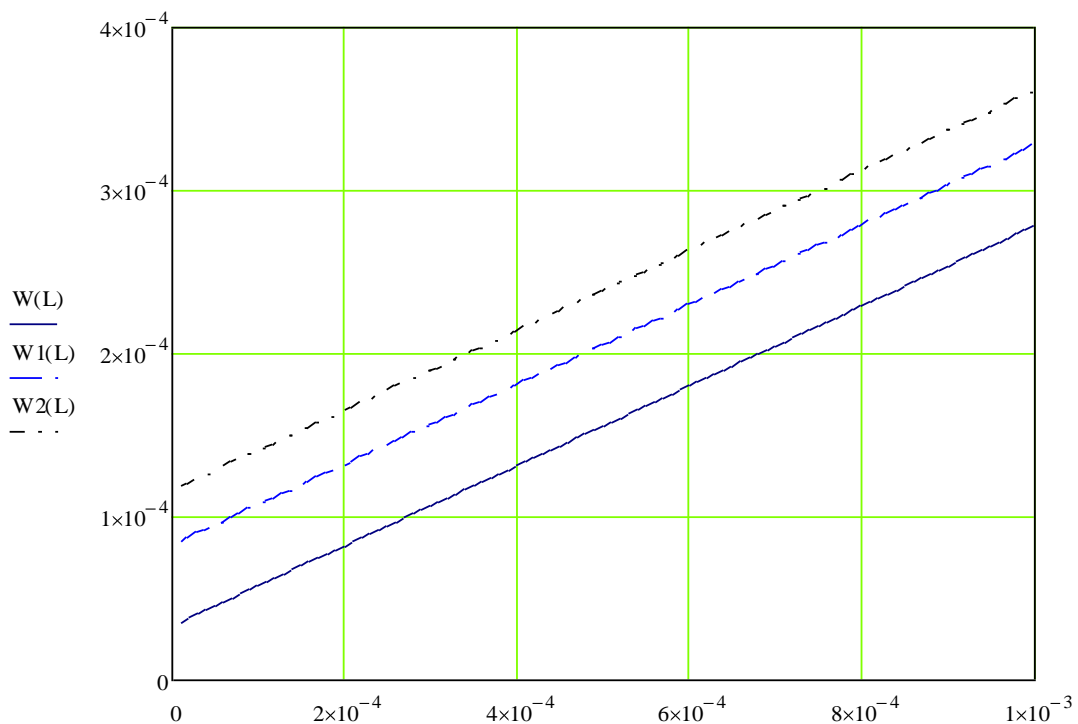


Рисунок 2 – Зависимость энергии W от индуктивности питающей цепи L при разных длительностях импульса τ_1 .

Из графика на рис. 2 можно сделать вывод, что при увеличении длительности питающего импульса τ_1 растет и энергия, которая может выделиться в дуге. Так же, очевидно что при увеличении длины, питающей кабельной линии, энергия увеличивается за счет индуктивной энергии запасенной в линии. На рис. 2 кривой $W(L)$ соответствует длительности импульса 20 мкс, а кривым $W1(L)$ и $W2(L)$ 50 мкс и 70 мкс соответственно. Для определения оптимальных параметров, необходимо отталкиваться от самого критичного случая, наибольшей длины кабельной линии, а значит исследовать характеристики при индуктивности равной 1000 мкГн. Энергия при этой индуктивности будет равна 0,27 мДж, 0,33 мДж, 0,36 мДж при длительностях импульса 20 мкс, 50 мкс и 70 мкс соответственно. Для определения параметров питающего импульса необходимо исходить из минимальных воспламеняющих параметров цепи. Данные о минимальной воспламеняющей энергии приведены в [7] рис. 4. Так, например, при длительности $\tau_1 = 20\text{мкс}$ мы имеем энергию $W=0,27\text{мДж}$, на графике мы попадаем в точку для которой сохраняются условия искробезопасности, не зависимо от скорости размыкания контактов. Сопоставив аналогичным образом энергию при импульсах в 50 мкс и 70 мкс, мы попадаем в точки для которых так же сохраняются условия искробезопасности не зависимо от скорости размыкания контактов.

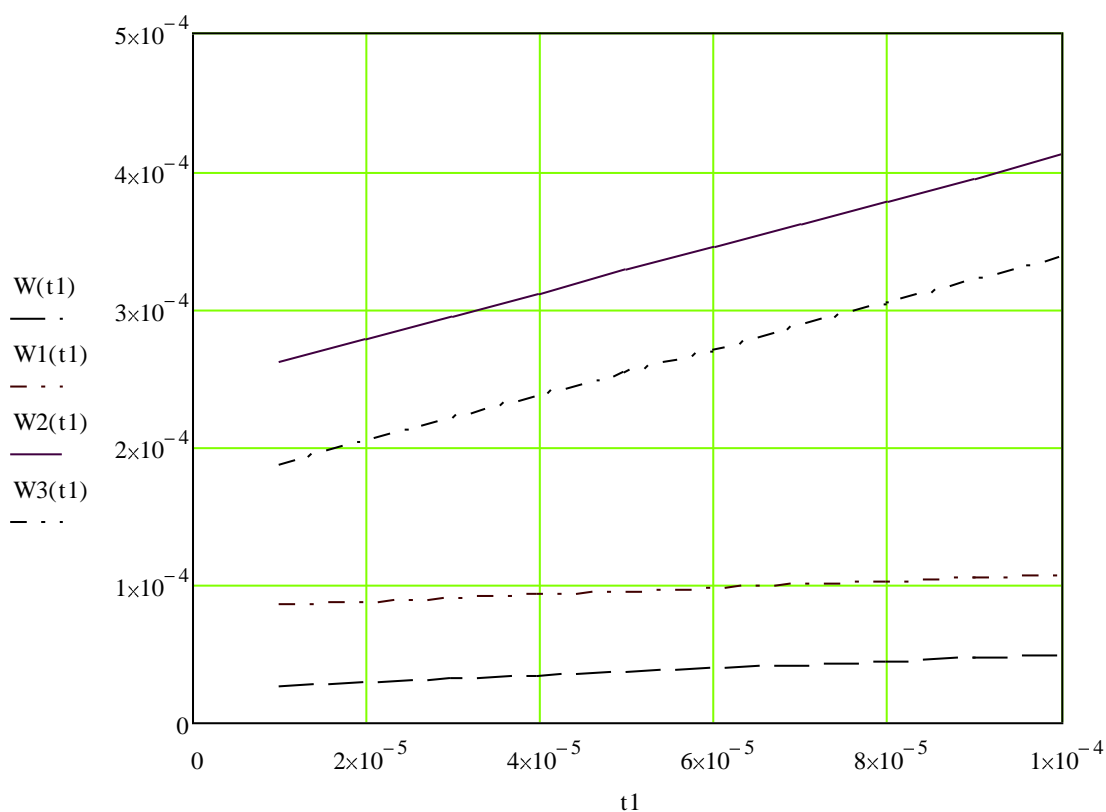


Рисунок 3 – Зависимость энергии W от длительности импульса τ_1 при разных индуктивности питающей цепи L .

Питание кристаллов LED не допустимо высокочастотным напряжением, частые переходные процессы существенно снизят срок службы кристаллов. Поэтому необходимо осуществлять питание только стабильным постоянным напряжением. Принимая во внимание то, что для достижения условий искробезопасности необходимо делать паузу между импульсами не менее 25 мкс (для наших параметров нагрузки), целесообразно подавать питающие импульсы несколькими, парами проводов. Идея состоит в том, что когда на одной паре проводов, заданное время, держится питающий импульс, вторая находится не под напряжением заданное паузой время. При одинаковых временных промежутках импульса и паузы, например $\tau_1 = 50\text{мкс}$ и $T = 50\text{мкс}$, нам будет достаточно 2-е пары питающих проводов. В перспективе будущих исследований время паузы, возможно, необходимо будет значительно больше, времени подачи импульса, например $\tau_1 = 20\text{мкс}$ и $T = 60\text{мкс}$. В таких случаях необходимо применять 3-и и более независимых пар проводов. Управлять подачей импульсов и выдерживать необходимые паузы будет специальная логика, интеллектуального искробезопасного источника питания. Помимо этого, этот прибор должен обеспечить искробезопасность системы кабель – нагрузка при: коротком замыкании, нарушении изоляции, замыкании между парами проводов, и других аварийных режимах.

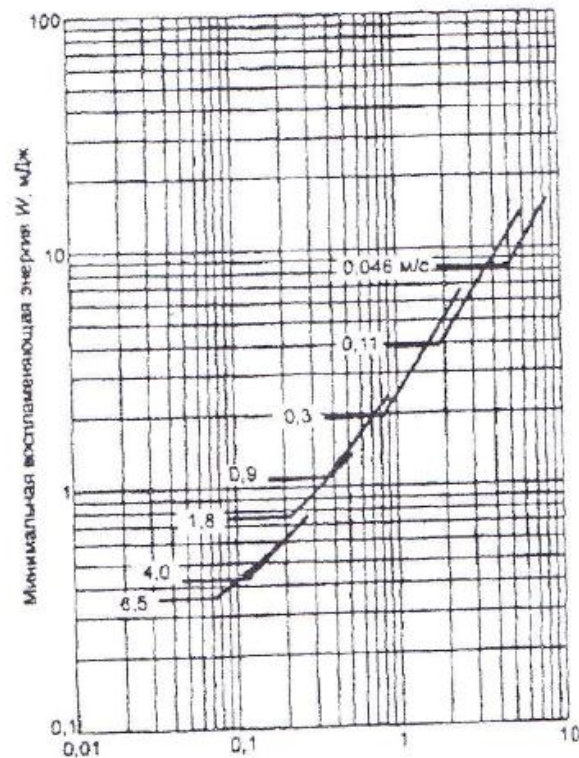


Рисунок 4 – Залежність мінімальної воспламеняючої енергії W від тривалості розряду T і швидкості розмикання контактів (указанні цифрами на графіку).

Выводы. 1. Обоснована ідея імпульсного іскробезопасного живлення світлодіодних світильників на довжинах лінії до 1000 м. Очевидна перспектива подальших розробок в області живлення прямокутними імпульсами з метою збільшення іскробезопасної потужності і довжин живлячих ліній.

2. Визначені параметри іскробезопасної системи освітлення: світловий потік 2016 лм, робоче напруга 24 В, робочий ток 700 мА, потужність 16,8 Вт, тривалість прямокутного живлячого імпульсу 20-70 мкс, пауза між живлячими імпульсами (виходячи з умов деіонізації плазми середовища) не менше 25 мкс.

3. Застосовуючи дану систему живлення очевидна можливість створення іскробезопасних систем стаціонарного шахтного освітлення.

4. Для підтвердження іскробезопасності запропонованої системи необхідно випробувати її реальну модель в камері з вибухоопасним газом.

5. Для визначення оптимальних параметрів імпульсного живлення необхідно розрахунок по моделям розрядів розмикання.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыдов В. В. Создание шахтных стационарных осветительных приборов повышенной эффективности и безопасности / В. В. Давыдов, В. М. Листвинский, Л. Р. Гутер // Сборник трудов института Гипроуглеавтоматизация. - М., 2000. - С. 16-29.
2. Правила безопасности в угольных шахтах: ПБ 05-618-03. - М., 2004. - С. 187-192.
3. Айзенберг Ю. Б. Справочная книга по светотехнике / Ю. Б. Айзенберг. — М.: Энергоиздат, 1995. — С. 335-346.
4. Кормильцев П.В. Интеллектуальный, искробезопасный источник питания с изменяющимися уставками и постоянным контролем параметров сети. / П.В. Кормильцев, Бершадский И.А. // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции [«Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2012»]. – 2012. - Т. 5., Выпуск 2. – ЦИТ: 212-481. - С. 63-68.
5. Колосюк А.В. Энергия дугового разряда в искробезопасной системе импульсного питания рудничного электрооборудования с однофазным выпрямлением тока / А.В. Колосюк, В.П. Колосюк // сборник Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. - 2009. - 2(24).
6. Лаппо П.В. Способы и средства обеспечения искробезопасности энергоемкой шахтной геофизической аппаратуры повышенного напряжения: автореф. диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / П.В. Лаппо. – Макеевка, 1985. - С. 125-139.

7. Родштейн Л.А. Электрические аппараты низкого напряжения / Л.А. Родштейн. – М.: Энергия, 1964. – 363 с.
8. Электрооборудование взрывозащищенное. Часть II. Искробезопасная электрическая цепь: ГОСТ Р 51330.10-99(МЭК 60079-11-99). – Москва: ИПК Изд-во стандартов, 2000. – 117 с.

REFERENCE

1. Davidov V.V., Listvinskiy V.M., Guter L.R. Creation of mine stationary illuminants of the increased efficiency and safety. Sbornik trudov instituta Giproeugleavtomatizacia. 2000; 16-29.
2. Pravila bezopasnosti v ugolnih shahtah [Safety rules for coal mines]. PB 05-618-03 Moscow 2004; 187-192p.
3. Aizenberg U.B. Spravochnaja kniga po svetotehnike [The reference book on lighting engineering]. Moscow. Energoatomizdat 1995; 335-346p.
4. Kormiltsev P.V. The intelligent, intrinsically safe power supply with changing settings and continuous control of parameters of a network. Sbornik nauchnyh trudov SWorld. 2012;2(5): 63-68p.
5. Kolosjuk A.V., Kolosjuk V.P. Energy of the arc category in intrinsically safe system of a pulse food of miner electric equipment with single-phase straightening of current. Sbornik sposoby i sredstva sozdaniya bezopasnyh i zdorovyh uslovij truda v ugol'nyh shahtah. 2009; 2(24).
6. Lappo P.V. Ways and means of ensuring of an Intrinsic safety of the power-intensive mine geophysical equipment of the increased tension. Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk. 1985; 125-139p.
7. Rodshtejn L.A. Elektricheskie apparaty nizkogo naprjazhenija [Electric devices of a low voltage]. Moscow. Energija 1964; 363p.
8. GOST Р 51330.10 – 99. *Elektrooborudovanie vzruvozaschischennoe, Chast 11. Iskrobezopasnaya elektricheskaya tsep «i»* [Explosion-proof electric equipment, Part 11. Intrinsically safe electrical circuit «i»]. - [Vved. c 01.01.2001]. – М.: Gosstandart Rossii, 2000. 118 p.

Надійшла до редакції 13.03.2013

Рецензент: О.П. Ковальов

П.В. КОРМИЛЬЦЕВ¹, І. А. БЕРШАДСЬКИЙ²

¹ ТОВ «Софіт-люкс» м. Донецьк

² Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет»

Оцінка можливостей підвищення іскробезпечної потужності при імпульсному живленні. Запропонована нова концепція стаціонарного іскробезпечного освітлення вибухонебезпечних середовищ. Проведено аналіз потенціальних можливостей системи іскробезпечного імпульсного живлення для світлодіодного освітлення шахт і вибухонебезпечних приміщень. Визначені тривалість імпульсу та тривалість паузи між імпульсами, а також визначені максимально допустимі параметри живлючої мережі для вимог іскробезпечного живлення.

Ключові слова: іскробезпека, світильні, світлодіод, джерело живлення, світловий потік, потужність, імпульс, індуктивність, електрична дуга, мінімальна запалювальна енергія, живляча мережа.

P. KORMILTSEV¹, I. BERSHADSKY²

¹ Ltd “Sofit-Lux” Donetsk

² State Institution of Higher Education “Donetsk National Technical University”

Estimation of Possibility of Increase of Intrinsic Safety Power at Impulsive Feed. New conception of stationary Intrinsic safety illumination of explosive environments is offered. The analysis of potential possibilities of the system of Intrinsic safety is conducted for light-emitting-diode illumination of mines. Duration of impulses and duration of the pause between impulses is defined. Besides, we stated maximum possible parameters of feed-in line.

Key words: intrinsic safety, lamp, light-emitting diode, source of feed, light stream, power, impulse, inductance, voltaic arc, minimum igniting energy, feed-in line.