

**И.А. БЕРШАДСКИЙ**, д-р техн. наук, доц., проф. каф., ДВУЗ «ДонНТУ», Донецк

## ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСКРОБЕЗОПАСНОГО СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

В статье проведен анализ системы взрывозащищенного освещения для участка шахтной выработки длиной 100 м, научно обосновано определение параметров искробезопасного блока питания, количества и мощности светодиодных светильников, рабочего напряжения, допустимой длительности существования искрового разряда, сечения и длины питающего кабеля с учетом максимума энергии искрового разряда в электрической цепи и ограничений по потерям напряжения на участке заданной длины. Предложено выбирать максимальную мощность светодиодных светильников, основываясь на защитной функции динамической искрозащиты по ограничению длительности и энергии разряда, в результате чего ток в рабочем или аварийном режиме не может превышать по условиям взрывобезопасности.

**Ключевые слова:** искробезопасность, светодиодный светильник, блок питания, энергия разряда, питающая линия, напряжение

**Постановка задачи.** Анализ причин травматизма на угольных шахтах показал, что большую часть травм и смертей вызывает возгорание метановоздушной смеси. Согласно [1] источником воспламенения метановоздушной смеси на 45,1% является искрение в кабелях и электрооборудовании. Следовательно, обеспечение искробезопасного питания электроустановок является одним из самых важных вопросов в проблеме снижения травматизма и смертности на шахтах Украины. Осуществление нормального рабочего процесса неразрывно связано с качественным освещением рабочих зон в рамках заданной освещенности [2]. Особенно важно сохранить освещенность в аварийных ситуациях для обеспечения эвакуации рабочего персонала.

В настоящее время на предприятиях с взрывоопасной атмосферой, в особенности в условиях подземных горных выработок шахт, уровень осветительной техники характеризуется значительным отставанием от современных требований, предъявляемых к взрывозащищенному электрооборудованию и к современным осветительным приборам (ОП).

Неоднократно предпринимались попытки их совершенствования на базе эффективных технических решений, что относится, в частности, к головным искробезопасным светильникам [3]. Однако парк

© И.А. Бершадский, 2014

шахтного осветительного оборудования стационарного и локального освещения по-прежнему не имеет осветительных приборов, уровень взрывозащиты которых выше рудничного взрывозащищенного исполнения



Рис. 1 - Взрывозащищенный светодиодный светильник серии EV-1050 (установленная мощность  $P_y = 16$  Вт)

Безопасность применения таких ОП основывается, как и в случае любого взрывозащищенного электрооборудования, на обязательном применении автоматической газовой защиты, отключающей от сети все электрооборудование, в том числе и ОП, имеющие уровень РВ и ниже [4]. На многих горно-добывающих предприятиях применение ОП не допускается без выполнения специальных проектных решений и повышенных мер безопасности.

Основываясь на вышеперечисленных факторах, очевидной является перспективность разработок искробезопасных шахтных осветительных систем, имеющих уровень взрывозащиты РО и включающих в себя: искробезопасные блоки питания (ИБП), кабельные трассы, светодиодные (LED) светильники.

### Обзор предыдущих исследований и публикаций.

Следует учесть, что в настоящее время находят применение взрывозащищенные светодиодные светильники, имеющие, однако, вид взрывозащиты d - взрывонепроницаемая оболочка со всеми присущими ей недостатками [4]. К такого рода светильникам можно отнести, в

ISSN 2224-0349. Вісник НТУ «ХПИ». 2014. № 56 (1098) 23

частности, EV-1050 (рис. 1), EV-2100, EWE-LED (Россия), EV 35 UD LED (США), Ватра ЛСР-01-16-033 (Украина) и др.

Как описано в [2, 5] наиболее эффективным методом достижения искробезопасности светильников является применение энергоэффективных светодиодных технологий (LED), а также питание LED светильников от искробезопасного источника, обеспечивающего динамическую искрозащиту взрывозащищенного электрооборудования, применяемого на предприятиях со взрывоопасной атмосферой.

Динамическая искрозащита не ограничивает мощность цепи в номинальном режиме, а срабатывает по сигналу датчика начала разряда и лимитирует энергию, поступающую из элементов цепи в разряд, только в момент аварийной коммутации за счет сокращения времени ее выделения. Это позволяет в номинальном режиме работы использовать мощность для рудничного электрооборудования, значительно превышающую допустимую при статических схемах искрозащиты [5, 6].

Исследование параметров такой защиты на основе существующих искробезопасных блоков питания для цифровых систем управления и диспетчеризации ИПИ-24-3 (ИПИ-12-6), а также источников питания постоянного тока АГАТ ВН-24.30 приведено в [6].

Полученные результаты показывают, что для первого типа блоков питания с учетом коэффициента искробезопасности по силе тока  $K_i = 1,5$  ток в цепи перед размыканием составляет  $I = 4,95$  А, а напряжение источника  $U_0 = 26,4$  В. Безопасные параметры в результате тестирования: допустимая индуктивность внешней цепи  $L = 55$  мкГн, длительность разряда  $T_p = 17,3$  мкс (колеблется в пределах 17..26 мкс), энергия разряда индуктивной цепи  $W_p = 646$  мкДж, опасная скорость размыкания цепи  $v = 6,5$  м/с.

Для второго типа источников питания с учетом коэффициента искробезопасности по силе тока  $K_i = 1,5$  при том же токе и скорости размыкания цепи в цепи перед размыканием и напряжением источника  $U_0 = 26,4$  В безопасные параметры несколько хуже: допустимая индуктивность внешней цепи  $L = 30$  мкГн, длительность разряда  $T_p = 102$  мкс, энергия разряда индуктивной цепи  $W_p = 487$  мкДж.

Указанные диапазоны работы возможных искробезопасных блоков питания и защиты для светодиодных светильников необходимо оценить с точки зрения научно обоснованной методики выбора предельных параметров искробезопасного освещения.

**Формулирование цели статьи.** Разработать научно обоснованную методику определения параметров (количество светильников и их суммарная электрическая нагрузка, мощность и напряжение ИБП, ко-

личество ИБП, допустимая длительность существования искрового разряда, сечение и длина питающего кабеля) системы стационарного и локального освещения участка шахтной проходки длиной 100 м.

**Изложение основного материала статьи.** Основным фактором, который способствует развитию процесса горения и взрыва взрывоопасной среды является воспламеняющая способность электрической искры, появляющейся при коммутации электросети с реактивными элементами. Благодаря тому, что физическая природа искрового разряда и воспламенения связана с протеканием большого количества физико-химических процессов [7], определение критериев воспламенения является весьма сложной и актуальной задачей. В общем случае требуется исследование уравнений переходных процессов в электрических системах, приводящих к возникновению искровых разрядов. Необходимо смоделировать возникновение и поведение искрового разряда и распространение поджигающего фронта разряда. И, наконец, - исследовать распространение пламени в самой среде с учетом ее физико-химических свойств. Решению этих задач посвящены работы [6, 7], что использовано в данной статье при определении минимальной воспламеняющей энергии разряда в функции его продолжительности.

Величина энергии в разряде для простой индуктивной цепи с учетом допущения о линейном характере убывания тока может быть определена по уравнению В.С. Кравченко [8]:

$$W_p = (I - I_1) \cdot (U + 2I_1 R) \cdot T_p / 6 + L \cdot (I^2 - I_1^2) / 2, \quad (1)$$

где  $W_p$  – энергия в разряде;  $I$  – ток в цепи перед размыканием;  $I_1$  – ток обрыва дуги;  $U$  – напряжение источника питания;  $R$ ,  $L$  – параметры электрической цепи.

Ток обрыва дуги  $I_1$  – неизвестная величина, и способ ее определения может быть различным. Он зависит от материала контактов и параметров разрядной цепи. В некоторых случаях ток обрыва может быть определен при анализе переходного процесса в размыкаемой цепи. В ГОСТ Р 51330.10-99 указано, что, если фактическое значение тока обрыва неизвестно, то может быть использовано значение минимального тока дугового разряда, определяющее физическую возможность существования разряда. В этом случае оценка искробезопасности цепи становится несколько более жесткой. Для контактной пары из кадмия и вольфрама минимальный ток дуги приблизительно равен 0,02 А.

В то же время согласно (1) энергия разряда максимальна при выполнении условия:

$$\frac{\partial W_p}{\partial I_1} = 0 \quad (2)$$

Необходимо выяснить, насколько это значение энергии отличается от принятого в ГОСТ Р 51330.10-99, а также от полученного согласно работе [8]. Для этого задаются параметры электрической цепи (табл. 1) и строится зависимость  $W_p(I_1)$  с учетом трех значений тока  $I_1$  ( $I_{11m}$ ,  $I_{12m}$ ,  $I_{13m}$ ), обеспечивающих максимум энергии  $W_p$  ( $W_{11m}$ ,  $W_{12m}$ ,  $W_{13m}$ ) – рис. 1. Выражение для тока  $I_{11m}$  получено согласно работе [8],  $I_{12m}$  – по формуле (3),  $I_{13m}$  – в соответствии с предположением ГОСТ Р 51330.10-99.

$$I_{12m} = \frac{1}{2} \cdot T_p \frac{2RI - U}{3L + 2RT_p}, \text{ Дж} \quad (3)$$

Таблица 1 – Сравнение способов определения тока обрыва дуги  $I_1$  по энергетическим показателям разряда

$U$ В	$L$ , мкГн	$R$ , Ом	$I$ , А	$I_{11m}$ , А	$I_{12m}$ , А	$I_{13m}$ , А	$W_{11m}$ , мДж	$W_{12m}$ , мДж	$W_{13m}$ , мДж	$T_p$ , мкс
24	100	20	3,3	0,606	0,994	0,829	0,975	1,003	0,829	20

Из полученной зависимости (рис. 2) следует, что ток обрыва дуги  $I_{12m}$ , взятый по максимальной величине энергии согласно (3), создает ее превышение по сравнению с током обрыва дуги  $I_{13m}$ , взятым по ГОСТ Р 51330.10-99, на 17%.

Подключение светодиодов во многих случаях осуществляется с помощью драйверов – источников постоянного тока. Напряжение на выходе драйвера устанавливается автоматически, в соответствии с числом светодиодов в цепочке (рис. 3). При необходимости подключить большое число светодиодов, можно соединять их в параллельные ветви, при этом в каждой ветви требуется токоограничивающий резистор.

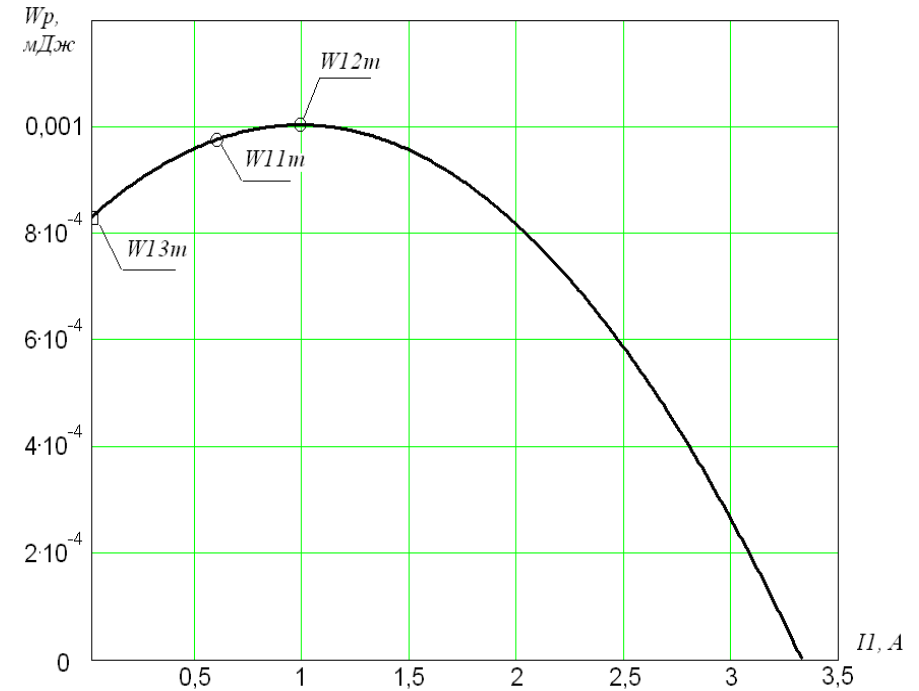


Рис. 2 - Зависимость энергии в разряде  $W_p$  от тока обрыва дуги  $I_1$  с указанием различных вариантов его определения

Например, для светодиода с током потребления 20 мА и падением напряжения на нем 2,5 В потребуется последовательное соединение 4 светодиодов (суммарно 12 В:  $4 \cdot 2,5 = 10$  В и резистор с  $R1 = (12 - 2,5 \cdot 4) / 0,02 = 100$  Ом). Тогда к блоку питания с выходным током 1,4 А можно подключить 70 параллельных линий, т.е.  $70 \cdot 4 = 280$  светодиодов. Общая мощность нагрузки составляет  $P_{12} = 70 \cdot 12 \cdot 0,02 = 16,8$  Вт.

Идентичный результат по освещенности, приблизительно с таким же количеством светодиодов, может быть получен при подключении 35 параллельных линий по 9 последовательных светодиодов в каждой, т.е.  $35 \cdot 9 = 315$  светодиодов (суммарно 24 В:  $9 \cdot 2,5 = 22,5$  В и резистор с  $R1 = (24 - 2,5 \cdot 9) / 0,02 = 75$  Ом), т.е. при той же мощности  $P_{24} = 35 \cdot 24 \cdot 0,02 = 16,8$  Вт блок питания может иметь выходной ток 0,7 А.

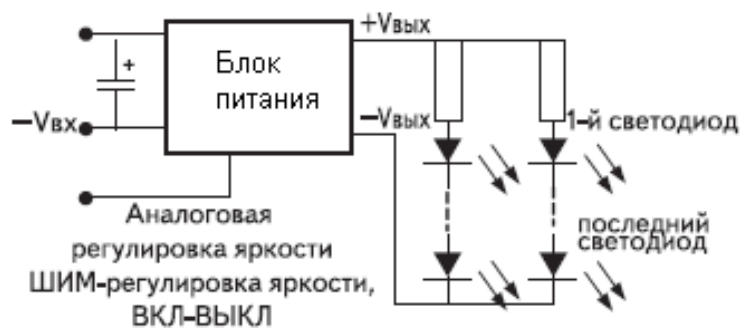


Рис. 3 - Схема подключения параллельных цепочек светодиодов к драйверу (блоку питания)

Влияние основных параметров электрической цепи и источника питания на уровень взрывобезопасности осветительной LED установки для заданных условий эксплуатации определяется из выражения (1) с учетом (3) по воспламеняющей способности искр, возникающих при коммутации электрических цепей ОУ с реактивными элементами. На допустимую суммарную мощность светильников LED влияют: напряжение источника питания  $U$ , ток в цепи нагрузки  $I$ , индуктивность питающей линии  $L$  и ее сопротивление  $R$  на участке длины  $DI$  (приблизительно LED принимается в качестве активной нагрузки), длительность разряда  $T_p$  (на основе данных об устройстве защите искробезопасного блока питания), которые в совокупности и определяют энергию искрового разряда.

Минимальная допустимая энергия воспламенения в зависимости от  $T_p$  для диапазона  $T_p < 44$  мкс может приниматься согласно выражению (4) из [7].

$$W_{\text{допк}} = 5,804 \cdot (T_k)^{-0,718} \cdot 10^{-3}, \text{ Дж} \quad (4)$$

Данные питающих кабелей приведены в табл. 2.

$$R_j = 0,007 \cdot DI + \frac{U_j}{I_j}, \quad (5)$$

$$L = 0,347 \cdot DI \cdot 10^{-6}, \quad (6)$$

где  $j=1..7$ ,  $U_j=12 \cdot j$  – ряд напряжений источника питания;

$I_j = P/U_j$  – ряд токов источника питания.

Таблица 2 - Параметры 2-х жильного однофазного кабеля

Сечение медного кабеля $F$	Удельное сопротивление $r$ , Ом/км при 20° С	Индуктивность $L$ , мкГн/м
1,5 мм <sup>2</sup>	11,6	0,375
2,5 мм <sup>2</sup>	7	0,347
4 мм <sup>2</sup>	4,37	0,321

Пример построения зависимостей  $W_p$  (ее максимум соответствует  $W_{12m}$ ),  $W_{\text{допк}}(U, T_p)$  при параметрах электрической цепи  $F=2,5$  мм<sup>2</sup>,  $DI=100$  м,  $P=97$  Вт,  $L$  и  $R$  – согласно выражений (5) и (6),  $k=1..20$ ,  $T_k=2k$  показан на рис. 4.

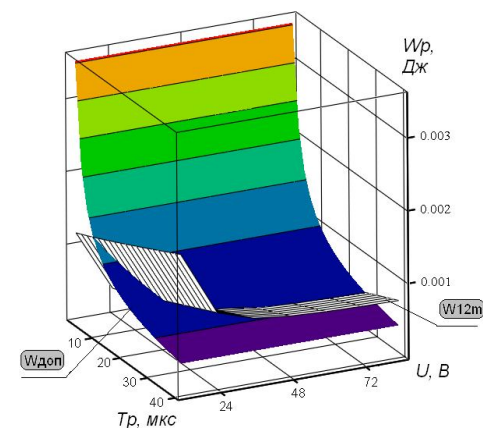


Рис 4 - Зависимости величины максимума энергии разряда ( $W_{12m}$ ) и минимальной допустимой энергии воспламенения ( $W_{\text{доп}}$ ) от напряжением источника питания ( $U$ ) и длительность разряда ( $T_p$ ) для технологической среды метановоздушная смесь

Потеря напряжения в линии постоянного тока определяется по (7):

$$\Delta U_j = 2 \cdot I_j \cdot 0,007 \cdot DI, \quad (7)$$

Т.о. допустимое множество  $U, T_p$  находится в области, где соблюдается условие  $W_{\text{доп}} - W_{12m} \geq 0$  (например, данные рис. 5).

	2	3	4	5	6
1	3,528·10 <sup>-3</sup>	3,528·10 <sup>-3</sup>	3,528·10 <sup>-3</sup>	3,528·10 <sup>-3</sup>	3,528·10 <sup>-3</sup>
2	2,145·10 <sup>-3</sup>	2,145·10 <sup>-3</sup>	2,145·10 <sup>-3</sup>	2,145·10 <sup>-3</sup>	2,145·10 <sup>-3</sup>
3	1,603·10 <sup>-3</sup>	1,603·10 <sup>-3</sup>	1,603·10 <sup>-3</sup>	1,603·10 <sup>-3</sup>	1,603·10 <sup>-3</sup>
4	1,304·10 <sup>-3</sup>	1,304·10 <sup>-3</sup>	1,304·10 <sup>-3</sup>	1,304·10 <sup>-3</sup>	1,304·10 <sup>-3</sup>
5	1,111·10 <sup>-3</sup>	1,111·10 <sup>-3</sup>	1,111·10 <sup>-3</sup>	1,111·10 <sup>-3</sup>	1,111·10 <sup>-3</sup>
6	9,747·10 <sup>-4</sup>	9,747·10 <sup>-4</sup>	9,747·10 <sup>-4</sup>	9,747·10 <sup>-4</sup>	9,747·10 <sup>-4</sup>
7	8,726·10 <sup>-4</sup>	8,726·10 <sup>-4</sup>	8,726·10 <sup>-4</sup>	8,726·10 <sup>-4</sup>	8,726·10 <sup>-4</sup>
8	7,928·10 <sup>-4</sup>	7,928·10 <sup>-4</sup>	7,928·10 <sup>-4</sup>	7,928·10 <sup>-4</sup>	7,928·10 <sup>-4</sup>
9	7,285·10 <sup>-4</sup>	7,285·10 <sup>-4</sup>	7,285·10 <sup>-4</sup>	7,285·10 <sup>-4</sup>	7,285·10 <sup>-4</sup>
10	6,754·10 <sup>-4</sup>	6,754·10 <sup>-4</sup>	6,754·10 <sup>-4</sup>	6,754·10 <sup>-4</sup>	6,754·10 <sup>-4</sup>
11	6,308·10 <sup>-4</sup>	6,308·10 <sup>-4</sup>	6,308·10 <sup>-4</sup>	6,308·10 <sup>-4</sup>	6,308·10 <sup>-4</sup>
12	5,926·10 <sup>-4</sup>	5,926·10 <sup>-4</sup>	5,926·10 <sup>-4</sup>	5,926·10 <sup>-4</sup>	5,926·10 <sup>-4</sup>
13	5,595·10 <sup>-4</sup>	5,595·10 <sup>-4</sup>	5,595·10 <sup>-4</sup>	5,595·10 <sup>-4</sup>	5,595·10 <sup>-4</sup>
14	5,305·10 <sup>-4</sup>	5,305·10 <sup>-4</sup>	5,305·10 <sup>-4</sup>	5,305·10 <sup>-4</sup>	5,305·10 <sup>-4</sup>
15	5,048·10 <sup>-4</sup>	5,048·10 <sup>-4</sup>	5,048·10 <sup>-4</sup>	5,048·10 <sup>-4</sup>	5,048·10 <sup>-4</sup>
16	4,82·10 <sup>-4</sup>	4,82·10 <sup>-4</sup>	4,82·10 <sup>-4</sup>	4,82·10 <sup>-4</sup>	4,82·10 <sup>-4</sup>

Wдоп. Дж

	1	2	3	4	5
1	1,167·10 <sup>-3</sup>	3,169·10 <sup>-4</sup>	1,599·10 <sup>-4</sup>	1,053·10 <sup>-4</sup>	8,021·10 <sup>-5</sup>
2	1,201·10 <sup>-3</sup>	3,518·10 <sup>-4</sup>	1,955·10 <sup>-4</sup>	1,413·10 <sup>-4</sup>	1,164·10 <sup>-4</sup>
3	1,237·10 <sup>-3</sup>	3,876·10 <sup>-4</sup>	2,317·10 <sup>-4</sup>	1,776·10 <sup>-4</sup>	1,528·10 <sup>-4</sup>
4	1,273·10 <sup>-3</sup>	4,239·10 <sup>-4</sup>	2,681·10 <sup>-4</sup>	2,141·10 <sup>-4</sup>	1,893·10 <sup>-4</sup>
5	1,311·10 <sup>-3</sup>	4,606·10 <sup>-4</sup>	3,047·10 <sup>-4</sup>	2,507·10 <sup>-4</sup>	2,258·10 <sup>-4</sup>
6	1,348·10 <sup>-3</sup>	4,974·10 <sup>-4</sup>	3,415·10 <sup>-4</sup>	2,873·10 <sup>-4</sup>	2,623·10 <sup>-4</sup>
7	1,387·10 <sup>-3</sup>	5,345·10 <sup>-4</sup>	3,782·10 <sup>-4</sup>	3,239·10 <sup>-4</sup>	2,989·10 <sup>-4</sup>
8	1,426·10 <sup>-3</sup>	5,717·10 <sup>-4</sup>	4,151·10 <sup>-4</sup>	3,606·10 <sup>-4</sup>	3,355·10 <sup>-4</sup>
9	1,465·10 <sup>-3</sup>	6,091·10 <sup>-4</sup>	4,521·10 <sup>-4</sup>	3,973·10 <sup>-4</sup>	3,721·10 <sup>-4</sup>
10	1,504·10 <sup>-3</sup>	6,464·10 <sup>-4</sup>	4,888·10 <sup>-4</sup>	4,341·10 <sup>-4</sup>	4,086·10 <sup>-4</sup>
11	1,544·10 <sup>-3</sup>	6,839·10 <sup>-4</sup>	5,256·10 <sup>-4</sup>	4,707·10 <sup>-4</sup>	4,452·10 <sup>-4</sup>
12	1,584·10 <sup>-3</sup>	7,214·10 <sup>-4</sup>	5,627·10 <sup>-4</sup>	5,074·10 <sup>-4</sup>	4,818·10 <sup>-4</sup>
13	1,624·10 <sup>-3</sup>	7,589·10 <sup>-4</sup>	5,996·10 <sup>-4</sup>	5,441·10 <sup>-4</sup>	5,184·10 <sup>-4</sup>
14	1,665·10 <sup>-3</sup>	7,965·10 <sup>-4</sup>	6,366·10 <sup>-4</sup>	5,808·10 <sup>-4</sup>	5,551·10 <sup>-4</sup>
15	1,705·10 <sup>-3</sup>	8,341·10 <sup>-4</sup>	6,736·10 <sup>-4</sup>	6,175·10 <sup>-4</sup>	5,916·10 <sup>-4</sup>
16	1,746·10 <sup>-3</sup>	8,717·10 <sup>-4</sup>	7,105·10 <sup>-4</sup>	6,542·10 <sup>-4</sup>	6,282·10 <sup>-4</sup>

Wр. Дж

а

б

Рис 5 - Сравнение энергий: а –  $W_{доп}$ , б –  $W_{12m}$  в зависимости от длительности разряда (k) и напряжения (j)

Итоговые расчеты по изложенной методике позволили установить границы допустимой взрывозащищенной мощности светильников LED и уровни напряжений, токов цепи и сечения соединительного кабеля (см. табл. 3).

Таблица 3 – Допустимая взрывозащищенная мощность светильников LED на 100 м проходки с учетом ограничений:  $\Delta U < 10\%$ ,  $T_p > 26$  мкс

Сечение медного провода F	Напряжение питания постоянного тока	Допустимая мощность светильников LED, Вт	$W_{12m}$ , Дж	I, А	$\Delta U$ , %
1,5 мм <sup>2</sup>	12 В	6	3,41·10 <sup>-5</sup>	0,5	9,5
	24 В	25	1,43·10 <sup>-4</sup>	1,04	9,9
	36 В	56	3,2·10 <sup>-4</sup>	1,55	9,9
	48 В	98	5,58·10 <sup>-4</sup>	2,04	9,7
2,5 мм <sup>2</sup>	12 В	10	6,08·10 <sup>-5</sup>	0,83	9,7
	24 В	41	2,5·10 <sup>-4</sup>	1,7	9,9
	36 В	90	5,47·10 <sup>-4</sup>	2,5	9,7
4 мм <sup>2</sup>	48 В	97	5,44·10 <sup>-4</sup>	2,02	5,8
	12 В	16,4	1,09·10 <sup>-4</sup>	1,36	9,9
	24 В	65	4,33·10 <sup>-4</sup>	2,7	9,8
	36 В	92	5,51·10 <sup>-4</sup>	2,55	6,2
	48 В	100	5,56·10 <sup>-4</sup>	2,08	3,7

Аналогичным образом, но уже при варьировании напряжения и длины кабеля при условии фиксированного  $T_p = 26$  мкс и  $F = 2,5$  мм<sup>2</sup>,  $P = 41$  Вт рассчитывается допустимое количество  $DI$ ,  $U$  (например, данные рис. 6, на котором  $ii = 1..200$ ,  $DI_{ii} = 0,5 \cdot ii$ ).

	1	2	3	4	5	6
1	2,009·10 <sup>-4</sup>	2,001·10 <sup>-4</sup>	2·10 <sup>-4</sup>	1,999·10 <sup>-4</sup>	1,999·10 <sup>-4</sup>	1,999·10 <sup>-4</sup>
2	2,019·10 <sup>-4</sup>	2,004·10 <sup>-4</sup>	2,001·10 <sup>-4</sup>	2·10 <sup>-4</sup>	2·10 <sup>-4</sup>	1,999·10 <sup>-4</sup>
3	2,029·10 <sup>-4</sup>	2,006·10 <sup>-4</sup>	2,002·10 <sup>-4</sup>	2,001·10 <sup>-4</sup>	2·10 <sup>-4</sup>	2·10 <sup>-4</sup>
4	2,039·10 <sup>-4</sup>	2,009·10 <sup>-4</sup>	2,003·10 <sup>-4</sup>	2,001·10 <sup>-4</sup>	2·10 <sup>-4</sup>	2·10 <sup>-4</sup>
5	2,05·10 <sup>-4</sup>	2,011·10 <sup>-4</sup>	2,004·10 <sup>-4</sup>	2,002·10 <sup>-4</sup>	2,001·10 <sup>-4</sup>	2·10 <sup>-4</sup>
6	2,06·10 <sup>-4</sup>	2,014·10 <sup>-4</sup>	2,006·10 <sup>-4</sup>	2,003·10 <sup>-4</sup>	2,001·10 <sup>-4</sup>	2·10 <sup>-4</sup>
7	2,07·10 <sup>-4</sup>	2,017·10 <sup>-4</sup>	2,007·10 <sup>-4</sup>	2,003·10 <sup>-4</sup>	2,002·10 <sup>-4</sup>	2,001·10 <sup>-4</sup>
8	2,08·10 <sup>-4</sup>	2,019·10 <sup>-4</sup>	2,008·10 <sup>-4</sup>	2,004·10 <sup>-4</sup>	2,002·10 <sup>-4</sup>	2,001·10 <sup>-4</sup>
9	2,09·10 <sup>-4</sup>	2,022·10 <sup>-4</sup>	2,009·10 <sup>-4</sup>	2,004·10 <sup>-4</sup>	2,002·10 <sup>-4</sup>	2,001·10 <sup>-4</sup>
10	2,1·10 <sup>-4</sup>	2,024·10 <sup>-4</sup>	2,01·10 <sup>-4</sup>	2,005·10 <sup>-4</sup>	2,003·10 <sup>-4</sup>	2,002·10 <sup>-4</sup>
11	2,111·10 <sup>-4</sup>	2,027·10 <sup>-4</sup>	2,011·10 <sup>-4</sup>	2,006·10 <sup>-4</sup>	2,003·10 <sup>-4</sup>	2,002·10 <sup>-4</sup>
12	2,121·10 <sup>-4</sup>	2,029·10 <sup>-4</sup>	2,012·10 <sup>-4</sup>	2,006·10 <sup>-4</sup>	2,004·10 <sup>-4</sup>	2,002·10 <sup>-4</sup>
13	2,131·10 <sup>-4</sup>	2,032·10 <sup>-4</sup>	2,013·10 <sup>-4</sup>	2,007·10 <sup>-4</sup>	2,004·10 <sup>-4</sup>	2,002·10 <sup>-4</sup>
14	2,141·10 <sup>-4</sup>	2,034·10 <sup>-4</sup>	2,015·10 <sup>-4</sup>	2,008·10 <sup>-4</sup>	2,004·10 <sup>-4</sup>	2,003·10 <sup>-4</sup>
15	2,151·10 <sup>-4</sup>	2,037·10 <sup>-4</sup>	2,016·10 <sup>-4</sup>	2,008·10 <sup>-4</sup>	2,005·10 <sup>-4</sup>	2,003·10 <sup>-4</sup>
16	2,161·10 <sup>-4</sup>	2,039·10 <sup>-4</sup>	2,017·10 <sup>-4</sup>	2,009·10 <sup>-4</sup>	2,005·10 <sup>-4</sup>	2,003·10 <sup>-4</sup>

Wр. Дж

Рис. 6 - Энергия ( $W_{12m}$ ) в зависимости от длины линии (ii) и напряжения (j)

**Выводы. 1.** Существенным недостатком существующих стационарных и локальных осветительных приборов на предприятиях с взрывоопасной атмосферой, является недостаточный уровень их взрывобезопасности. Стационарные осветительные приборы имеет ПВ исполнение, что требует отключать свет при возникновении аварийной ситуации.

**2.** Осветительная сеть на базе искробезопасных светодиодных (LED) светильников позволяет организовать освещение, в том числе и в аварийной ситуации.

**3.** По результатам анализа влияния основных параметров электрической цепи и источника питания на уровень взрывобезопасности осветительной LED установки для технологической среды метановоздушная смесь установлены допустимые по воспламеняющей способности искр, возникающих при коммутации электрических цепей осветительных установок множества пределов мощности и потерь напряжения в зависимости от напряжения источника питания, сечения и длины питающего кабеля.

**4.** Установлено, что во всех случаях предельная мощность нагрузки стремиться к величине 97..98 Вт. На эффективность снижения энергии разряда при переходе к повышенному напряжению питания

наибольшее влияние оказывают мощность нагрузки (уменьшение  $W_p$  на 52% при  $P=97$  Вт против 18% при  $P=16,8$  Вт в случае увеличения  $U$  с 12 до 24 В) и длина линии  $DL$ .

**Список литературы:** 1. *Кацуба О.И.* Анализ причин травматизма на шахтах Украины / *О.И. Кацуба, Н.Б. Левкин, Е.А. Спиридонов, М.С. Ковчужный* // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. - Макеевка. - 2007. - С. 162-169. 2. *Айзенберг Ю.Б.* Справочная книга по светотехнике / *Ю.Б. Айзенберг и др.* - М.: Энергоиздат. 1995. - С. 335-346. 3. *Давыдов В.В.* Шахтное искробезопасное освещение. Светильники головные искробезопасные / *В.В. Давыдов* // Уголь, 2008. - № 1. - С. 47-50. 4. *Давыдов В.В., Литвинский В.М., Гутер Л.Р.* Создание шахтных стационарных осветительных приборов повышенной эффективности и безопасности / *В.В. Давыдов, В.М. Литвинский, Л.Р. Гутер* // Сборник трудов института Гипроуглеавтоматизация. - М.: 2000. - С. 16-29. 5. *Кормильцев П.В.* Система искробезопасного шахтного освещения // *П.В. Кормильцев, И.А. Бершадский* // Научные работы ДонНТУ. - Серия "Электротехника и энергетика". - Донецк: ДонНТУ, 2014. - Выпуск 1(16). - С.90-94. 6. *Бершадский И.А.* Тестирование метода бескамерной тепловой оценки искробезопасности схемы источника питания / *И.А. Бершадский, Ал.А. Дубинский* // Взрывозащищенное электрооборудование: Сб. научных трудов УкрНИИВЭ. - Донецк, 2011. - С. 230 - 240. 7. *Бершадский И.А.* Развитие научных основ и методов создания искробезопасного электрооборудования для повышения безопасности труда горнорабочих: дис. на соиск. учен. степени докт. техн. наук: спец. 05.26.01 - Донецк: 2014. - 343 с. - ДонНТУ. 8. *Абраменко И.Г.* Проблемы взрывобезопасности электрических кил осветлительных установок / *И.Г. Абраменко, В. Ф. Рой, Н. Г. Бурма* // Светлотехника та електроенергетика. - 2011. - №1. - С. 60-64.

**Bibliography (transliterated):** 1. Kashuba, O.I., N.B. Levkin, E.A. Spiridonov and M.S. Kovchuzhnyiy. "Analiz prichin travmatizma na shahtah Ukrainyi." *Sposoby i sredstva sozdaniya bezopasnykh i zdorovykh usloviy truda v ugolnykh shahtah.* Makeevka. 2007. 162-169. Print. 2. Ayzenberg, Yu.B. *Spravochnaya kniga po svetotekhnike.* Moscow: Energoizdat, 1995. Print. 3. Davydov, V.V. "Shahtnoe iskrobezopasnoe osveschenie. Svetilniki golovnyie iskrobezopasnyie." *Ugol*'. No. 1. 2008. 47-50. 4. Davydov, V.V., V.M. Litstvinskiy and L.R. Guter. "Sozdanie shahtnykh statsionarnykh osvetitelnykh priborov povyishennoy effektivnosti i bezopasnosti" *Sbornik trudov instituta Giprougleavtomatizatsiya.* Moscow: 2000. Print. 5. Kormiltsev, P.V. and I.A. Bershadskiy. "Sistema iskrobezopasnogo shahtnogo osvescheniya." *Naukovi pratsi DonNTU. Seriya "Elektrotehnika I energetika"*. Donetsk. DonNTU. No 1(16). 2014. 90-94. Print. 6. Bershadskiy, I.A. and Al.A. Dubinskiy. "Testirovanie metoda beskamer-noy teplovy otsenki iskrobezopasnosti shemyi istochnika pitaniya." *Vzryvozaschisshchennoe elektrooborudovanie: Sb. nauchnykh trudov UkrNIIVE.* Donetsk. 2011. 230 - 240. Print. 7. Bershadskiy, I.A. "Razvitie nauchnykh osnov i metodov sozdaniya iskrobezopasnogo elektrooborudovaniya dlya povyisheniya bezopasnosti truda gornorabochih": *dis. na soisk. uchen. stepeni dokt. tehn. nauk: spets. 05.26.01.* Donetsk: DonNTU, 2014. 8. Abramenko, I.G., V.F. Roy, N.G. Burma. "Problemi vibuhobezpechnosti elektrichnykh kil osvitlyvalnykh ustanovok." *Svitlotekhnika ta elektroenergetika.* No. 1. 2011. 60-64. Print.

Поступила (received) 10.7.2014

УДК 621.311

**В.І. ВАСИЛЬЧЕНКО**, начальник управління ДП НЕК «Укренерго», Київ;  
**О. Г. ГРИБ**, д-р тех. наук, проф., завідувач кафедри Автоматизації енергосистем, НТУ «ХПІ»;  
**О. В. ЛЕЛЕКА**, провідний інженер ДП НЕК «Укренерго», Київ;  
**Д. А. ГАПОН**, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПІ»;  
**О. В. САПРИКА**, д-р тех. наук, проф., ХНУ Міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків;  
**Т.С. ІЕРУСАЛІМОВА**, асистент, НТУ «ХПІ».

### ЦИФРОВА ПІДСТАНЦЯ ЯК ЛОКАЛЬНИЙ РІВЕНЬ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Розглянута цифрова підстанція як локальний рівень автоматизованої системи комерційного обліку електричної енергії. Автоматизована система комерційного обліку електричної енергії на цифровій підстанції енерго-постачальних підприємств можна прийняти як отримання достовірного балансу електроенергії. Робота енергетичної галузі в умовах функціонування енергоринку висуває підвищені вимоги до системи обліку, а саме, до рівня її автоматизації, точності, надійності і цілісності. Впровадження автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії на цифровій підстанції, дозволяє перехід до тарифів реального часу, отримання достовірного балансу виробництва, розподілу і споживання електричної потужності або енергії та оцінка показників якості електричної енергії.

**Ключові слова:** електроенергія, підстанція, потужність, вимірювання, лічильник, контроль, автоматизація

**Вступ.** Автоматизована система комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ), що встановлюються на енергетичних об'єктах для автоматизованого контролю та обліку електроенергії і потужності, в тому числі з метою вимірювань активної та реактивної електроенергії та потужності, відносяться до вимірювальних систем, в загальному випадку представляє собою сукупність функціонально об'єднаних масштабних вимірювальних перетворювачів (вимірювальні трансформатори струму і напруги), інтегруючих приладів (лічильники електроенергії з імпульсним та/або цифровим інтерфейсом), концентраторів або пристроїв збору даних, пристроїв збору та передачі даних, центральних обчислювальних пристроїв та інших технічних засобів, розміщених у

© В. І. Васильченко, О. Г. Грив, О. В. Лелека, Д. А. Гапон, О. В. Саприка, Т. С. Іерусалімова, 2014