

**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  $R_1 = (12 - 2,5 \cdot 4) / 0,02 = 100$  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  $R_1 = (24 - 2,5 \cdot 9) / 0,02 = 75$  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.

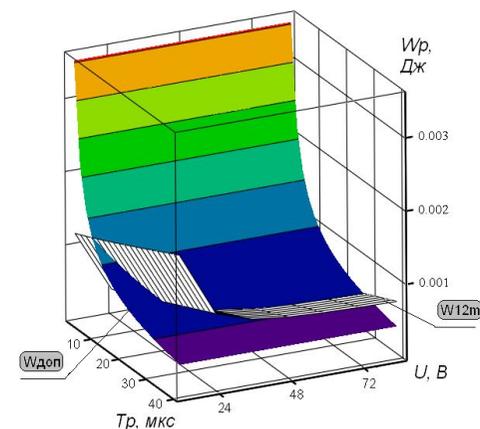


Рис 4 - Зависимости величины максимума энергии разряда ( $W_{12m}$ ) и минимальной допустимой энергии воспламенения ( $W_{\text{доп}}$ ) от напряжение источника питания ( $U$ ) и длительность разряда ( $T_p$ ) для технологической среды метановоздушная смесь

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

**Список литературы:** 1. *Кашуба О.И.* Анализ причин травматизма на шахтах Украины / *О.И. Кашуба, 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* // Наукові праці ДонНТУ. – Серія "Електротехніка і енергетика". – Донецьк: ДонНТУ, 2014. – Випуск 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.* Проблеми вибухобезпечності електричних кіл освітлювальних установок / *И.Г. Абраменко, В. Ф. Рой, Н. Г. Бурма* // Світлотехніка 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 bezopasnyih i zdorovyih usloviy truda v ugolnyih shahtah.* Makeevka. 2007. 162-169. Print. 2. *Ayzenberg, Yu.B.* *Spravochnaya kniga po svetotekhnike.* Moscow: Energoizdat, 1995. Print. 3. *Davyidov, V.V.* "Shahtnoe iskrobezopasnoe osveschenie. Svetilniki golovnyie iskrobezopasnyie." *Ugol*. No. 1. 2008. 47-50. 4. *Davyidov, V.V., V.M. Litstvinskiy and L.R. Guter.* "Sozdanie shahtnyih statsionarnyih osvetitelnyih 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 shemy istochnika pitaniya." *Vzryvovozaschisshennoe elektrooborudovanie: Sb. nauchnyih trudov UkrNIIVE.* Donetsk. 2011. 230 - 240. Print. 7. *Bershadskiy, I.A.* "Razvitie nauchnyih osnov i metodov sozdaniya iskrebezopasnogo 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 elektrichnih kil osvitlyuvalnih ustanovok." *Svitlotekhnika ta elektroenergetika.* No. 1. 2011. 60-64. Print.

*Поступила (received) 10.7.2014*