

Виктор Жданкин

## Оценка искробезопасности электрических цепей

В статье приводятся основные положения, которыми необходимо руководствоваться при применении электротехнических устройств с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь». На конкретных примерах показаны методики оценки искробезопасности для электрических цепей с элементами, имеющими линейные и нелинейные вольт-амперные характеристики.

Рассмотрим два основных вида искробезопасных электрических цепей:

- электрические цепи только с одним связанным устройством (элементарная искробезопасная электрическая цепь),
- электрические цепи с более чем одним связанным устройством, способным вырабатывать электрическую энергию в нормальном или аварийном режимах работы (объединенные цепи).

В соответствии с определением, приведённым в ГОСТ 22782.5-78, связанным электрооборудованием или связанными электрическими цепями называются электрооборудование или его цепи, которые при нормальном или аварийном режимах работы не отделены гальванически от искробезопасных цепей.

Для элементарных искробезопасных электрических цепей важно проверить, что все ограничения электрических параметров находятся в соответствии с параметрами, приведёнными в «Условиях применения» Сертификата соответствия, и со значениями характеристик (ёмкость, индуктивность и сопротивление) соединительных кабелей и проводов, независимо от вида вольт-амперных характеристик связанного электрооборудования.

Для объединённых электрических цепей должен быть проведён расчёт на проверку искробезопасности с целью подтверждения наличия в электрической цепи искробезопасных значений тока, напряжения, мощности или энергии. В том случае, если действующее электрооборудование имеет нелинейную вольт-амперную характеристику, необходимо проконсультироваться со специалистами относительно этого типа подключения.

Для схем сложных комплектов связанного электрооборудования, не имеющего в общем случае линейной вольт-амперной характеристики, РТВ (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig) выпустил отчёт W39 РТВ, материалы из которого приводятся далее.

### ОЦЕНКА ИСКРОБЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

#### Основные соображения

Оценка искробезопасности элементарной электрической цепи может быть легко выполнена по справочным данным об электрических параметрах внешних цепей, которые приводятся на паспортной табличке или в «Условиях применения», являющихся неотъемлемыми частями Свидетельства о взрыво-

защищённости электрооборудования и Сертификата соответствия, с использованием значений ёмкости и индуктивности соединительных кабелей и проводов. В том случае, когда значения ёмкости и индуктивности соединительных кабелей неизвестны, возможно применение следующих типовых значений параметров кабелей с общей длиной 1 км:

$$L_c = 1 \text{ мГн}, \\ C_c = 110 \text{ нФ}.$$

Искробезопасность элементарной электрической цепи подтверждается, если выполняются соотношения, приведённые в таблице 1.

Из таблицы 1 следует, что индуктивность и ёмкость искробезопасных це-

Таблица 1. Соотношения, подтверждающие искробезопасность цепи

Искробезопасное электрооборудование + соединительный кабель	Условие подтверждения искробезопасности	Связанное электрооборудование
$U_i$	$\geq$	$U_o$
$I_i$	$\geq$	$I_o$
$P_i$	$\geq$	$P_o$
$L_i + L_c$	$\leq$	$L_o$
$C_i + C_c$	$\leq$	$C_o$

#### Примечание.

В таблице использованы следующие обозначения:  $U_o, I_o$  — максимальные значения, соответственно, напряжения и тока для связанного оборудования;

$U_i, I_i$  — максимально допустимые значения, соответственно, напряжения и тока для искробезопасного электрооборудования, установленного во взрывоопасной зоне;

$L_o$  — максимально допустимое значение индуктивности во внешней искробезопасной цепи;

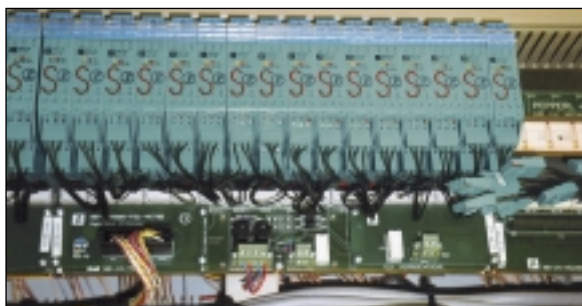
$C_o$  — максимально допустимое значение ёмкости во внешней искробезопасной цепи;

$L_i$  — значение собственной индуктивности;

$C_i$  — значение собственной ёмкости.



Бесконтактное реле положения NJ10-30GM-N



Внешний вид разделительных барьеров серии К (показаны в составе системы)

Таблица 2. Электрические параметры разделительного барьера и реле

Связанное электрооборудование		Производитель	Свидетельство взрывозащищённости	U <sub>0</sub> , В	I <sub>0</sub> , мА	P <sub>0</sub> , мВт	L <sub>0</sub> , мГн	C <sub>0</sub> , нФ	Группа взрывозащищённого электрооборудования
Описание	Модель								
Разделительный барьер с трансформаторной развязкой	KFD2-SR-Ex1	Pepperl+Fuchs GmbH	D.95C.074 (ИСЦ ВЭ)	12,7	20	63,5	90	1200	IIС
Искробезопасное электрооборудование		Производитель	Свидетельство взрывозащищённости	U <sub>i</sub> , В	I <sub>i</sub> , мА	P <sub>i</sub> , мВт	L <sub>i</sub> , мГн	C <sub>i</sub> , нФ	Группа взрывозащищённого электрооборудования
Описание	Модель								
Бесконтактное реле положения	NJ10-30GM-N	Pepperl+Fuchs GmbH	Ex-83/2022X	15,5	52	169	0,07	210	IIС
Индуктивность и ёмкость соединительного кабеля (провода): L <sub>c</sub> =1 мГн/км, C <sub>c</sub> =110 нФ/км или данные, предоставленные производителем кабеля для l=150 м							0,15	16,5	
Суммарные значения индуктивности и ёмкости: S L <sub>i</sub> и S C <sub>i</sub>							0,22	226,5	

пей с учетом ёмкости и индуктивности соединительных кабелей, определенных по справочным данным, расчётом или измерением, не должны превышать максимальных значений, оговоренных в технической документации на эти цепи.

Для электрических цепей с сосредоточенными параметрами\* (индуктивными и емкостно-резистивными участками) предписанный коэффициент искробезопасности, равный 1,5, может опускаться значительно ниже 1, что может считаться равнозначным присутствию источника поджигания. Напомню, что коэффициент искробезопасности — это отношение минимальных воспламеняющих параметров к соответствующим искробезопасным.

Поэтому в случае установки искробезопасной электрической цепи с сосредоточенными индуктивностями и емкостями в зоне класса В-I (Zone 0, требуемый уровень взрывозащиты — «ia», особовзрывобезопасный), где по определению выделяются горючие газы или пары легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) в таком количестве и обладающие такими свойствами, что могут образовывать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы (загрузка или разгрузка технологических аппаратов, хранение или переливание ЛВЖ, находящиеся в открытых емкостях и т. д.), требуются специальные меры предосторожности.

Имея в виду это обстоятельство, немецкие испытательные центры (РТВ, DMT), например, считают воз-

можным значительное занижение максимально допустимых значений индуктивности (L<sub>0</sub>) и емкости (C<sub>0</sub>) для связанного электрооборудования.

**Пример 1. Элементарная искробезопасная электрическая цепь**

Приведённая на рис. 1 искробезопасная электрическая цепь используется для контроля положения клапана и состоит из бесконтактного индуктивного реле положения и разделительного барьера с релейным выходом (изделия Pepperl+Fuchs GmbH).

Электрические параметры, приведённые в таблице 2, указывают на возможность применения данного электрооборудования в зоне класса В-Ia (Zone 1) с уровнем взрывозащиты «ib».

Проверка искробезопасности считается полной, если выполняются описанные далее условия:

$$U_0 \notin U_i, I_0 \notin I_i, P_0 \notin P_i, L_0 \neq S L_i + L_c, C_0 \neq S C_i + C_c.$$

**Расчетная оценка искробезопасности для объединенных цепей**

При соединении действующего связанного электрооборудования в комплект электрические параметры, приведённые в Сертификате соответствия каждой единицы оборудования, не могут быть непосредственно использованы для оценки общей искробезопасности комплекта. Подключенное связанное электрооборудование должно рассматриваться единым электрическим устройством, для которого рассчиты-

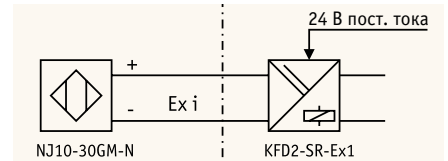


Рис. 1. Схема контроля положения клапана

ются новые предельные значения электрических параметров.

В зависимости от вида и порядка соединения или возможного аварийного режима должны рассматриваться последовательное, параллельное или смешанное соединения, особенно при аварийном режиме, при котором возможно изменение электрических и конструктивных параметров элементов, оказывающих влияние на искробезопасность цепи (последовательная или параллельная схема соединения).

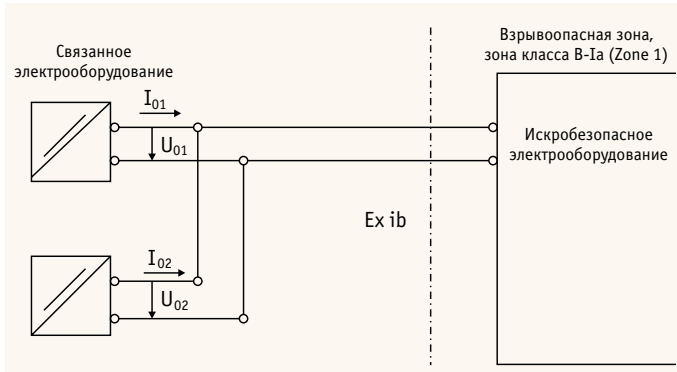
**Определение новых значений максимально допустимых электрических параметров**

Уровень взрывозащиты «ib» (взрывобезопасный) должен приниматься для объединённого электрооборудования, даже если каждая единица электрооборудования соответствует уровню взрывозащиты «ia» (особовзрывобезопасный). Подобные объединенные электрические цепи не допустимы для использования в зоне класса В-I (Zone 0).

Допустимые значения напряжения холостого хода и тока короткого замыкания для разных видов соединений вычисляются по различным критериям.

\* Из теоретических основ электротехники известно, что на практике имеются цепи переменного тока, где на каждом участке преобладает только один вид энергии, а два других вида энергии малы, и ими можно пренебречь. Для таких цепей допустимо полагать, что каждый вид энергии сосредоточен на отдельных участках. Подобные цепи называются цепями с сосредоточенными параметрами, и к ним применимы условия квазистационарности. Их

надо отличать от цепей с распределёнными параметрами, у которых на любом участке электрическая энергия, магнитная энергия, а также та часть электромагнитной энергии, которая превращается в иные виды энергии (например, в тепло), имеют величины одного порядка, и ни одним видом энергии на любом участке цепи пренебречь нельзя. К этим цепям неприменимы условия квазистационарности.



**Рис. 2. Параллельное соединение — сумма токов. Максимально допустимые значения для системы:**  $U_0 = \max(U_{0n}); I_0 = \sum I_{0n} = I_{01} + I_{02}$

**А. Параллельное соединение (рис. 2):**  $U_0$  определяется по наибольшему значению отдельных напряжений холостого хода,  $I_0$  — по сумме значений отдельных допустимых токов короткого замыкания.

**Б. Последовательное соединение (рис. 3):**  $U_0$  вычисляется по сумме отдельных значений напряжений холостого хода,  $I_0$  — по наибольшему значению отдельных допустимых токов короткого замыкания.

**В. Последовательно-параллельное соединение (рис. 4):**  $U_0$  или  $I_0$  вычисляются по сумме соответствующих отдельных значений  $U_{0n}$  или  $I_{0n}$ .

Этот метод определения максимально допустимых параметров следует применять, в основном, в случае простых или ясно скомпонованных соединений. Метод предполагает план действий для наихудшего случая и поэтому даёт высшую степень безопасности. Максимально допустимые значения  $U_0$ ,  $I_0$ ,  $L_0$  и  $C_0$  могут быть получены по графикам зависимостей минимальных воспламеняющих токов и напряжений для взрывоопасных смесей оптимального состава, приведённым в ГОСТ 22782.5-78 «Электрооборудование взрывозащищённое с видом взрывозащиты „искробезопасная электрическая цепь”» или в EN50020, Part 7, Electrical Apparatus for Hazardous Areas Intrinsic Safe-

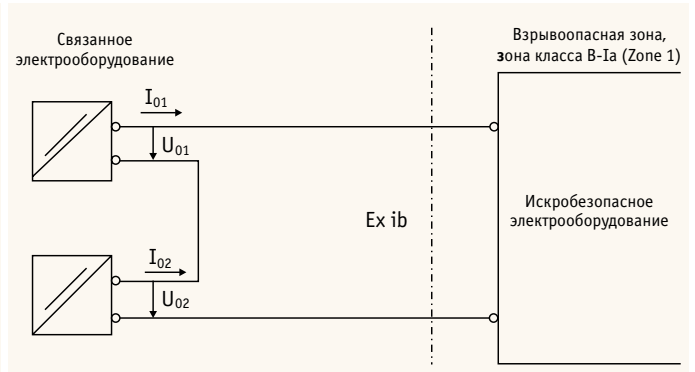


**Внешний вид конструкции блоков искрозащиты на стабилизаторах серии Z (Pepperl+Fuchs)**

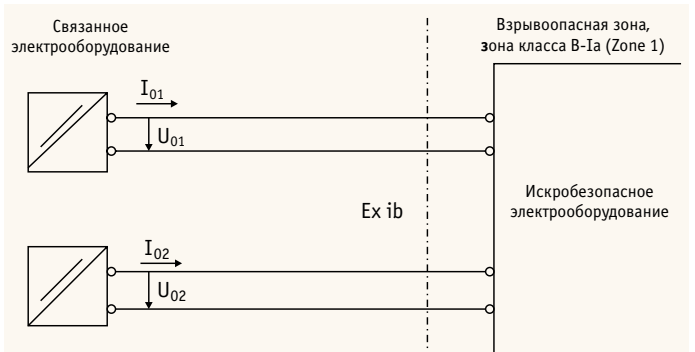
ты «і». Для определения искробезопасного значения тока (напряжения) необходимо для заданных электрических параметров цепи найти значение минимального воспламеняющего тока (напряжения) для данной взрывоопасной смеси и затем разделить его на коэффициент искробезопасности, то есть на 1,5. При расчёте цепей переменного тока необходимо принимать амплитудные значения тока и напряжения.

**Пример 2. Искробезопасная схема для тензоизмерений**

Прикладываемое усилие должно быть измерено тензодатчиком — пре-



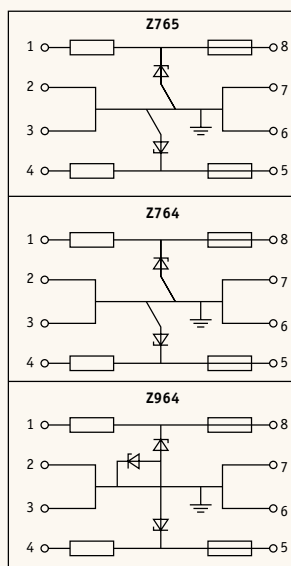
**Рис. 3. Последовательное соединение — сумма напряжений. Максимально допустимые значения параметров системы:**  $U_0 = \sum U_{0n} = U_{01} + U_{02}; I_0 = \max(I_{0n})$



**Рис. 4. Параллельное и последовательное соединение — сумма напряжений и сумма токов. Максимально допустимые значения параметров системы:**  $U_0 = \sum U_{0n} = U_{01} + U_{02}$  или  $U_0 = \max(U_{0n}); I_0 = \max(I_{0n})$  или  $I_0 = \sum I_{0n} = I_{01} + I_{02}$

образователем, который превращает изменение прикладываемого усилия в изменение электрического сопротивления. Как правило, такой преобразователь применяется вместе с мостом Уитстона, в котором одно, два или даже все четыре плеча представляют собой тензодатчики, а выходное напряжение изменяется в от-

**Схемы функциональные БИС серии Z**



**Рис. 5. Искробезопасная схема тензометрического преобразования**

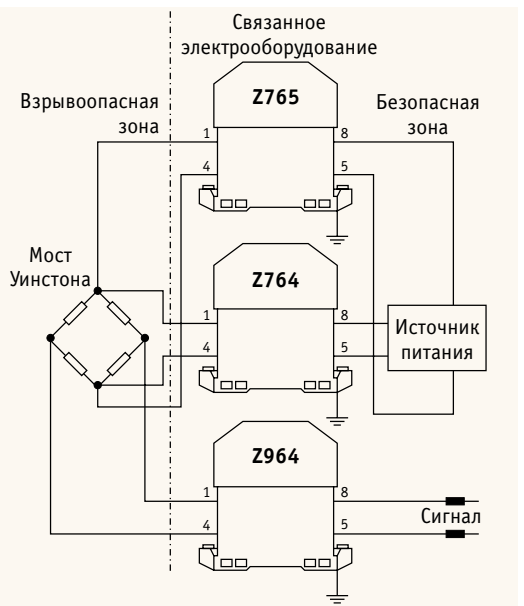


Таблица 3. Электрические параметры БИС и тензодатчика

Взрывозащищённое электрооборудование		Производитель	Сертификат соответствия	$U_o$ , В	$I_o$ , мА	$P_o$ , мВт	$L_o$ , мГн	$C_o$ , нФ	Зависимость	Группа взрывозащищённого электрооборудования
Описание	Модель									
Блок искрозащиты на стабилизаторах	Z765	Pepperl+Fuchs GmbH	D.95C.050 (ИСЦ ВЭ)	14,7	75	276	1,5	750	линейная	IIС
Блок искрозащиты на стабилизаторах	Z764			11,6	12	30	230	1600	линейная	IIС
Блок искрозащиты на стабилизаторах	Z964			11,6	12	30	230	1600		IIС
Взрывозащищённое электрооборудование		Производитель	Сертификат соответствия	$U_i$ , В	$I_i$ , мА	$P_i$ , мВт	$L_i$ , мГн	$C_i$ , нФ		Группа взрывозащищённого электрооборудования
Описание	Модель									
Тензодатчик	Z6H	Hottinger Baldwin	Ex-90.C2094	23	196	1130	0	0		IIС
Индуктивность и ёмкость соединительного кабеля: $L_c = 1$ мГн/км $C_c = 110$ нФ/км или технические данные, предоставленные производителем кабеля для $l=500$ м							0,5	55		
Суммарные значения индуктивности и ёмкости: $S L_i$ и $S C_i$							0,5	55		

вет на вариации измеряемого усилия. При этом датчик усилия установлен во взрывоопасной зоне. В качестве разделительных элементов между искробезопасными и искроопасными цепями применены блоки искрозащиты на стабилизаторах (БИС). В данном примере (рис. 5) использованы блоки искрозащиты на стабили-

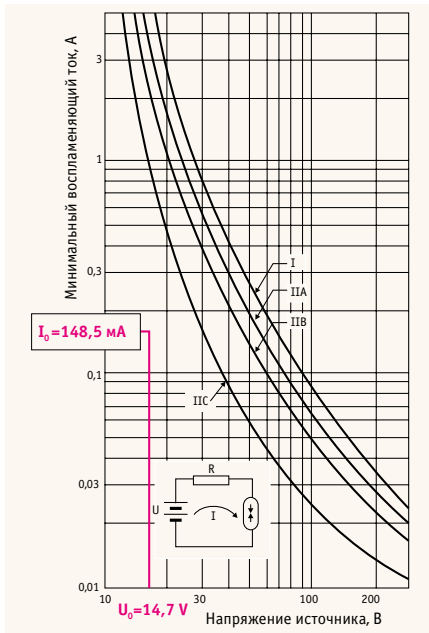
тронах, выпускаемые компанией Pepperl+Fuchs GmbH (Германия).

Подобная ситуация часто имеет место на предприятиях горнодобывающей, химической, нефтехимической, газовой промышленности, для которых характерным фактором является территориальная рассредоточенность объектов автоматизации, расположен-

ных в основном во взрывоопасных средах.

Мост Уитстона запитывается через БИС Z765, который обеспечивает питание с номинальным значением напряжения 8 В измерительного моста с внутренним сопротивлением 350 Ом. Цепь обратной связи через БИС Z764 может не использоваться. На практи-





**Рис. 6. Зависимости минимального воспламеняющего тока от напряжения источника для разных групп взрывоопасных смесей**

ке, впрочем, довольно часто требуется применение этой цепи обратной связи для достижения более высокой точности измерения. Сигнал милливольтового диапазона передаётся в безопасную зону через БИС Z964.

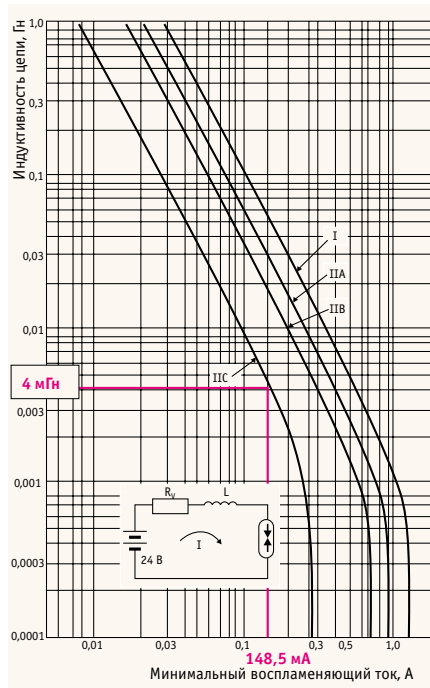
В подобных схемах оценка искробезопасности должна учитывать соединение нескольких действующих связанных устройств, и уровень взрывозащиты должен быть взрывобезопасным («ib»), даже если всё связанное электрооборудование характеризуется особовзрывобезопасным уровнем («ia»).

На первом этапе сопоставляются электрические параметры электрооборудования (табл. 3).

На втором этапе определяются предельные значения электрических параметров системы. Их вычисление основывается на методе, описанном в приложении А стандарта EN 60079-14 (Electrical Apparatus for Use in Explosive Environments). Далее приведены ре-

**Таблица 4. Проверка условий искробезопасности цепи**

Искробезопасное электрооборудование+параметры соединительной линии	Условие искробезопасности	Связанное электрооборудование
(0+55) нФ	£	620 нФ
(0+0,5) мГн	£	4 мГн
23 В	†	14,7 В
196 мА	†	99,0 мА
1130 мВт	†	364 мВт



**Рис. 7. Зависимость минимального воспламеняющего тока от индуктивности цепи**

зультаты применения этого метода для рассматриваемого примера.

**А.** Определяются наибольшие значения напряжения и тока в системе по значениям параметров  $U_0$  и  $I_0$ , указанным для связанного электрооборудования (раздел «Определение новых значений максимально допустимых электрических параметров»).

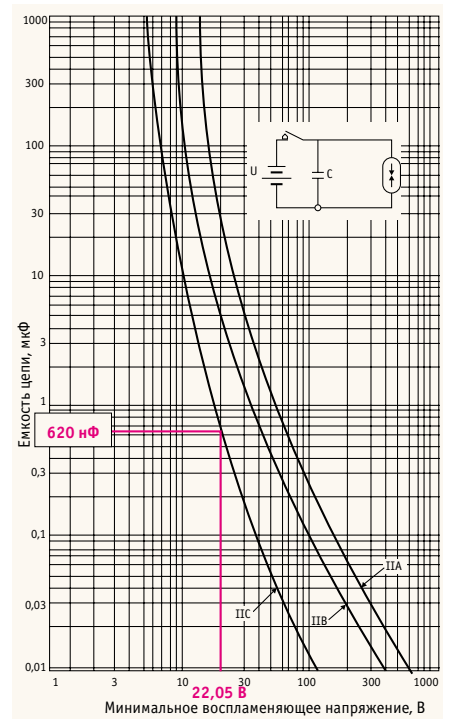
Максимальное значение из отдельных значений напряжений  $U_0 = 14,7$  В.

Суммарный ток в параллельной электрической цепи  $I_0 = (75+12+12)$  мА = 99,0 мА.

**Б.** Проверяется условие: наибольшее значение тока в системе ( $I_0$ ), умноженное на коэффициент искробезопасности 1,5, не должно превышать значения тока, полученного из зависимости минимального воспламеняющего тока от напряжения источника в омической цепи для соответствующей группы электрооборудования при максимальном значении напряжения в системе  $U_0$  (рис. 6).

Из графиков на рис. 6 видно, что при напряжении  $U_0 = 14,7$  В для взрывоопасной смеси подгруппы ИС (водородовоздушная) максимальное допустимое значение тока короткого замыкания  $I_{\text{макс}} = 980$  мА, что существенно превышает  $I_0 \cdot 1,5 = 99 \text{ мА} \cdot 1,5 = 148,5$  мА.

Следовательно, условие искробезопасности в соответствии с зависимостью минимального воспламеняющего тока от напряжения источника для



**Рис. 8. Зависимость минимального воспламеняющего напряжения от емкости цепи**

омической цепи можно считать выполненным.

**В.** Максимально допустимое значение индуктивности  $L_0$  определяется из зависимости минимального воспламеняющего тока от индуктивности цепи и напряжения источника для соответствующей подгруппы электрооборудования по наибольшему значению тока в системе ( $I_0$ ), умноженному на коэффициент искробезопасности 1,5 (рис. 7).

Для значения тока 148,5 мА получаем 4 мГн для подгруппы электрооборудования ИС.

**Г.** Максимально допустимое значение ёмкости  $C_0$  определяется из зависимости минимального воспламеняющего напряжения от ёмкости цепи водородовоздушной смеси (подгруппа ИС) по наибольшему значению напряжения в системе  $U_0$ , умноженному на

**Таблица 5. Определение температурных классов**

Температурный класс	Максимальная температура поверхности, °С
T1	450
T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	85

коэффициент искробезопасности 1,5 (рис. 8).

Из рис. 8 видно, что при напряжении  $14,7 \text{ В} \cdot 1,5 = 22,05 \text{ В}$  для водородо-воздушной смеси (подгруппа ПС) максимально допустимое значение ёмкости равно 620 нФ.

Д. Проверяется условие: максимально допустимые значения  $C_0$  и  $L_0$  должны удовлетворять требованиям искробезопасности электрической цепи.

Эти требования определяют условия искробезопасности электрической цепи только с одним связанным электроустройством.

При оценке искробезопасности учитывается соединительная линия длиной 500 м с  $C_c=55 \text{ нФ}$ ,  $L_c=0,5 \text{ мГн}$  (табл. 4).

Е. Определяется группа взрывозащищённого электрооборудования системы, с учетом того, для какого типа взрывоопасной смеси выбирались зависимости минимальных воспламеняющих токов и напряжений.

Всё электрооборудование одобрено для использования в водородо-воздушной смеси ПС. Все значения параметров получены из зависимостей минимальных воспламеняющих токов и напряжений для водородо-воздушной смеси (подгруппа ПС). Поскольку искробезопасность подтверждена в соответствии с этими параметрами, система удовлетворяет требованиям для подгруппы взрывозащищённого электрооборудования ПС.

Ж. Определяется группа взрывоопасной смеси газов и паров в зависимости от величины температуры самовоспламенения. Для взрывозащищённого электрооборудования группы II в зависимости от значения максимальной температуры поверхности устанавливаются температурные классы, указанные в таблице 5 (ГОСТ 22782.0-81 «Электрооборудование взрывозащищённое. Общие технические требования и методы испытаний»). Максимальная температура поверхности определяется по формуле:

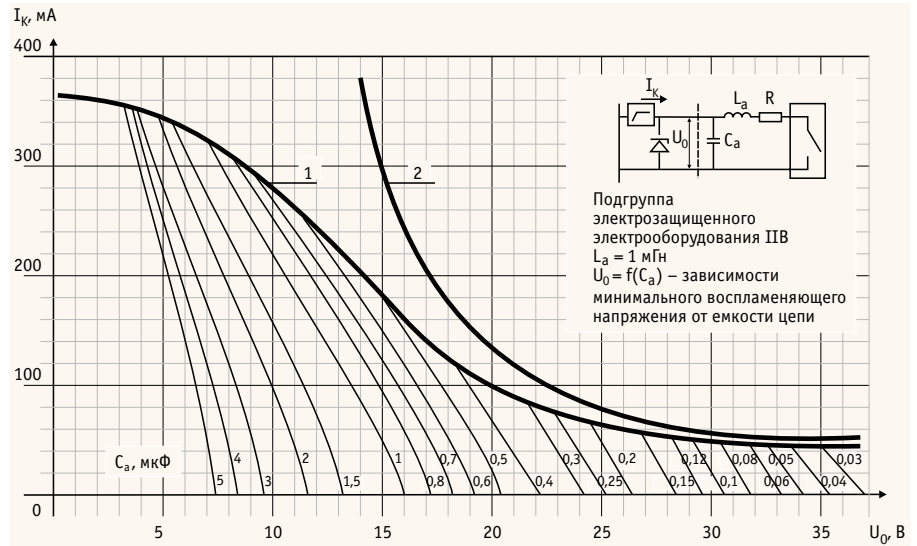
$$T = P_0 \cdot R_{th} + T_{окр.}$$

Здесь

$T$  — максимальная температура поверхности, °С;

$P_0$  — максимальная мощность, выделяемая источниками энергии с линейными вольт-амперными характеристиками, определяется из соотношения

$$P_0 = I_0 \cdot U_0 / 4;$$



1 — зависимость минимального воспламеняющего тока от напряжения для индуктивности цепи  $L_a=1 \text{ мГн}$   
2 — зависимость минимального воспламеняющего тока от напряжения для омической цепи

Рис. 9. Зависимости минимального воспламеняющего тока от напряжения для схем с нелинейными элементами

$R_{th}$  — тепловое сопротивление (°С/Вт), специфицируется производителем комплектующих изделий;

$T_{окр.}$  — температура окружающей среды (обычно принимается 40°С).

### ОЦЕНКА ИСКРОБЕЗОПАСНОСТИ СХЕМ С НЕЛИНЕЙНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

#### Отчёт W39 РТВ

Отчёт W39 РТВ описывает методику оценки искробезопасности цепей связанного электрооборудования, не все компоненты которого имеют линейные вольт-амперные характеристики. В этом случае определение максимально допустимых электрических параметров путём простого сложения значений параметров уже невозможно и требуется обработка сложных зависимостей и вольт-амперных характеристик. Реальная вольт-амперная характеристика в нормальном режиме работы электрооборудования или в аварийных режимах получается путём графического суммирования выходных характеристик, аналогичного описанному в разделе «Определение новых значений максимально допустимых электрических параметров». Это суммирование выходных характеристик представлено на графике зависимостей минимальных воспламеняющих токов ( $I_k$ ) и напряжений, которые используются для определения оценки искробезопасности (рис. 9). Зависимости для представительных взрывоопасных смесей оптимального состава (IIA, IIB, IIC), которые различаются величинами макси-

мально допустимых значений индуктивности цепи, приведены в ГОСТ 22782.5-78 «Электрооборудование взрывозащищённое с видом взрывозащиты „искробезопасная электрическая цепь”», Приложение 3.

В таблице 6 показаны пять максимально допустимых значений индуктивности (воспламеняющие параметры определяются для цепей с такими значениями индуктивности) для подгрупп взрывозащищённого электрооборудования ПС (представительная водородо-воздушная смесь) и ПВ (этилено-воздушная смесь).

Каждая зависимость минимального воспламеняющего тока от напряжения (рис. 9) представлена двумя ограничивающими кривыми и набором вольт-амперных характеристик: кривая 1 соответствует индуктивной цепи, кривая 2 — резистивной цепи.

#### Процедура оценки искробезопасности

Предлагается следующая процедура оценки искробезопасности цепи.

А. Суммарная выходная характеристика определяется графическим суммированием выходных характеристик для нормального режима работы электрооборудования и аварийного режима.

Б. Подгруппа взрывозащищённого электрооборудования должна быть определена в зависимости от параметров взрывозащиты, применяемых для взрывоопасных смесей соответствующих категорий. В приведенном далее примере блок питания относится к подгруппе электрооборудования ПВ и

**Таблица 6. Максимально допустимые значения индуктивности разных подгрупп электрооборудования**

Подгруппа взрывозащищённого электрооборудования	Максимально допустимое значение индуктивности $L_i$ , мГн
ИС	0,15
	0,5
	1
	2
	5
ИВ	0,5
	1
	5
	10
	25

определяет основную категорию взрывоопасной смеси, которая должна соответствовать классификации взрывоопасных смесей горючих газов и паров с воздухом в определённом месте.

**В.** Суммарное значение индуктивности электрической цепи вычисляется из суммы максимально допустимых значений индуктивностей отдельно взятых электротехнических устройств  $L_i$  и индуктивности соединительной линии.

**Г.** Суммарное значение ёмкости электрической цепи вычисляется из суммы максимально допустимых значений ёмкости  $C_i$  отдельно взятых электротехнических устройств и ёмкости соединительной линии.

**Д.** Суммарная характеристика, полученная в пункте А, подставляется в зависимость минимальных воспламеняющих токов и напряжений для представительной взрывоопасной смеси, выбранной в соответствии с подгруппой взрывозащищённого электрооборудования и суммарной индуктивностью.

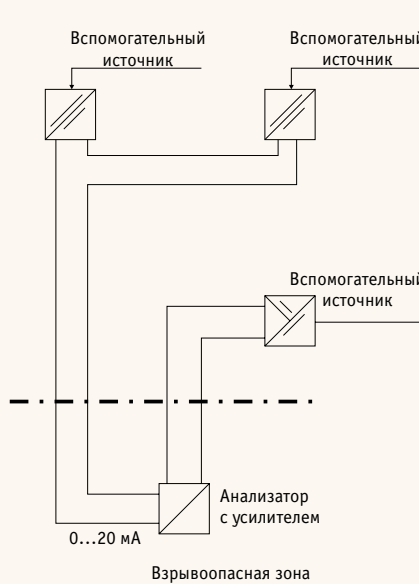
**Е.** Анализируемая схема является искробезопасной, если суммарная ёмкость, определённая в пункте Г, не превышает значения, которое получается из графика зависимости минимального воспламеняющего напряжения от ёмкости цепи  $C_a$ , то есть кривая 1 (рис. 9) не пересекается с суммарной выходной характеристикой.

**Пример 3. Схема с нелинейными элементами**

Этот пример взят из отчёта W39 РТВ. Схема соединения приведена на рис. 10. При нормальном режиме работы электрооборудования активным двухполюсником является только источник питания. Максимально допус-

**А. Индикатор с маркировкой взрывозащиты**

**Ex ib IIC**  
 $U_0=12,0$  В;  
 $I_0=133$  мА;  
 $P_0=0,4$  Вт;  
 $L_0=1,8$  мГн;  
 $C_0=1,7$  мкФ.  
 Находится в пассивном состоянии, в нормальном режиме работы



**В. Записывающее устройство с маркировкой взрывозащиты**

**Ex ib IIC**  
 $U_0=1,0$  В;  
 $P_0=10$  мВт;  
 $C_0=200$  мкФ.  
 Находится в пассивном состоянии, в нормальном режиме работы

**С. Источник питания с маркировкой взрывозащиты**

**Ex ib IIB**  
 $U_0=15,7$  В;  
 $P_0=1,57$  Вт;  
 $C_0 < 650$  нФ.  
 Активный

**Рис. 10. Пример схемы с нелинейными элементами**

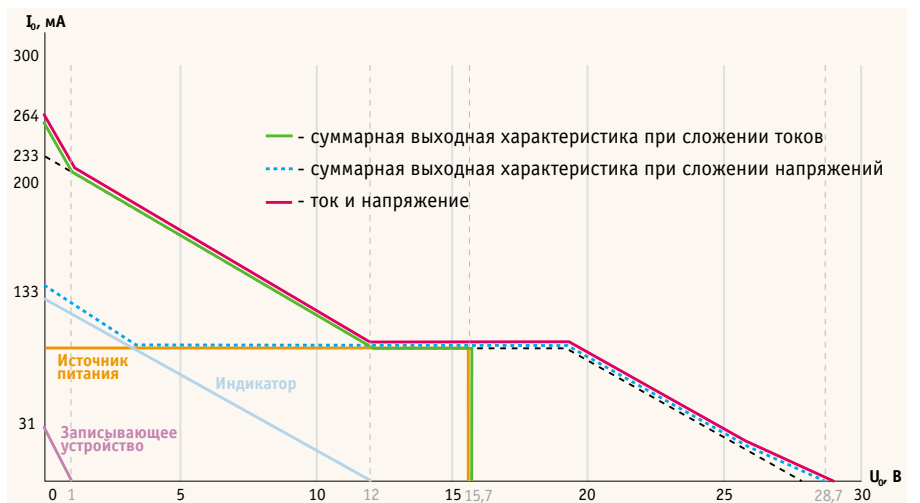
тимые значения тока и напряжения должны быть определены из значений, приведённых в Сертификате соответствия (протоколе испытаний) для наихудшего случая аварийного режима.

Эти максимально допустимые значения получаются посредством графического сложения токов и напряжений из индивидуальных характеристик всего связанного электрооборудования. Так как источник питания рассчитан для использования в представительной взрывоопасной смеси ИВ при минимальном значении индуктивности 1 мГн (другое электрооборудование допускает подключение индуктивностей 1,8 мГн и 36 мГн соответственно), определённая графически суммарная выходная характеристика (рис. 11) вносится в график зависимости минимального воспламеняющего тока от напряжения при максимально допустимом значении индуктивности цепи  $L_a=1$  мГн для этилено-воздушной сме-

си (подгруппа ИВ, рис. 12) и анализируется для случая увеличения токов и напряжений в наиболее неблагоприятном аварийном режиме.

Анализируемая схема (рис. 10) с максимальными значениями  $U_0=28,7$  В,  $I_0=264$  мА,  $P_0=1,9$  Вт,  $L_0=1$  мГн,  $C_0=0,12$  мкФ (см. выделенную синим цветом на графике рис. 12 кривую из семейства зависимостей  $U_0$  от  $C_a$ ) является допустимой, так как суммарная выходная характеристика не пересекается с кривой 1.

Полагая, что связанное электрооборудование (источники питания, самописцы, индикаторы) не имеет каких-либо внутренних индуктивностей и ёмкостей, которые могут повлиять на искробезопасность электрической цепи, максимально допустимые значения индуктивности 1 мГн и ёмкости 0,12 мкФ считаются распределёнными между анализатором и соединительными кабелями.

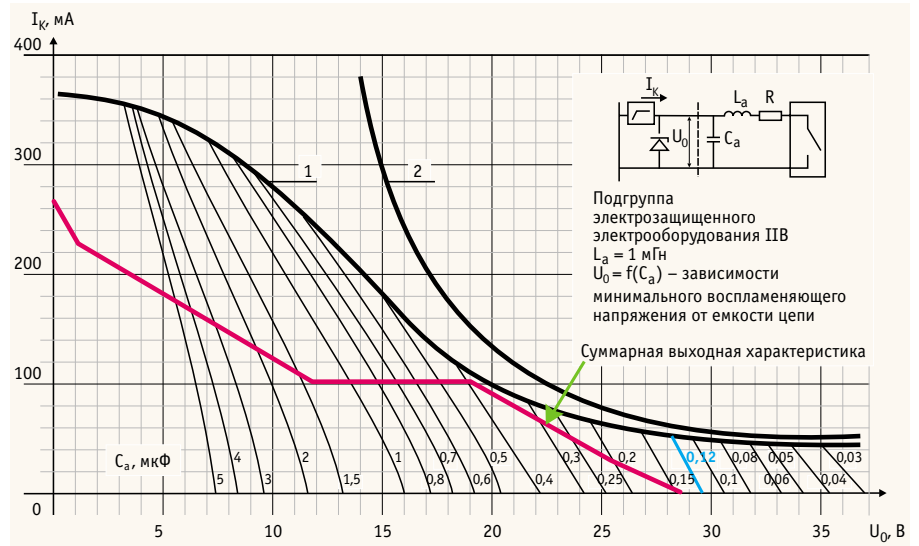


**Рис. 11. Пример графического определения суммарных выходных характеристик**

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При применении электротехнических устройств с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» необходимо руководствоваться рядом основных требований [1].

1. Индуктивность и ёмкость искробезопасных цепей, в том числе соединительных кабелей и проводов, ёмкость и индуктивность которых определяется по справочным характеристикам, расчётом или измерением, не должны превышать максимальных значений, оговоренных в технической документации на эти цепи. Если документацией предписываются конкретный тип кабеля (провода) и его максимальная длина, то их изменение возможно только при наличии заключения компетентной организации в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.021-76 «Система стандартов безопасности труда. Электрооборудование взрывозащищённое. Порядок согласования технической документации, проведения испытаний, выдачи заключений и свидетельств».
2. В искробезопасные цепи могут включаться изделия, которые предусмот-



1 – зависимость минимального воспламеняющего тока от напряжения для индуктивности цепи  $L_a=1$  мГн  
 2 – зависимость минимального воспламеняющего тока от напряжения для омической цепи

**Рис. 12. Пример анализа суммарной выходной характеристики**

рены технической документацией на систему и имеют маркировку «В комплекте... (указывается сокращённое наименование комплекта электрооборудования или системы)». Допускается включать в эти цепи серийно выпускаемые датчики общего назначения, не имеющие собственного источника тока, индуктивности или ём-

кости и удовлетворяющие п. 4 настоящих требований. К таким датчикам относятся серийно выпускаемые приборы общего назначения: термометры сопротивления, термоэлектрические преобразователи (термопары), термисторы, фотоэлементы и подобные им изделия, встроенные в защитные оболочки.



3. Цепь, состоящая из серийно выпускаемых термопары и гальванометра (милливольтметра) общего назначения, является искробезопасной для любой взрывоопасной среды при условии, что гальванометр не содержит в себе других неискробезопасных электрических цепей, в том числе подсветки шкалы.

4. В искробезопасные цепи могут включаться серийно выпускаемые переключатели, ключи, сборки зажимов и т.п. общего назначения при условии, что к ним не подключены другие искробезопасные цепи, они закрыты крышкой и опломбированы, их изоляция рассчитана на трёхкратное номинальное напряжение искробезопасной цепи, но не менее чем 500 В.

Эта статья завершает цикл статей, посвящённых вопросам реализации электрической части систем автоматизации во взрывоопасных зонах. Рассмотрено в основном использование в системах автоматизации технологических процессов взрывоопасных произ-

водств электрооборудования группы II. Учитывая специфичность применения рудничного взрывозащищённого электрооборудования (электрооборудование группы I), предназначенного для подземных выработок шахт и рудников, опасных по газу или пыли, здесь его не рассматривали.

Необходимо помнить, что всё взрывозащищённое электрооборудование, в том числе импортное, группы II (электрооборудование для внутренней и наружной установки, кроме рудничного взрывозащищённого) должно испытываться в российских аккредитованных испытательных лабораториях (центрах) на соответствие требованиям действующих Государственных стандартов: ГОСТ 22782.0 — ГОСТ 22782.7, ГОСТ 12.2.020 и ГОСТ 12.2.021 — и получить свидетельство о взрывозащищённости, утверждённое Главгосэнергонадзором России. В настоящее время в соответствии с письмом Главгосэнергонадзора России № 42-04-04/417 от 30.09.97 аккредитованы три испытательных центра, находя-

щихся на территории Российской Федерации и уполномоченных проводить согласование технической документации на взрывозащищённое электрооборудование, испытывать образцы такого оборудования и оформлять соответствующие заключения или свидетельства:

1. РФЯЦ-ВНИИЭФ, г. Саров.
2. ИГД им. А.А. Скочинского, г. Люберцы Московской области.
3. ВостНИИ, г. Кемерово. ●

### ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие/ А.С. Клюев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, А.А. Клюев. Под. ред. А.С. Клюева.— 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1990.— 464 с.

**В.К. Жданкин — сотрудник  
фирмы ПРОСОФТ  
117313, Москва, а/я 81  
Телефон: (095) 234-0636  
Факс: (095) 234-0640  
E-mail: root@prosoft.ru**