

ОЦЕНКА ИСКРОБЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ВО ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОНАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Бершадский И.А., доц., к.т.н.; Соломатина Л.С., студентка

(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, Украина)

Предприятия нефтехимической, химической, фармацевтической, газоперерабатывающей промышленности, а также ряд предприятий пищевой отрасли предъявляют особые требования к системам управления и контроля технологическими процессами.

Неисправности слаботочных электрических цепей систем управления и контроля подобных объектов (замыкание или появление высокого потенциала в сигнальных цепях) может вызвать искрение и спровоцировать пожар или взрыв.

Вид взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» (ИБЦ), получивший распространение в последние десятилетия, позволяет избежать использования для электрических цепей указанного типа взрывозащитных оболочек, т.е. отсутствует необходимость в прокладке проводов в стальных трубах и расположении приборов в литых алюминиевых коробках, что создавало бы значительные неудобства при монтаже и эксплуатации.

Принято проводить деление ИБЦ на два вида по отношению к образуемым ими искробезопасным электрическим системам [1]:

-электрические цепи только с одним связанным устройством, называемые «элементарными». Связанное устройство не отделено гальванически от искробезопасных цепей в нормальном или аварийном режимах работы;

-электрические цепи с несколькими связанными устройствами, которые способны вырабатывать электрическую энергию в нормальном и аварийном режиме, называемые «объединенными».

В тепловой модели решают систему дифференциальных уравнений в частных производных, определяющую развитие теплового взрыва с учетом явлений теплопроводности и диффузии при экзотермической химической реакции окисления метано-воздушной смеси.

С целью упрощения алгоритма расчета выведены аналитические зависимости, формирующие метод «технической бескамерной тепловой оценки» (ТБТО), что делает решение данной научно-технической проблемы общедоступной для разработчиков рудничной и химической аппаратуры. По результатам накопленных данных вычислительного эксперимента, проведенным по методу БТО, получен массив точек в 3-х мерной области определения, связывающий энергию воспламенения разряда W_B , мДж, его длительность T_p , мс (мкс) и скорость размыкания цепи v , м/с.

Зависимость W_B (v , T_p) аппроксимируется (например, с помощью математического пакета MathCAD 13) в логарифмической системе координат на каждом из участков в виде одной из двух форм представления:

$$W_B = bT_p^k \quad (\text{форма 1}) \quad (1)$$

$$W_B = e^{a_0 + a_1 \cdot \ln(T_p)} \quad , \quad v = 6,5; 4 \text{ м/с} \quad (\text{форма 2}) \quad (2)$$

$$W_B = a_0 + a_1 \cdot \ln T_p \quad , \quad v = 1,8; 0,9; 0,3; 0,11; 0,046 \text{ м/с}$$

где T_p - продолжительность разряда, выраженная в мкс при $v = 6,5; 4$ м/с и в мс при $v = 1,8; 0,9; 0,3; 0,11; 0,046$ м/с; W_B – воспламеняющая энергия разряда в мДж; b , k , a_0 , a_1 – коэффициенты уравнения регрессии.

Пересчет воспламеняющей энергии и времени, определяющей линию перегиба поверхности минимальной воспламеняющей энергии при переходе от участка с постоянной энергии к возрастающему участку (в дальнейшем – время перегиба $T_{п}$), для взрывоопасных газовых смесей различной агрессивности выполняется по уравнениям в форме 1 согласно методу, изложенному в [5] (метод WTU). В результате вычислительных экспериментов получено для группы ПС: $v = 0,046$ м/с, $T_{п} = 2,171$ мс, $W_{в} = 0,484$ мДж; $v = 6,5$ м/с, $T_{п} = 0,034$ мс, $W_{в} = 0,023$ мДж; для группы ПВ: $v = 0,046$ м/с, $T_{п} = 3,22$ мс, $W_{в} = 2,74$ мДж; $v = 6,5$ м/с, $T_{п} = 0,053$ мс, $W_{в} = 0,141$ мДж.

Основной метода оценки искробезопасности сложных индуктивно-емкостных цепей служат результаты работы [6]. Согласно графикам зависимостей минимального воспламеняющего напряжения от емкости цепи по [7] определены воспламеняющие параметры для разных категорий смесей и значений сопротивлений токоограничительного резистора R , Ом, напряжений батареи U , В, емкостей C , мкФ. В расчетах принимаются допущения о постоянстве напряжения разряда $U_{р} = 11$ В и тока окончания переходного процесса $I_{р} = 3$ мА.

Далее строятся графики зависимостей воспламеняющей энергии разряда от его продолжительности, полученные графики $W_{в}(T_{р})$ аппроксимируются с помощью двух форм регрессий: логарифмической $W_{в}(U) = ka(U) \cdot \ln(T_{р}) + kb(U) \cdot \sqrt{T_{р}} + kc(U)$ (смеси группы I, IIА, IIС) и степенной $W_{в}(U) = ka(U) \cdot T_{р}^{kb(U)} + kc(U)$ (смеси группа IIВ), где ka , kb , kc – аппроксимирующие коэффициенты.

Источники питания (ИП) связанных электрических цепей могут иметь не только «линейные», но и «трапецеидальные», и «прямоугольные» выходные характеристики при использовании, например, электронных устройств ограничения тока. Для таких цепей необходима оценка внутренних соединений в аварийных режимах работы, то есть определение наиболее опасных режимов для случаев последовательного (параллельного) соединения источников.

Выходная нагрузочная характеристика ИП содержит следующие параметры:

А. Линейная (рис. 1а) со схемой замещения (рис. 1б)

- напряжение холостого хода U_L , В; ток к.з. I_L , А; максимально допустимая мощность источника $P_{max} = 0,25 U_L I_L$.

Б. Трапецеидальная (рис. 2а) со схемой замещения (рис. 2б)

- напряжение диодов Зенера U_z ; ток к.з. I_0 , А; напряжение линейного холостого хода $U_Q = I_0 \cdot R_Q$; максимально допустимая мощность источника $P_{max} = 0,25 \cdot U_Q \cdot I_0$ при ($U_z > 0,5 \cdot U_Q$) или $P_{max} = U_z \cdot (U_Q - U_z) / R_Q$ для ($U_z < 0,5 \cdot U_Q$).

В. Прямоугольная (рис. 3а) со схемой замещения (рис. 3б)

- напряжение диодов Зенера $U_z = U_0$, В; ток к.з. I_0 , А; напряжение линейного холостого хода: $U_Q \rightarrow \infty$, максимально допустимая мощность источника $P_{max} = U_0 I_0$.

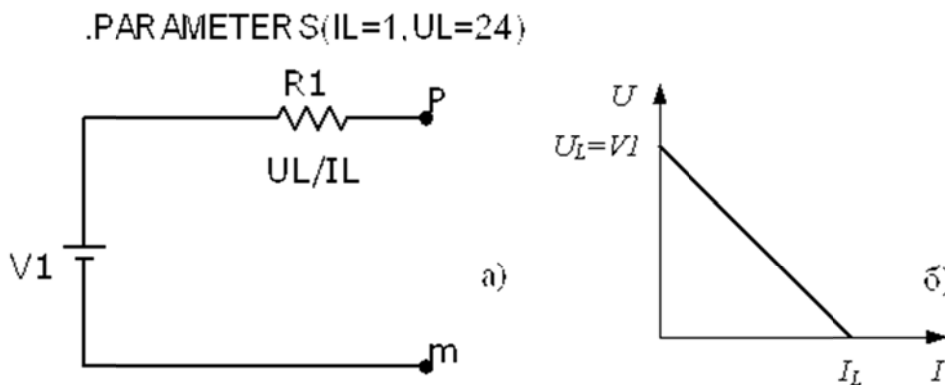


Рисунок 1 – Характеристики ИП с линейной нагрузочной характеристикой

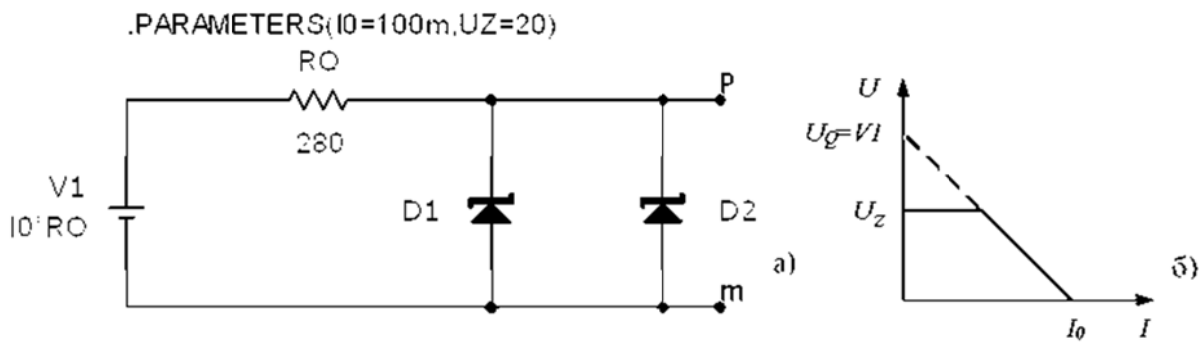


Рисунок 2 – Характеристики ИП с трапецидальной нагрузочной характеристикой

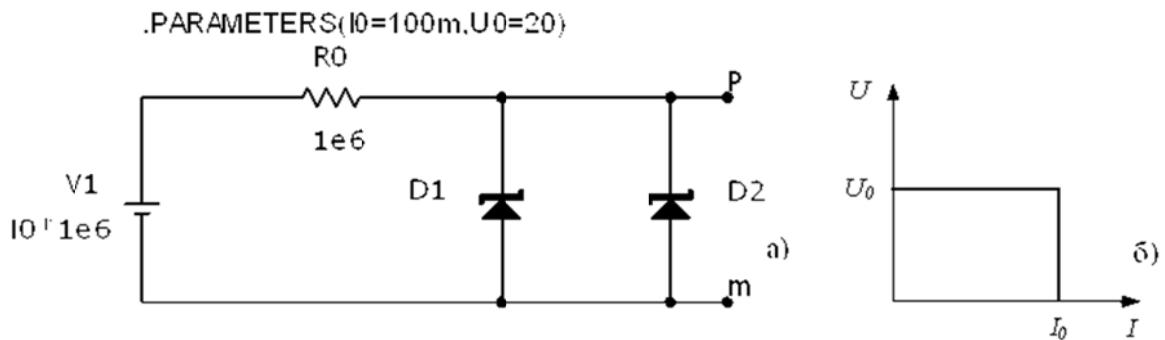


Рисунок 3 – Характеристики ИП с прямоугольной нагрузочной характеристикой

Оценка искробезопасности электрических систем начинается с определения вида нагрузочных характеристик и установления исходных данных (см. выше), которые приведены в сертификатах.

В наиболее общем случае несколько цепей, составляющих электрическую систему в аварийных режимах могут составлять произвольные взаимосвязи, и в зависимости от вида повреждений создавать параллельное или последовательное соединение, т.е. рассматривается сложение, как силы тока, так и напряжения. Т.к. оба случая не могут существовать одновременно, то результирующие вольтамперные характеристики должны моделироваться отдельно.

В завершение оценки рассматривается взаимосвязь соединений активного источника, нагрузки и модели разряда размыкания (индуктивная нагрузка) и разряда замыкания (емкостная нагрузка). Вычислительный эксперимент позволяет получить цифrogramмы переходного процесса в цепи, энергии W_p , выделяемой в разряд, и длительности разряда T_p .

Сравнение этих данных с соответствующими значениями воспламеняющих параметров W_b и T_p дает основания для вывода об опасности рассматриваемой слаботочной электрической системы из-за взрыва от электрического искрения.

Иллюстрация данной методики проведена на примерах оценки источников с различными нагрузочными характеристиками и комбинированной тестовой электрической системы, взятой из [2].

Выводы:

Индуктивность и емкость искробезопасных цепей, в том числе соединительных кабелей и проводов, не должна превышать максимальных значений для данной группы взрывоопасных смесей. В схемах с нелинейными элементами определение безопасных параметров должно выполняться на основании анализа наиболее опасных видов соединений.

При проектировании и разработке измерительных и технологических производств в химической и нефтехимической промышленности часто необходимо объединять несколько сертифицированных изделий с искробезопасными цепями в электрические системы. На основе методов БТО, ТБТО, *WTU*, краткое описание которых приведено в статье, обоснована возможность расчетным путем оценивать безопасность таких систем с линейными и нелинейными цепями для взрывоопасных зон и смесей *I*, *ПВ*, *ПС*.

Осуществлена оценка максимально допустимых присоединительных параметров индуктивностей и емкостей в электрических системах и проведено сравнение результатов расчетов с известным графическим методом [2], которое показало сходимость в пределах шага дискретизации графических зависимостей.

Перечень ссылок

1. Жданкин В.К. Оценка искробезопасности электрических цепей / В.К. Жданкин // Современные технологии автоматизации, 2000. - №3. – С. 72-80.
2. Бершадский И.А. Тестирование метода бескамерной тепловой оценки искробезопасности схемы источника питания / Бершадский И.А., Дубинский Ал.А. // Взрывозащищенное электрооборудование: Сб. научных трудов УкрНИИВЭ. –Донецк, 2011. - С. 230 – 240.
3. Бершадский И.А. Расчет параметров разряда для оценки искробезопасности емкостных цепей / И.А. Бершадский // Уголь Украины. - 2010. - №12. - С. 33-36.
4. ГОСТ Р 51330.10 – 99. Электрооборудование взрывозащищенное, Часть 11. Искробезопасная электрическая цепь «i». - [Введ. с 01.01.2001]. – М.: Госстандарт России, 2000. – 118 с.
5. ГОСТ Р 52350.25 – 2006 (МЭК 60079-25:2003). Электрооборудование для взрывоопасных газовых сред. Часть 25. Искробезопасные системы. [Введ. с 27.09.2006]. – М.: Стандартиформ, 2007. – 57 с.