© А.Л. Трембицкий, 2007

УДК 621.31:622

А.Л. Трембицкий

ВОЗМОЖНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ РАЗМЫКАНИЯ ЦЕПИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ДЛИНЫ ВОЛЬФРАМОВОЙ ПРОВОЛОЧКИ ИСКРООБРАЗУЮЩЕГО МЕХАНИЗМА I-го ТИПА

Семинар № 21

Известно, что скорость размыкания электрической цепи существенно влияет на получаемые значения минимальных воспламеняющих токов (соответствующих вероятности воспламенения 10^{-3}). Рассмотрение этого вопроса показало, что для каждой электрической цепи применительно к конкретной взрывоопасной смеси существует своя наиболее опасная скорость размыкания, отклонение от которой в большей или меньшей степени ведет к увеличению значения минимального воспламеняющего тока. Значения наиболее опасных скоростей размыкания меняются приблизительно от $10^{-2} \div 10^{-1}$ м/с – омические цепи до 4÷11 м/с – индуктивные цепи, которые в основном используются в искробезопасном электрооборудовании. Промежуточные значения скоростей размыкания могут быть наиболее опасными для других типов электрических цепей. При этом следует отметить, что максимальные значения наиболее опасных скоростей размыкания не всегда реализуются на практике. Так, скорость размыкания при обрыве медных проводников, которые применяются в искробезопасном электрооборудовании, не превышает 6,5 м/с [1, 2]. Эта значение скорости принимается как максимальное значение аварийной скорости размыкания проводников в искробезопасном электрооборудовании.

Очевидно, что для объективной оценки искробезопасности электрической цепи необходимо, чтобы искрообразующий механизм обеспечивал реальную наиболее опасную скорость ее размыкания.

В результате рассмотрения изложенных в работах [3, 4, 5] характеристик стандартных искрообразующих механизмов I-го и II-го типов, а также выполненной на основе исследований [1, 2] оценки скорости размыкания торцов медной проволоки, разрываемой в стандартном искрообразующем механизме III-го типа, можно отметить следующее:

1) малые скорости размыкания контактов, пригодные для испытания омических и подобных им электрических цепей реализуются только на искрообразующем механизме I-го типа;

2) большие скорости размыкания контактов имеют место для всех искрообразующих механизмов. Однако в искрообразующем механизме I-го типа скорость размыкания излишне большая, что может приводить, например, в случае малоиндуктивных цепей к завышенным значениям минимальных воспламеняющих токов. В искрообразующих механизмах II-го и III-го типов скорости размыкания несколько ниже, чем необходимо для

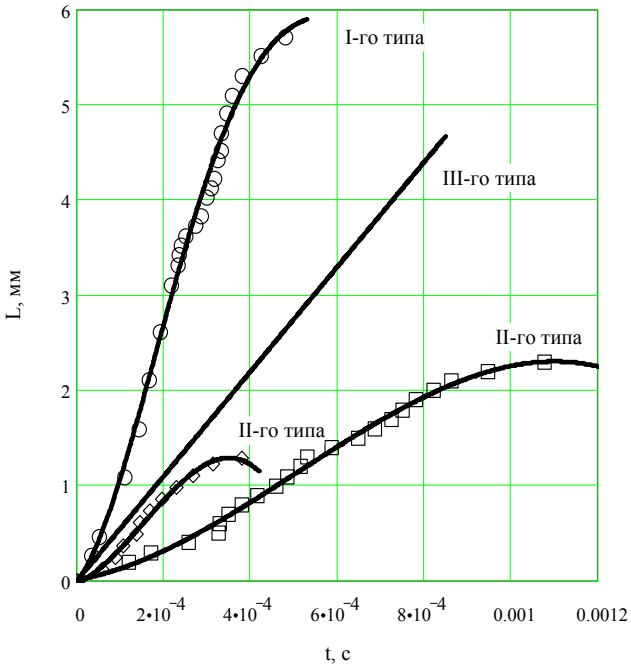

Рис. 1. Зависимости расстояния между контактами от времени для стандартных искрообразующих механизмов

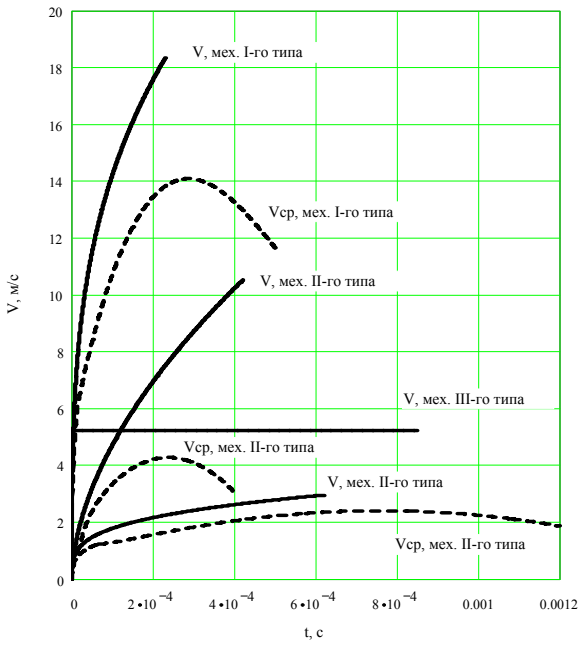

Рис. 2. Зависимости скорости между контактами от времени для стандартных искрообразующих механизмов

оценки искробезопасности электрических цепей в условиях максимальной аварийной скорости размыкания. Это также приводит к необъективной оценке искробезопасности, например, к завышению минимального воспламеняющего тока в цепях с большой индуктивностью.

Характеристики движения контактов стандартных искрообразующих механизмов по данным работ [1, 2, 3, 4] приведены на рис. 1 и 2. На графиках для искрообразующего механизма II-го типа приведены зависимости, относящиеся к движению середины проволочки и ее конца. Пунктиром на рис. 2 показаны средние значения скоростей.

Рассмотрение зависимостей (рис. 2) показывает, что имеются большие диапазоны скоростей, которые не могут быть охвачены стандартными искрообразующими механизмами. Очевидно, что лучшим выходом из такого положения может быть только использование бескамерных методов оценки искробезопасности или создание пригодного для камерных испытаний искрообразующего механизма с регулируемой скоростью размыкания контактов. Полностью отказаться от камерных испытаний и перейти к бескамерной оценке искробезопасности электрических цепей пока невозможно, хотя, в конечном итоге, именно доля

бескамерных методов будет постоянно увеличиваться. Создание необходимого искрообразующего механизма также достаточно сложная задача, которая в полном объеме еще не решена. Описанный в [6] искрообразующий механизм с регулируемой скоростью раз-мыкания контактов не полностью отвечает требованиям, предъявляемым к такому механизму. Это, прежде всего, низкое быстродействие и недостаточная долговечность. Данный искрообразующий механизм может быть использован только для разовых испытаний, когда, например, с помощью бескамерного метода оценки определена наиболее опасная скорость размыкания и она достаточно далека от реализуемой стандартным искрообразующим меха-низмом, а другим способом оценить искробезопасность цепи не представляется возможным. Такое сочетание бескамерной оценки и камерных испытаний нашло воплощение в разработанном способе испытаний электрических цепей на искробезопасность во взрывных камерах [7]. В этом способе первоначально с помощью бескамерного метода выбирается самая опасная испытательная электрическая цепь и определяется наиболее опасная скорость ее размыкания. Затем данная цепь испытывается во взрывной камере при наиболее опасной скорости ее размыкания на искрообразующем механизме. Это позволяет провести испытания при наиболее опасных условиях и значительно сократить их трудоемкость.

Более простым способом снизить остроту этой проблемы можно путем расширения области применения искрообразующего механизма I-го типа, на котором в настоящее время проводятся практически все камерные испытания электрических цепей на искробезопасность. Скорость движение вольфрамового контакта искрообразующего механизма I-го типа под действием силы упругости сильно зависит от длины проволочки и начального отклонения ее конца. Изменяя эти параметры можно в широком диапазоне изменять скорость размыкания контактов.

Под действием силы упругости проволочный контакт механизма I-го типа совершает сложные колебательные движения. Проведенные исследования показали, что движение проволочки механизма I-го типа после ее упругого соскакивания с кадмиевого диска в основном определяется первыми тремя формами собственных колебаний. При этом уравнение движения конца проволочки достаточно сложное и громоздкое [3]. В данном случае нам необходимо только оценить возможности регулирования скорости размыкания контактов за счет изменения длины проволочки и начального отклонения ее конца. Поэтому здесь достаточно учитывать только первую форму собственных колебаний проволочки. Движение конца проволочки в этом случае представляет собой обычную синусоиду, и расстояние между концом проволочки и кадмиевым диском описывается уравнением [8]:

$$l_k = y_0[1 - \cos(\omega \cdot t)], \qquad (1)$$

где l_k - расстояние между концом вольфрамовой проволоки и кадмиевым диском; y_0 - начальное отклонение проволочки; ω - частота собственных колебаний проволочки; t - время.

Скорость конца вольфрамовой проволочки определялась путем дифференцирования функции (1).

$$\omega = \frac{1.875^2}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{\mu}}, \qquad (2)$$

где $E = 36 \cdot 10^{10}$ Н/м^2 - модуль упругости 1-го рода; $J=7{,}9 \cdot 10^{-17}$ м^4 - момент инерции поперечного сечения; l - длина проволочки; $\mu = 6{,}1 \cdot 10^{-4}$ кг/м - погонная масса проволочки.

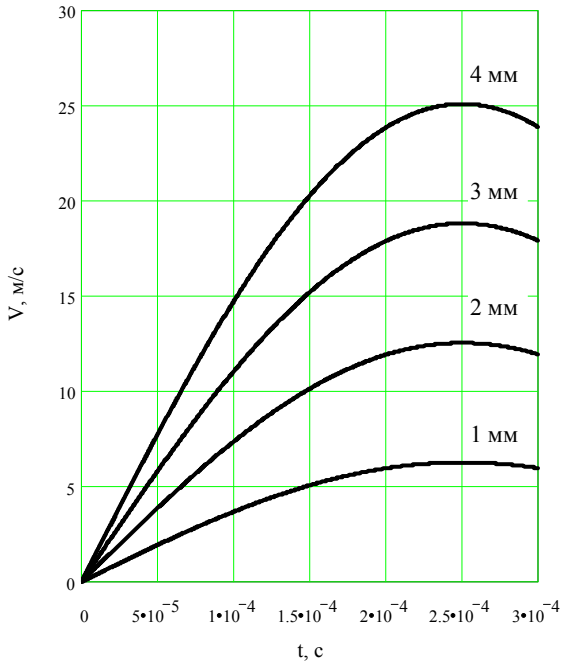

Рис. 3. Зависимости скорости размыкания контактов от времени для вольфрамовой проволочки длиной 11 мм при различных начальных отклонениях ее конца

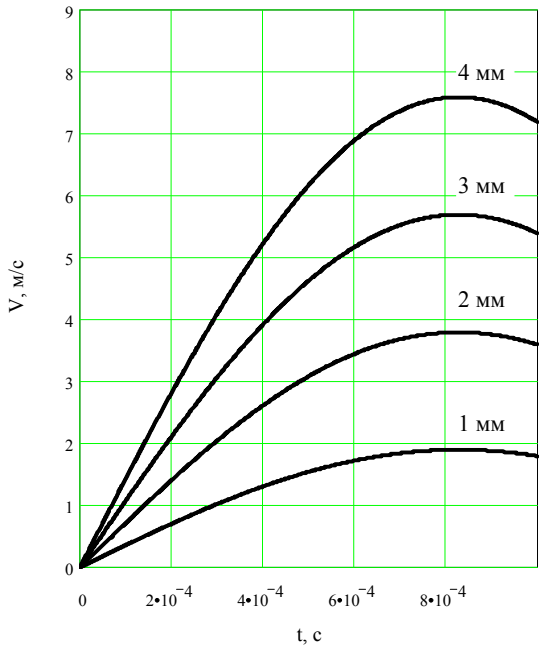

Рис. 4. Зависимости скорости размыкания контактов от времени для вольфрамовой проволочки длиной 20 мм при различных начальных отклонениях ее конца

Частота собственных колебаний вольфрамовой проволочки диаметром $2 \cdot 10^{-4}$ м находилась из выражения [9]:

Полученные в результате расчетов зависимости скорости размыкания контактов искрообразующего механизма I-го типа для длин вольфрамовой проволочки 11, 20 и 30 мм при начальном отклонении каждой из них на 4, 3, 2 и 1 мм приведены на рис. 3-5.

Рассмотрение зависимостей рис. 3-5 показывает, что за счет изменения указанных выше параметров максимальная скорость размыкания контактов может быть снижена от значения 25 м/с до 1,5–2,5 м/с, т. е. до скоростей, которые без больших технических трудностей могут быть реализованы посредством искрообразующих механизмов с регулируемой скоростью размыкания контактов.

Таким образом, имея несколько искрообразующих механизмов I-го типа с различными расстояниями между держателем проволочек и кадмиевым диском и устанавливая в них вольфра-

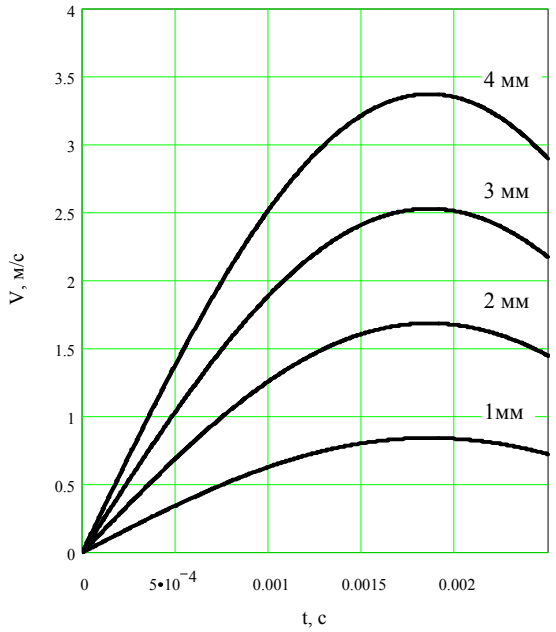

Рис. 5. Зависимости скорости размыкания контактов от времени для вольфрамовой проволочки длиной 30 мм при различных начальных отклонениях ее конца

рамовые проволочки разной длины, а также используя простой искрообразующий механизм с регулировкой скорости до 2,5–3 м/с, можно в широких пределах менять скорость размыкания цепи. Это позволит снизить вероятность проведения испытаний электрических цепей при скоростях размыкания контактов, значительно отличающихся от наиболее опасных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Gordon R.L., West L.C.W., Widginton D.W.* The ignition of methane-air mixtures by arc discharges of controlled duration. // Institution of Electrical Engineers Conference Report Series. - London: 1962. - No. 3. - P. 15 - 20.

2. *Погорельский А.Е.* Закономерности образования разрядного промежутка при разрушении токоведущих жил. // Взрывобезопасное электрооборудование. - М.: Энергия, 1973. - Вып. IX. - С. 35-40.

3. *Трембицкий А.Л.* Исследование дви-жения вольфрамовой проволочки искро-образующего механизма I-го типа. // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2003. - №11. - С. 237 - 238.

4. *Трембицкий А.Л.* Установление зако-на движения контактов искрообразующего механизма II.//Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2004. - №1. - С. 312 - 316.

5. *Трембицкий А.Л.* К оценке опасности разрядов размыкания на искро-образующем механизме МЭК. // Газоэлек-тробезопас-ность горных работ. - М.: ИПКОН АН СССР, 1990. - С. 101 - 110.

6. *Трембицкий А.Л.* Искрообразующий механизм с регулируемой скоростью разве-дения контактов. // Актуальные вопросы безопасности горных работ. - М.: ИПКОН РАН, 1994. - С. 143 – 149.

7. А.с. 1315621 (СССР). МКИ E21F 5/00. Способ испытаний электрических цепей на искробезопасность во взрывных камерах / А.Л. Трембицкий, А.Т. Ерыгин; ИПКОН АН СССР; Заявл. 03.12.85. №3985421/22-03; опубл. в Б.И., 1987, №21,– УДК 621.3.064.24(088.8).

8. *Сопротивление* материалов - Киев: Вища шк. Головное изд-во, 1986. - 775 с.

9. *Бабаков И.М.* Теория колебаний. - М.: Наука, 1968. - 560 с.

Коротко об авторах

Трембицкий А.Л. – ведущий научный сотрудник ИПКОН РАН, доктор технических наук.