ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІРНИЧИХ РОБІТ

УДК 622:621.31

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ КОММУТАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИСКРОБЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

В. П. Диденко, канд. техн. наук (МакНИИ)

Визначено статистичні характеристики вибірки швидкості комутації. При швидкості комутації на іскроутворюючому механізмі I типу до 0,5 м/с щільність її розподілу підпорядковується логнормальному закону, а понад 0,5 м/с – відповідає гамма-розподіленню. Ця залежність може бути використана при оцінці ймовірності запалення газової суміші електричними розрядами.

Ключові слова: іскробезпека, швидкість комутації, електричне коло, електричний розряд, щільність розподілу.

Определены статистические характеристики выборки скорости коммутации. При скорости коммутации на искрообразующем механизме I типа до 0,5 м/с плотность ее распределения подчиняется логнормальному закону, а выше 0,5 м/с – соответствует гамма-распределению. Эта зависимость может быть использована при оценке вероятности воспламенения газовой смеси электрическими разрядами.

Ключевые слова: искробезопасность, скорость коммутации, электрическая цепь, электрический разряд, плотность распределения.

Statistical characteristics of the sample of switching rate are defined. At switching rate on spark test apparatus of type I up to 0,5 km/s the density is distributed according to the log-normal law, and above 0,5 km/s conforms with the gamma density. This dependence can be used to estimate ignition probability of gas mix by electric discharges.

Key words: intrinsic safety, switching rate, electric circuit, electric discharge, distribution density.

Известно, что скорость коммутации оказывает определяющее влияние на воспламеняющую способность разрядов большинства типов слаботочных электрических цепей. Показано [1], что при обрыве медных проволок скорость расхождения контактов составляет 4,5…6,5 м/с. Исследования воспламеняющей способности индуктивных и омических цепей проводились при скоростях коммутации от 0,046 до 6,5 м/с, которые реализуются при испытаниях с помощью искрообразующего механизма I типа (МЭК). Вероятность воспламенения газовой смеси определяется вероятностью появления разрядов с оптимальной (наиболее опасной) скоростью коммутации.

Целью настоящей работы является определение статистических характеристик скорости коммутации, в том числе ее плотности вероятности при испытаниях на искрообразующем механизме I типа.

Исследования скорости коммутации проведены на основе анализа напряжения на разрядах в омической цепи напряжением 50 В с ограничительным резистором 98 Ом и стабилитроном, подключенным к выходным выводам. Напряжение стабилизации стабилитрона равно 22,5 В. За 2,8 с зарегистрировано 257 разрядов, максимальное напряжение на которых превысило 21 В.

Анализ полученных осциллограмм показал, что скорость роста напряжения на разряде не является величиной постоянной. И даже для близких по длительности разрядов она изменяется как в течение разряда, так и от одного разряда к другому. В связи с этим скорость коммутации определялась как среднее значение на протяжении разряда, а именно делением прироста средней длины разрядного промежутка на половину длительности разряда:

$$V_{ср} = 2(L_{ср} - L_{min})/T_{ср},$$

где $L_{ср}$ и L_{min} – соответственно среднее и минимальное значения длины разрядного промежутка; $T_{ср}$ – среднее значение длительности разряда.

Значение минимальной длины разряда, соответствующее его началу, будет равно нулю.

Из уравнения напряжения на разряде [2] определяется зависимость длины разряда от времени:

$$l(t) = (u(t) - U_0)/(a + \frac{b}{i(t)}),$$

где $u(t)$ и $i(t)$ – зависимости соответственно напряжения и тока разряда от времени; U_0 – сумма катодного и анодного падений напряжения на разряде; a и b – коэффициенты модели разряда.

Используя осциллограмму напряжения на разряде и уравнение, связывающее напряжение и ток исследуемой омической цепи, определяется массив значений длины разряда от времени $l(t)$ (рис. 1). Средняя длина каждого разряда находится как среднее значение массива $l(t)$.

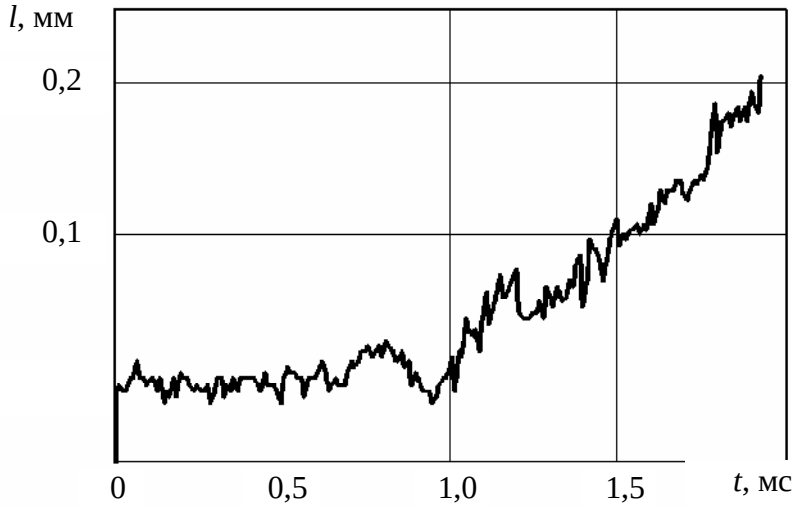

Рис. 1. Зависимость длины разряда от времени

Изменение средней скорости коммутации от 0,039 до 3,25 м/с (рис. 2) приводит к уменьшению длительности разряда от 4,8 мс до 50 мкс.

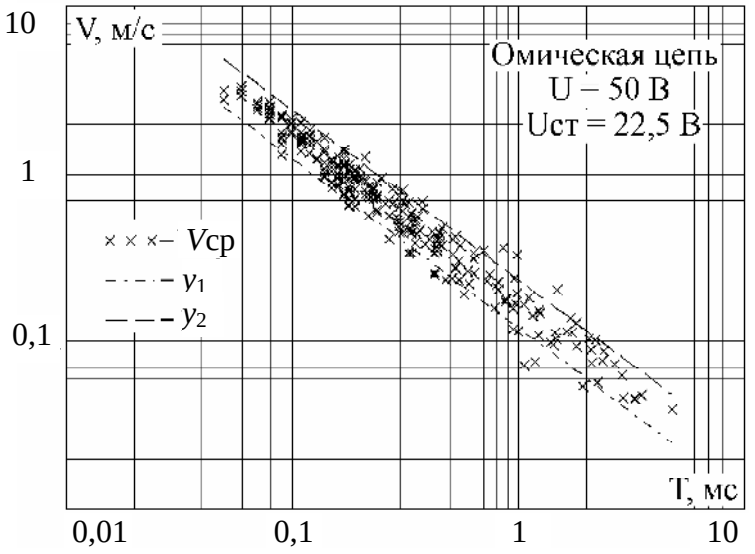

Рис. 2. Зависимость средней скорости коммутации $V_{ср}$ (ее нижний y_1 и верхний y_2 доверительные интервалы среднего (p = 0,95)) от длительности разрядов

При коммутации омической цепи искрообразующим механизмом I типа зарегистрированы разряды (см. рис. 1), развивающиеся на начальном этапе с низкой скоростью коммутации. При этом напряжение на разряде близко к 10 В, контакты находятся близко друг к другу, и доля энергии, идущая на нагрев газа, мала. В дальнейшем скорость расхождения контактов увеличивается, и большая часть выделившейся в разряд энергии приходится на этот этап. В таблице представлены параметры данного разряда (в колонке «Полный разряд»), а также параметры, определенные для диапазона времени разряда от 1 до 1,9 мс: $T_р$ – длительность разряда, $V_{ср}$ – средняя скорость коммутации, $W_р$ – выделившаяся в разряд энергия [3], $W_в$ – воспламеняющая энергия [4], k_i – коэффициент искробезопасности по энергии [5] для 8,3 % метано-воздушной смеси.

Параметры электрического разряда

Параметры	Полный разряд	Участок от 1 до 1,9 мс
$T_р$, мс	1,93	0,93
$V_{ср}$, м/с	0,0538	0,183
$W_р$, мДж	3,38	2,47
$W_в$, мДж	6,51	2,98
k_i	0,52	0,83

Так, на участке от 1 до 1,9 мс скорость коммутации в 3,4 раза больше, чем в среднем по разряду, в разряд выделяется 73 % энергии, а воспламеняющая энергия уменьшилась в 2,2 раза. Ясно, что для любого разряда воспламеняющая способность части разряда не может быть выше, чем разряда в целом. Поэтому

увеличение коэффициента искробезопасности k_i в 1,6 раза для второго участка разряда по сравнению со всем разрядом может быть связано только с невозможностью учета изменения скорости коммутации и возникающей погрешностью при расчетах для средней скорости коммутации.

Для этого разряда более достоверной будет оценка воспламеняющей способности по участку разряда в диапазоне от 1 до 1,9 мс, чем по всему разряду.

Исключить из рассмотрения начальные участки разрядов, которые имеют низкую скорость коммутации и малую выделяемую энергию, но вносят большую погрешность в расчет средней скорости коммутации, можно путем повышения порога начального напряжения на разряде с 8 до 10 В. Последующий анализ скорости коммутации проведен с учетом этого фактора.

При низких значениях скорости коммутации (начиная с 0,03 м/с) наблюдается увеличение плотности вероятностей с возрастанием скорости коммутации (рис. 3).

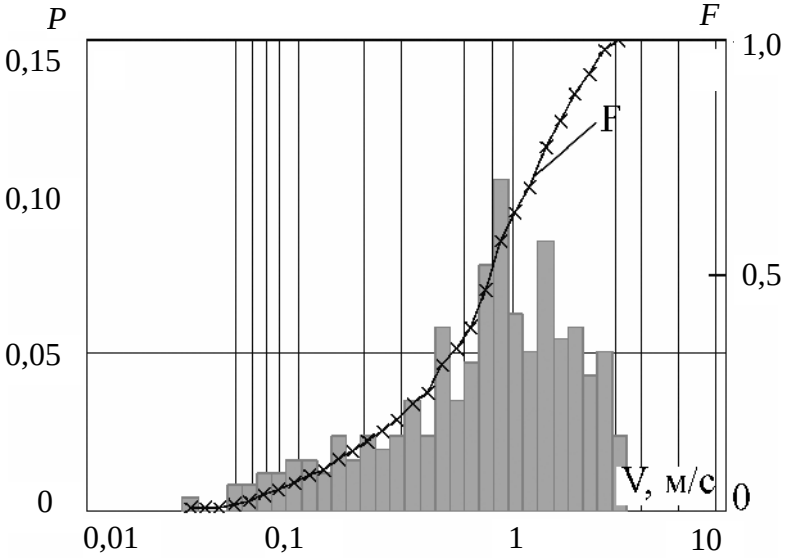

Рис. 3. Зависимости плотности *P* и функции *F* распределения средней скорости коммутации при минимальном напряжении на разряде 10 В

Рассматриваемый массив скорости коммутации является мультимодальным. Медиана равна 0,86 м/с при среднем значении элементов массива 1,04 м/с. Минимальное и максимальное значения скорости коммутации в разрядах, зарегистрированных в данном опыте, соответственно равны 0,028 и 3,45 м/с.

Скорости коммутации в диапазоне от 0,03 до 0,06 м/с имеют 2 % разрядов. При расширении верхней границы диапазона до 0,21 м/с количество разрядов возрастает до 21 %. Максимальную вероятность (10,5 %) имеют разряды со скоростью коммутации порядка 0,89 м/с. При дальнейшем увеличении скорости коммутации наблюдается тенденция снижения ее плотности вероятностей.

Проверка соответствия плотности распределения скорости коммутации стандартным законам показала, что при скорости коммутации на искрообразующем устройстве (механизме I типа) до 0,5 м/с плотность ее

распределения подчиняется логнормальному закону, а выше 0,5 м/с – соответствует гамма-распределению.

Дальнейший путь развития данного направления видится в учете изменения скорости коммутации в течение разряда, что сопряжено с необходимостью разработки критерия оценки воспламеняющей способности разрядов, учитывающего такое изменение скорости коммутации.

Выводы

Определены статистические характеристики выборки скорости коммутации. При скорости коммутации на искрообразующем механизме I типа до 0,5 м/с плотность ее распределения подчиняется логнормальному закону, а выше 0,5 м/с – соответствует гамма-распределению. Данная зависимость может быть использована при оценке вероятности воспламенения газовой смеси электрическими разрядами.

1. *Ерыгин А. Т.* Методы оценки искробезопасности электрических цепей / *А. Т. Ерыгин, А. Л. Трембицкий, В. П.Яковлев*. – М.: Наука, 1984. – 256 с.

2. *Коган Э. Г.* Вопросы оценки и обеспечения искробезопасности аппаратуры автоматизации горных машин: Автореф. дис. … канд. техн. наук. М.: Моск. горн. ин-т, 1972. –16 с.

3. *Диденко В. П.* Современные подходы к оценке и обеспечению искробезопасности электрических цепей / *В. П. Диденко* // Уголь Украины. – 2007. – № 9. – С. 39–42.

4. *Didenko V. P.* Metoda szacowania możliwości zapłonu przez wyładowanie w obwodach iskrobezpiecznych // Innowacyjne I bezpieczne systemy mechanizacyjne do eksploatacji surowców mineralnych: KOMAG, Zakopane, 14–16.11.2006 r. –T. 2. – S. 5–9.

5. *ГОСТ* Р 51330.10-99. Электрооборудование взрывозащищенное. Ч. II. Искробезопасная электрическая цепь «i»; Введ. с 01.01.2001 – М.: Госстандарт России. – 2000. – 118 с.