

## РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

А.А. Сошников, О.В. Полухин

Анализ статистики пожаров свидетельствует, что среди всех аварийных режимов работы электрических сетей именно короткое замыкание (КЗ) создает наибольшую вероятность возникновения пожара. При этом установлено, что наиболее пожароопасными видами электротехнических устройств являются электропроводки [1]. В основном, такое положение является следствием того, что обычные меры электрической защиты не учитывают пережигającego действия электрической дуги короткого замыкания, при возникновении которой время развития пожароопасной ситуации много меньше времени срабатывания электрической защиты. Разработка рекомендаций по эксплуатации электроприборов, учитывающих фактор дугового короткого замыкания, создание новых средств защиты и диагностики аварийных режимов и последующее их внедрение может резко сократить количество пожаров и случаев электротравматизма. Эффективная реализация указанных мер предполагает наличие исчерпывающей информации о характеристиках электротехнических изделий в условиях аварийных режимов работы. Исследование пережигającego действия дугового короткого замыкания дает основу для прогнозирования «поведения» токопроводящих жил, кабелей и проводов в целях их дальнейшего безопасного использования. Основными характеристиками пережога являются время пережога и соответствующая величина тока КЗ. Исследования по определению характеристик пережога проводят на основе физического моделирования, путем проведения контролируемого опыта короткого замыкания. Физическое моделирование сопряжено с техническими и организационными проблемами. Поэтому актуальна задача дополнить натурный эксперимент вычислительным. Однако, на сегодняшний день не существует целостной и строгой математической модели дугового короткого замыкания в рамках которой можно было бы определить требуемые характеристики пережога. Создание такой модели является сложнейшей задачей из-за отсутствия данных о характере распределения плотности тока в основании дуги и механизме перемещения оснований по поверхности токопроводящих

жил, сведений о зависимости теплофизических параметров материала контактных пар от температуры дуги и др.

Основываясь на известных зависимостях построим алгоритм определения приближенной оценки времени пережога проводника при заданном значении тока короткого замыкания, для чего рассмотрим механизм возникновения и течения дугового короткого замыкания.

Прежде всего, в начале процесса происходит замыкание одного проводника на другой. В результате этого под действием теплоты, выделяемой в переходном контакте, происходит очень быстрый разогрев некоторой локальной зоны проводников, непосредственно примыкающей к точке касания.

Металл в этой точке плавится и испаряется. При определенной силе тока бурное вскипание металла приводит к образованию и разбрызгиванию раскаленных частиц, при этом возможно загорание отдельных частиц.

Уменьшение сечения проводников в точке замыкания (вследствие их плавления и испарения) приводит к еще большему нагреву зоны КЗ. При определенной силе тока количество выделяемого тепла может достигнуть порогового значения, и в результате происходит электрический взрыв жидкой перемычки и разрыв цепи.

При разрыве цепи происходит изменение напряженности электромагнитного поля, в результате чего может произойти пробой газа искрой.

После искрового разряда, возможно, что разряд полностью затухнет или возникнет дуговой разряд. Возникновение дугового разряда, как показали различные исследования, зависит от сопротивления канала, образованного искровым разрядом. Если это сопротивление меньше некоторого порогового сопротивления то возникает дуга.

Возникновение дуги приводит к разрушению проводников, что в свою очередь, приводит к увеличению расстояния между ними. Увеличение расстояния и некоторые внешние факторы гасят дугу. Момент окончания электрической дуги является концом процесса короткого замыкания.

Зависимость времени пережога проводника от величины тока короткого замыкания может быть получена исходя из предположения о электрическом взрыве жидкой перемычки проводниковых материалов, возникающем в зоне КЗ.

Условием взрыва перемычки является равенство [2]:

$$Q_{II} = Q_{исп},$$

где  $Q_{II}$  - количество теплоты, выделившееся в перемычке за время короткого замыкания;  $Q_{исп}$  - количество теплоты, необходимое для испарения перемычки.

Количество теплоты  $Q_{II}$ , выделившееся в перемычке за время короткого замыкания определяется равенством [2], Дж:

$$Q_{II} = \frac{2\rho}{\pi d_{эл}^2} I_k^2 l_k \tau_k,$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление жидкого металла, Ом·м;  $l_k$  - длина перемычки в момент взрыва, м;  $\tau_k$  - длительность короткого замыкания, с;  $d_{эл}$  - диаметр электрода, м.

Диаметр перемычки  $d$ , характерный для взрывного процесса, выражается формулой [2], м:

$$d = 2 \sqrt{\frac{I_k}{\pi J}},$$

где  $J$  - плотность тока в начале взрывного процесса, обычно

$$J = (1..5) \cdot 10^7 \text{ A/cm}^2.$$

Количество теплоты  $Q_{исп}$ , необходимое для испарения перемычки определяется выражением [2]:

$$Q_{исп} = \frac{\pi d^2}{4} l_k q_n \gamma,$$

где  $q_n$  - удельная теплота фазового превращения металла, Дж·кг<sup>-1</sup>;  $\gamma$  - плотность расплавленного металла, кг·м<sup>-2</sup>;

Таким образом, время процесса короткого замыкания  $\tau_k$  можно определить [2]:

$$\tau_k = \frac{\pi q_n \gamma d_{эл}^2}{2 \rho I_k J}.$$

Результаты расчетов с использованием данных зависимостей для алюминиевых проводов приведены на рис. 1.

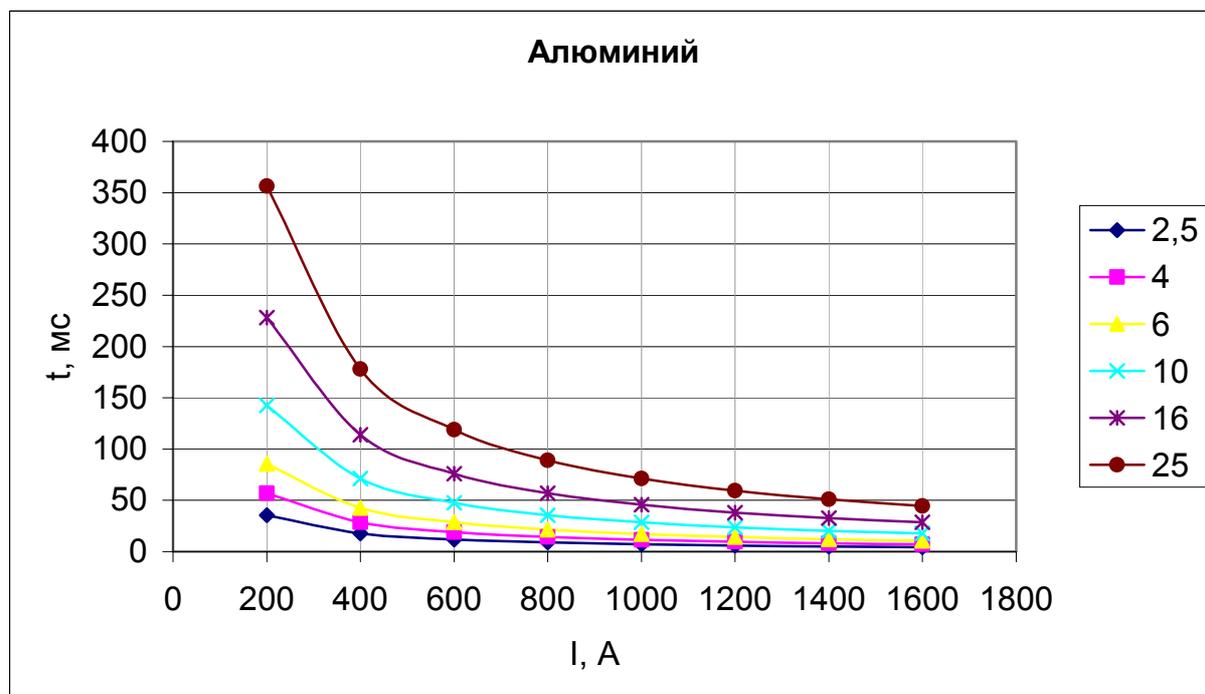


Рисунок 1 – Результаты расчетов для алюминиевых проводов

## РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Результаты расчетов с использованием данных зависимостей для медных проводов приведены на рис. 2.

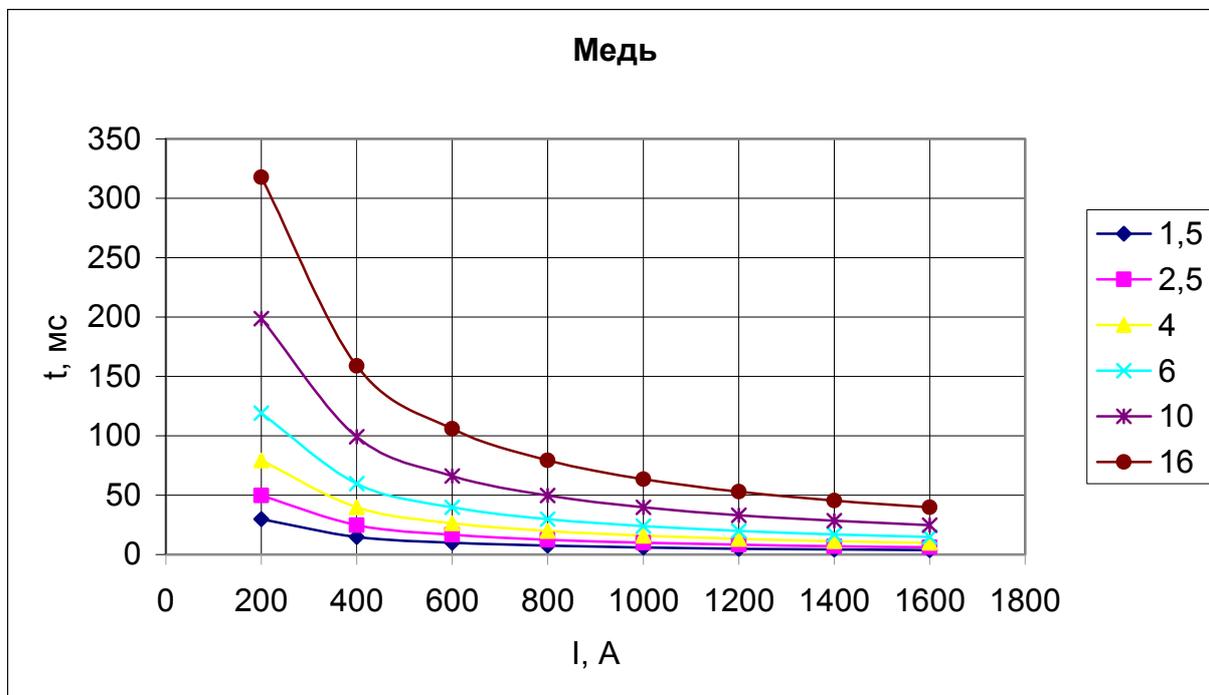


Рисунок 2 – Результаты расчетов для медных проводов

Необходимость введения различного рода упрощений и допущений ограничивает область применения данных зависимостей, что приводит к поиску способов, способных расширить область применения расчетных средств, заместить дорогостоящие натурные эксперименты.

Данные о характеристиках пережога проводника током дугового короткого замыкания полученные экспериментальным путем позволяют уточнить некоторые компоненты формул для получения более адекватного расчета.

Повышение адекватности методов расчета параметров КЗ с использованием данных полученных экспериментальным путем в конечном итоге позволит получать характеристики пережога без проведения физического моделирования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сошников А.А. Защита систем сельского хозяйства 0,38кВ от аварийных режимов. Автор. дисс. на соискание д.т.н. – М., 1992.
2. Смелков Г.И. Пожарная опасность электропроводок при аварийных режимах. – М.: Энергоатомиздат, 1984.