

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕЖИГАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ДУГОВОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

О.В. Полухин

В статье рассмотрены вопросы учета фактора дугового короткого замыкания в мероприятиях по обеспечению электропожаробезопасности. Представлен метод определения параметров, характеризующих пожарную опасность электропроводок.

Ключевые слова: электрическая дуга, короткое замыкание, технология предупреждения пожаров, эксперимент, электропроводка.

Одну из наиболее масштабных угроз безопасности России представляют пожары, а также аварии на объектах ЖКХ. Угрожающий характер, прежде всего, представляет обстановка с электропожарами, т.е. пожарами, обусловленными различными причинами, связанными с электричеством. По данным МЧС РФ [1] за 2011 год общее количество пожаров в России составило более 160 тыс.

При этом, более 40 тыс. – это доля электропожаров от общего числа пожаров. Эти причины порождены нарушениями правил устройства и эксплуатации электрооборудования.

Анализ статистики за предыдущие года (2007-2010гг.) свидетельствует, что высокий уровень доли электропожаров является трендом, предопределенным следующими факторами:

- высоким уровнем электрификации производства и быта населения, сопровождающимся ростом потребления электроэнергии, увеличением числа электроустановок и бытовых электроприборов, протяженностью электросетей;

- значительным износом основных электроэнергетических;

- несовершенством электросетей и электрической защиты от пожароопасных режимов;

- низким уровнем эксплуатации электроустановок.

Анализ распределения пожаров в России по видам изделий приводит к очевидному выводу, что основной проблемной частью электроэнергетической инфраструктуры является электрический кабель (провод). Как видно из таблицы 1, количество пожаров, вызванных проблемами с этим видом электро-

технических изделий составляет более 70% от общего числа электропожаров.

Таблица 1 – Распределение пожаров в России, происшедших в 2011г., по видам изделий (устройств, материалов), на которых (от которых) возник пожар

Наименование изделия (устройства, материала)	Количество пожаров, ед.
Кабель, провод	29209
Выключатель, вилка, эл.розетка, разветвитель	3180
Бытовой электронагревательный прибор	3141
Электрораспределительный щит, счетчик	2526
Холодильник	1235
Плита электрическая	898
Электроосветительный прибор	890
Видеоотображающая аппаратура	637
Электроинструмент	625
Трансформатор, стабилизатор	413
Электробытовая машина	353
Автоматический выключатель	217
ЭВМ, оргтехника	188
Электродвигатель	153
Электроутюг	116
Кондиционер	110
Электрозвонок	108

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕЖИГАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ДУГОВОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Таблица 2 – Среднегодовое распределение пожаров по причинам, связанным с неисправностью или неправильной эксплуатацией электротехнических изделий

Причина пожара	Количество пожаров, %
Короткое замыкание	68,8
Перегрев электроприборов	20,8
Большое переходное сопротивление	5,5
Перегрузка электроустановок	2,7
Несоблюдение безопасного расстояния от электроустановок до горючих материалов	2,2

В таблице 2 приведены сведения о пожарах по причинам, связанным с неисправностью или неправильной эксплуатацией электротехнических изделий, по результатам исследований ВНИИПО. Как явствует из этих данных, в подавляющем большинстве случаев причиной является короткое замыкание (КЗ).

Для предотвращения КЗ проводятся профилактические мероприятия, ставятся предохраняющие устройства, отключающие электроэнергию. Сложилось мнение, что применение предохранителей и автоматических выключателей решает проблему защиты внутренних электропроводок от короткого замыкания. Однако, статистика свидетельствует об обратном.

К числу основных технических причин такого положения можно отнести следующие:

- во-первых, недостатки действующих методик выбора электрической защиты [2]. До выхода 7-го издания ПУЭ принималось, что необходимая чувствительность защиты обеспечивается, если величина тока КЗ не менее, чем в 3 раза превышает номинальный ток плавкой вставки предохранителя или теплового расцепителя автоматического выключателя. Однако при такой кратности тока предохранитель или автоматический выключатель срабатывают за время от 10 до 100 с. При этом электромагнитные расцепители автоматических выключателей часто вообще не реагируют на токи КЗ малой величины. В 7-м издании ПУЭ (п. 1.7.79.) проверка чувст-

вительности электрической защиты предусмотрена не по кратности к току КЗ, а по времени срабатывания, которое при номинальном фазном напряжении 220 В не должно превышать 0,4 с. При этом в цепях, питающих распределительные, групповые, этажные и др. щиты и щитки, а также (при выполнении определенных условий электробезопасности) в цепях, питающих только стационарные электроприемники от распределительных щитов или щитков, допускается увеличение этого времени до 5 с. Такое время срабатывания не гарантирует исключение пожарной опасности КЗ из-за существенно более высокой скорости протекания пожароопасных процессов. Следует отметить, что в настоящее время действуют обе методики.

- не учитывается пережигание действие электрической дуги, сопровождающей большинство коротких замыканий. При этом время развития пожароопасной ситуации значительно меньше времени срабатывания электрической защиты.

Разработка рекомендаций по эксплуатации электроприборов, учитывающих фактор дугового короткого замыкания, создание новых средств защиты и диагностики аварийных режимов и последующие их внедрение может резко сократить количество пожаров и случаев электротравматизма.

Разработанная в Алтайском государственном техническом университете технология обеспечения пожарной и электрической безопасности позволяет строить электрическую защиту с учетом дугового короткого замыкания [3]. Для своего функционирования технология требует значений предельных характеристик пережога проводников электрической дугой короткого замыкания.

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.

Получение достоверных характеристик пережога расчетным (аналитическим) путем на сегодняшний день затруднено, ввиду отсутствия строгого математического описания электрической дуги как физического явления. Создание такого описания является сложноразрешимой задачей из-за отсутствия данных о характере распределения плотности тока в основании дуги и механизме перемещения оснований по поверхности токопроводящих жил, сведений о зависимости теплофизиче-

ских параметров материала контактирующих поверхностей от температуры дуги и др. Поэтому задача получения характеристик пережога, как правило, решается на основе физического моделирования.

Проанализируем основные черты моделируемого явления. С физической точки зрения процесс металлического КЗ происходит следующим образом. 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 чего происходит электрический взрыв жидкой перемычки и разрыв цепи. Разрушение перемычки приводит к образованию ударной волны, разбрызгивающей жидкий металл. При разрыве цепи происходит изменение напряженности электромагнитного поля, в результате чего может произойти пробой газа искрой и последующее возникновение дуги. 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.

Условием взрыва перемычки является равенство:

$$Q_h = Q_{tr},$$

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

Количество теплоты Q_h , выделившееся в перемычке за время короткого замыкания определяется на основании закона Джоуля-Ленца равенством, Дж:

$$Q_h = \frac{4\rho I_k^2 l_k \tau_k}{\pi d^2},$$

где ρ - удельное сопротивление жидкого металла, Ом·м; l_k - длина перемычки в момент взрыва, м; τ_k - длительность короткого

замыкания, с; d - диаметр перемычки, м. Диаметр перемычки определяется из соотношения величины тока и плотности тока:

$$d^2 = \frac{4I_k}{\pi j}.$$

Количество теплоты Q_{tr} , необходимое для испарения перемычки определяется выражением:

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

где q_n - удельная теплота фазового превращения металла, Дж·кг⁻¹;

γ - плотность расплавленного металла, кг·м⁻³;

Таким образом, после преобразований получаем зависимость времени протекания процесса дугового короткого замыкания от величины тока:

$$\tau_k = \frac{q_n \gamma \pi d^2}{\rho I_k j}.$$

Полученное выражение позволяет получить лишь приблизительную оценку продолжительности дугового короткого замыкания. Точные значения возможно получить на основе физических экспериментов.

Экспериментальные исследования воздействия токов короткого замыкания на электропроводку были начаты в 60-е годы во ВНИИПО МВД СССР и затем в течении ряда лет проводились под руководством д.т.н. Г. И. Смелкова [4]. Требуемая величина тока короткого замыкания достигалась с помощью как сварочного, так и силового трансформаторов [4]. Испытуемый образец изолированного провода с оголенным участком длиной 10 мм помещался внутрь стальной трубы. Напряжение 220В от силового трансформатора мощностью 630кВА прикладывалось между проводником и трубой. Последовательно в цепь короткого замыкания включался дополнительный проводник, используемый в качестве ограничивающего сопротивления. Процесс короткого замыкания фиксировался с помощью осциллографа. При соприкосновении проводника с участком трубы возникало как недуговое металлическое короткое замыкание, так и короткое замыкание через электрическую дугу. В результате происходило либо приваривание проводника к трубе, либо его пережигание. Наименьшее время пережигания проводников достигалось в случае устойчивого дугового короткого замыкания. Однако данным опытным путем весьма сложно получить такой вид короткого замыкания без предварительного замыкания и последующего разрыва цепи короткого замыкания, что искажает результаты эксперимента.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕЖИГАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ДУГОВОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

В Алтайском государственном техническом университете разработан автоматизированный метод исследования дугового короткого замыкания. В основе метода лежит экспериментальная установка, позволяющая в автоматизированном режиме проводить контролируемые испытания электропроводки электрической дугой короткого замыкания.

Основными преимуществами данной установки являются:

- зона образования искусственного короткого замыкания, содержащая специальный технологический слой выполненный по техническому решению RU 2249826 C2, позволяет получать именно дуговые короткие замыкания;

- автоматизация процесса получения данных;

- возможность исключения влияния аperiodической составляющей тока короткого замыкания, искажающей результат измерения при малой длительности дугового разряда;

- повышение точности за счет измерения тока КЗ непосредственно в процессе короткого замыкания;

- возможность исследования пережигающего эффекта при длительности дугового разряда менее одного полупериода.

Основу экспериментального метода составляет инновационная экспериментальная установка, позволяющая в автоматизированном режиме проводить контролируемые опыты по пережогу широкого спектра проводников электрической дугой короткого замыкания в различных условиях.

Основными преимуществами установки являются:

- возможность получения незатухающей электрической дуги за счет создания зоны образования искусственного короткого замыкания, содержащей специальный технологический слой по техническому решению RU 2249826 C2;

- автоматизация процесса получения данных;

- возможность исключения влияния аperiodической составляющей тока короткого замыкания, искажающей результат измерения при малой длительности дугового разряда;

- повышение точности за счет проведения измерений непосредственно в процессе короткого замыкания;

- возможность исследования пережигающего эффекта при длительности дугового разряда менее одного полупериода.

Экспериментальная установка представляет собой информационно-измерительную систему.

Состав установки условно можно разделить на экспериментальную электрическую цепь и систему обработки информации и управления.

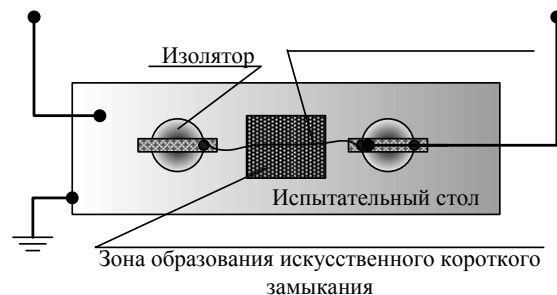


Рисунок 1 – Испытательный стол

Экспериментальная электрическая цепь содержит испытательный стол с зоной образования искусственного короткого замыкания (Ошибка! Источник ссылки не найден.), силовой трансформатор для питания экспериментальной цепи, ограничивающее ток сопротивление из манганина, коммутатор (Ошибка! Источник ссылки не найден.), осуществляющий функцию замыкания экспериментальной цепи в определенный момент времени. Система обработки информации и управления образована персональным компьютером, блоком сопряжения и специализированным программным обеспечением. Блок сопряжения основан на микроконтроллере AT Mega16 и предназначен для обработки сигнала и передачи его в компьютер.

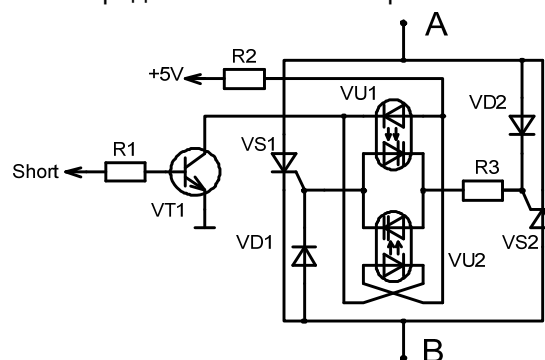


Рисунок 2 – Коммутатор

На схеме (Ошибка! Источник ссылки не найден.) обозначены: ограничивающего сопротивления, пропорционального току дугового КЗ

S2, S3 – цифровой сигнал, соответствующий величине тока дугового КЗ,

S4, S5, S6 – управляющие сигналы,
 $I_{экс}$ – ток дугового КЗ, протекающий в
 экспериментальной цепи,
 S1 – аналоговый сигнал в виде напряже-
 ния, снимаемого с одного из участков.

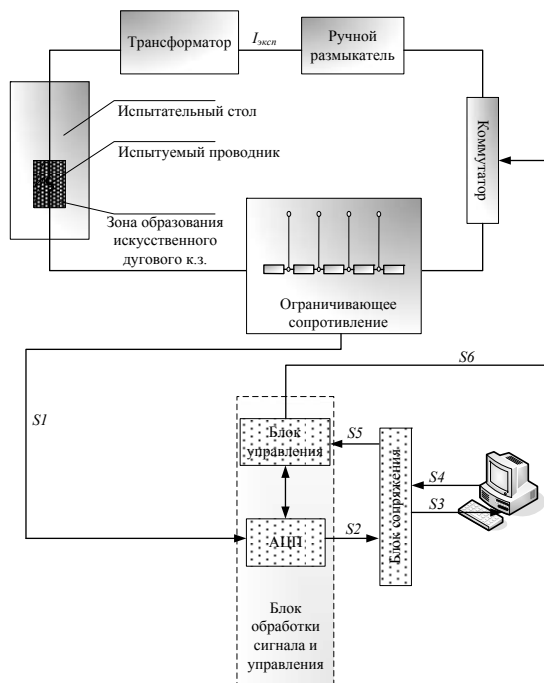


Рисунок 3 – Схема функционирования установки

В начальный момент времени экспериментальная цепь разомкнута. Замыкание цепи предусмотрено с помощью коммутатора. Ручной размыкатель замкнут. Начало опыта инициируется сигналом с ПЭВМ (S4). Сигнал на начало опыта передается через блок сопряжения на блок управления цифровой обработки и управления (S5). Блок управления выдает сигнал на коммутатор (S6), а также, взаимодействует с АЦП. Коммутатор, получив запускающий сигнал, замыкает экспериментальную электрическую цепь. Трансформатор обеспечивает необходимый диапазон значений силы тока. В качестве питающего трансформатора используется силовой трансформатор мощностью 630-1000 кВА, напряжением 6-10/0,4 кВ, соединенный с распределительным пунктом реально действующей электрической сети. В ячейке РУ-0,4 кВ убраны трансформаторы тока, счетчик, автоматы и шины. Кабели к ограничивающему сопротивлению и к размыкателю подсоединяются в однофазном режиме. В каждом

конкретном опыте величина тока регулируется с помощью ограничивающего сопротивления, имеющего отводы для указанной регулировки. Таким образом, после замыкания коммутатора в экспериментальной электрической цепи начинает протекать ток КЗ. В зоне образования искусственного дугового КЗ, в месте замыкания испытуемого проводника на контактную поверхность, благодаря наличию специального слоя выполненного согласно технического решения RU 2249826 С2, возникает электрическая дуга. Специальный технологический слой создает условия, благодаря которым в процессе опыта получается именно дуговое короткое замыкание. Данный слой выполняет функцию ионизирующей среды и препятствует привариванию проводника к участку проводящей контактной поверхности. В каждый момент времени, после начала опыта, напряжение пропорциональное току КЗ (S1) снимается с одного из резисторов ограничивающего сопротивления и подается в АЦП блока обработки сигнала и управления. Двоичный код (S2) соответствующий значению аналогового сигнала, через блок сопряжения поступает на параллельный порт ПЭВМ (S3) и далее фиксируется в базе данных характеристик пережога. Опыт заканчивается разрывом цепи при пережоге испытуемого проводника либо сигналом с ПЭВМ на размыкание коммутатора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пожары и пожарная безопасность в 2011 г. Статистический сборник – М., 2012.
 2. Сошников, С.А. Снижение пожарной опасности коротких замыканий в электроустановках объектов агропромышленного комплекса/ С.А. Сошников // Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук.– М.:– 2008.-24 с.
 3. Никольский, О.К. Комплексная система обеспечения безопасности электроустановок сельских населенных пунктов. Методические и практические рекомендации [Текст]/О.К. Никольский, А.А. Сошников, О.Н. Дробязко, Т.В. Еремина, С.А. Сошников, Ю.С. Лукьянов, С.Н. Серов, Б.С. Компанеев, С.Ф. Нефедов, О.В. Полухин; под ред. А.А. Сошникова. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011.- 112 с.
 4. Смелков, Г.И. Пожарная безопасность электропроводок [Текст]/ Г.И. Смелков. - М.: ООО "КАБЕЛЬ", 2009. - 328 с.
- Полухин Олег Викторович, Алтайский государственный технический университет имени И. И. Ползунова, 656038, соискатель, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46*