

УДК 621.311: 631.372

О.В. Полухин

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДУГОВОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ**

*Разработан автоматизированный метод на основе использования экспериментальной установки для реализации физического моделирования дугового короткого замыкания.*

*Данный метод позволяет получить требуемые параметры незатухающей электрической дуги за счет технического решения RU 2249826 C2.*

**Ключевые слова:** дуговое короткое замыкание, параметры, зависимости, характеристики, расчеты, моделирование.

O.V. Polukhin

**AUTOMATED TECHNIQUE FOR PARAMETER DETERMINATION OF THE ARC SHORT CIRCUIT**

*The automated technique is developed on the basis of the use of the experimental installation for the arc short circuit physical modeling realization.*

*This technique allows to receive the demanded parameters of the continuous electric arc by means of the RU 2249826 C2 technical solution.*

**Keywords:** arc short circuit, parameters, dependences, characteristics, calculations, modeling.

Высокий уровень электрификации производственной и бытовой сфер жизнедеятельности общества неизбежно сопровождается соответствующим ростом рисков возникновения пожаров от электротехнических изделий. Анализ статистических данных позволил установить, что наиболее пожароопасными видами этих изделий являются электропроводки и кабельные линии, а короткие замыкания (КЗ) и перегрузки являются самыми опасными видами аварийных режимов электрических сетей [1]. Тем самым подвергается сомнению распространенное мнение, что традиционное применение предохранителей и автоматических выключателей решает проблему защиты электропроводок от КЗ.

К числу основных технических причин такого положения можно отнести, 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 чувствительности 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.

Во-вторых, при выборе защиты не учитывается пережигающее действие электрической дуги, сопровождающей большинство КЗ. При этом время развития пожароопасной ситуации часто оказывается значительно меньше времени срабатывания электрической защиты.

Разработанная в Алтайском государственном техническом университете технология обеспечения пожарной и электрической безопасности позволяет строить электрическую защиту с учетом дугового короткого замыкания [3]. Указанная технология использует в качестве входных параметров предельные характеристики пережога проводника электрической дугой короткого замыкания. В качестве таковых рассматриваются время пережога и соответствующая величина тока КЗ. Предельные характеристики соответствуют устойчивому, без затухания, горению дуги короткого замыкания. Таким образом, целью исследования ставится разработка технологии получения предельных характеристик пережигающего действия электрической дуги короткого замыкания.

Достижение цели исследования предполагает решение следующих задач:

- получение предельных характеристик пережога расчетным методом на основе математического моделирования;
- получение указанных характеристик на основе физического моделирования.

### Расчетный метод

При построении алгоритма расчета параметров электрической дуги может быть использован один из подходов, предложенный в [1], в соответствии с которым локальная зона проводников, в которой сосредоточено переходное сопротивление представляет собой цилиндр диаметром  $d$ , длиной  $l_k$ , массой  $m$  и плотностью  $\gamma$ .

Теплота, выделяющаяся в месте переходного сопротивления, определяется с помощью закона Джоуля-Ленца  $Q=RI^2t$ . Связь между величиной тока  $I_k$  и плотностью тока  $J$  выражается зависимостью  $I_k=J\pi d^2/4$ . Значение плотности тока  $J$  обычно принимают равным  $(1...5)\cdot 10^7$  А/см<sup>2</sup>. Данная величина подлежит корректировке по результатам физического моделирования. Количество теплоты, необходимое для испарения металла в месте переходного контакта, пропорционально массе металла и удельной теплоте фазового превращения (испарения) металла и определяется формулой  $Q=m q_n$ , где  $m = \pi d^2 l_k \gamma / 4$ .

Зависимость времени пережога проводника от величины тока короткого замыкания получена исходя из предположения о электрическом взрыве жидкой перемычки проводниковых материалов, возникающем в зоне КЗ [1].

Условием взрыва перемычки является равенство

$$Q_n = Q_{ucn},$$

где  $Q_n$  – количество теплоты, выделившееся в перемычке за время короткого замыкания;  $Q_{ucn}$  – количество теплоты, необходимое для испарения перемычки.

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

$$Q_n = 4\rho l_k^2 I_k \tau_k / (\pi d^2),$$

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  $d$  определяется из соотношения величины тока и плотности тока:  $d^2=4I_k/\pi J$ .

Количество теплоты  $Q_{ucn}$ , необходимое для испарения перемычки, определяется выражением

$$Q_{ucn} = I_k q_n \gamma \pi d^2 / 4,$$

где  $q_n$  – удельная теплота фазового превращения металла, Дж·кг<sup>-1</sup>;

$\gamma$  – плотность расплавленного металла, кг·м<sup>-3</sup>.

Полученная после преобразований зависимость времени протекания процесса дугового короткого замыкания от величины тока, имеет вид

$$\tau_k = q_n \gamma \pi d^2 / (\rho I_k J).$$

Данная зависимость может быть уточнена на основе данных, полученных путем физического моделирования.

### Физическое моделирование

Для реализации физического моделирования дугового короткого замыкания разработан автоматизированный метод исследования дугового короткого замыкания.

В основе метода лежит использование экспериментальной установки, позволяющей в автоматизированном режиме проводить контролируемые опыты по пережогу медных и алюминиевых проводников различного сечения электрической дугой короткого замыкания. 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 С2;
- автоматизация процесса получения данных;
- возможность исключения влияния апериодической 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 пережигającego эффекта при длительности дугового разряда менее одного полупериода.

Экспериментальная установка представляет собой информационно-измерительную систему.

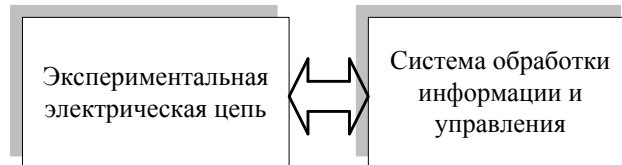


Рис. 1. Состав установки

Состав установки (рис. 1) условно можно разделить на экспериментальную электрическую цепь (рис. 2) и систему обработки информации и управления (рис. 3).

Экспериментальная электрическая цепь содержит испытательный стол с зоной образования искусственного короткого замыкания (рис. 4), силовой трансформатор для питания экспериментальной цепи, ограничивающее ток сопротивление из манганина, коммутатор (рис. 5), осуществляющий функцию замыкания экспериментальной цепи в определенный момент времени.

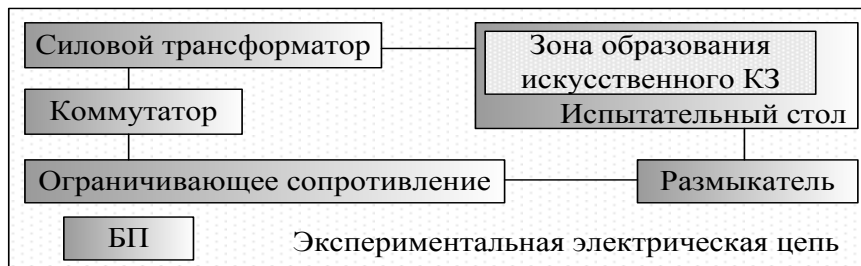


Рис. 2. Экспериментальная электрическая цепь

Система обработки информации и управления образована персональным компьютером, блоком сопряжения и специализированным программным обеспечением.

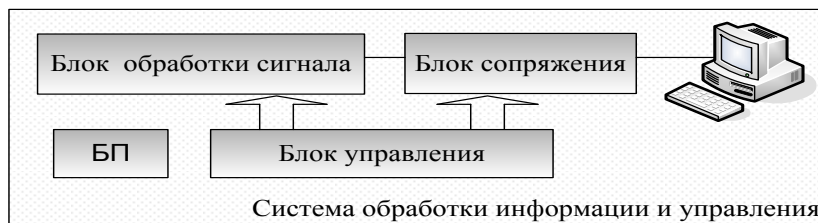


Рис. 3. Система обработки информации и управления

Блок сопряжения основан на микроконтроллере AT Mega16 и предназначен для обработки сигнала и передачи его в компьютер.

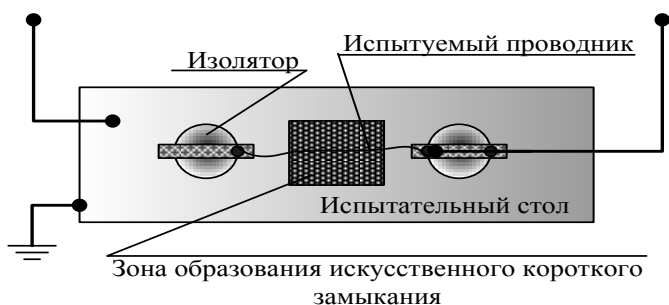


Рис. 4. Испытательный стол

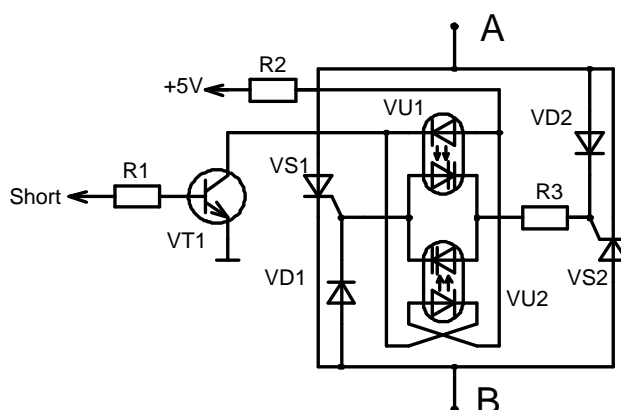


Рис. 5. Коммутатор

На рисунке 6 обозначены: S1 – аналоговый сигнал в виде напряжения, снимаемого с одного из участков ограничивающего сопротивления, пропорционального току дугового КЗ; S2, S3 – цифровой сигнал, соответствующий величине тока дугового КЗ; S4, S5, S6 – управляющие сигналы;  $I_{\text{экс}}$  – ток дугового КЗ, протекающий в экспериментальной цепи.

В начальный момент времени экспериментальная цепь разомкнута.

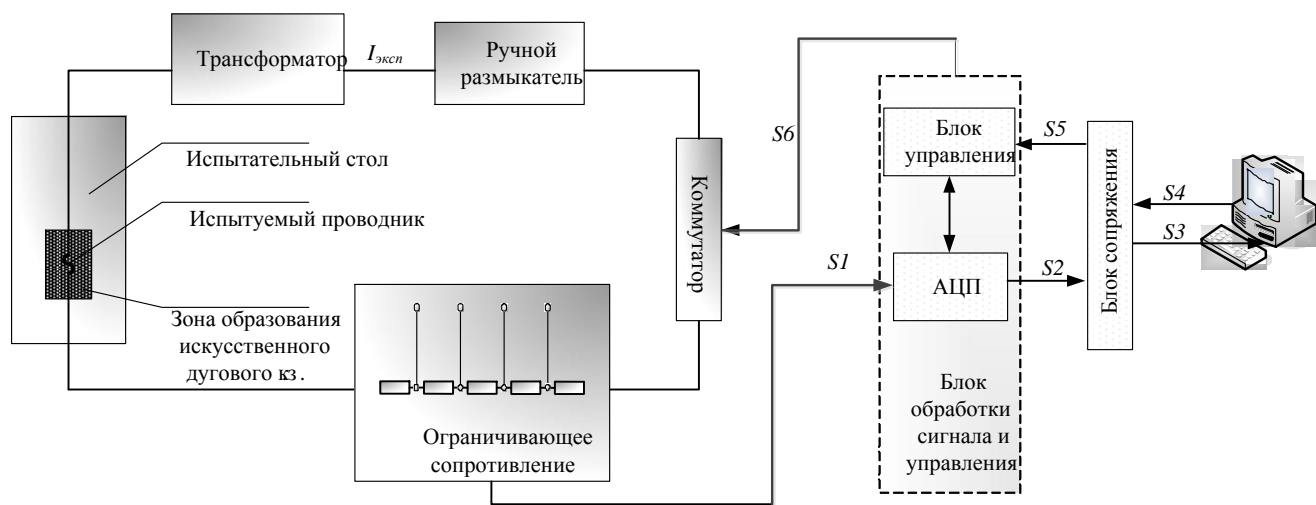


Рис. 6. Схема функционирования установки

Замыкание цепи предусмотрено с помощью коммутатора. Ручной размыкатель замкнут. Он служит для размыкания экспериментальной электрической цепи в случае наступления какой-либо нештатной ситуации. Начало опыта инициируется сигналом с ПЭВМ (S4). Сигнал на начало опыта передается через блок сопряжения на блок управления блока 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 (рис. 7) 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.

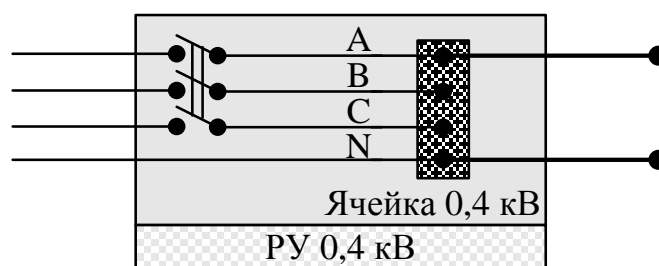


Рис. 7. Подключение к трансформатору

Специальный технологический слой создает условия, благодаря которым в процессе опыта получается именно дуговое короткое замыкание. 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.

### Выводы

1. На основе расчетных методов возможно получение лишь приближенных значений характеристик пережога. Получение точных и достоверных характеристик пережога расчетным путем на сегодняшний день не представляется возможным из-за сложности строгого математического описания электрической дуги. Проблема создания такого описания обусловлена отсутствием 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.

2. Физическое моделирование на основе использования предложенного автоматизированного метода исследования дугового короткого замыкания, хотя и сопряжено с техническими и организационными трудностями, дает возможность получить достоверные значения времен пережога и соответствующих величин тока КЗ.

3. Целесообразным является использование сочетания расчетных методов и физического моделирования. При этом результаты физического моделирования используются, для уточнения параметров математических моделей, положенных в основу расчетных методов, с целью улучшения адекватности и чувствительности модели.

### Литература

1. Смелков Г.И. Пожарная безопасность электропроводок. – М.: ООО «КАБЕЛЬ», 2009. – 328 с.
2. Сошников С.А. Снижение пожарной опасности коротких замыканий в электроустановках объектов агропромышленного комплекса: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2008. – 24 с.
3. Комплексная система обеспечения безопасности электроустановок сельских населенных пунктов: метод. и практ. рекомендации / О.К. Никольский [и др.]. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011. – 112 с.



УДК 631.326:621.365.46

Е.Г. Худогова, И.А. Худогов, А.М. Худогов

#### ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ЧАБРЕЦА МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*В статье представлены результаты исследований процесса обеззараживания лекарственного растительного сырья чабреца при помощи управляемого инфракрасного излучения.*

**Ключевые слова:** чабрец, лекарственное сырье, микробная чистота, инфракрасный нагрев.

*E.G. Khudonogova, I.A. Khudonogov, A.M. Khudonogov*

#### DESINFECTION OF THE THYME MEDICINAL VEGETATIVE RAW MATERIAL BY MEANS OF THE INFRARED RADIATION METHOD

*The research results of the process of the thyme medicinal vegetative raw material disinfection by means of the controlled infrared radiation are given in the article.*

**Key words:** thyme, medicinal raw material, microbial purity, infrared heating.

---

**Введение.** Микробная чистота лекарственных растений имеет большое значение в химико-фармацевтическом производстве, а также при производстве оздоровительных чаев из дикорастущего и культивируемого растительного сырья используемых населением. Одной из задач по ее обеспечению является создание новых способов и средств, позволяющих эффективно снижать микробную загрязненность нестерильных лекарственных растений до уровня, установленного научно-технической документацией. На сырье растительного происхождения введены фармакопейные требования по микробной чистоте.

Основными параметрами, характеризующими процесс стерилизации, является температура, которую необходимо поддерживать в стерилизационном аппарате, и время, в течение которого материалы подвергаются нагреванию [1]. Эти два показателя можно назвать микробиологическими в процессах стерилизации, поскольку именно ими определяется гибель микроорганизмов. Однако как нельзя говорить о летальном времени, не учитывая температуры стерилизации, так нельзя говорить и о температуре, не связывая ее со временем, необходимым для такой обработки. Летальные условия для определенного вида организмов нельзя определить лишь одной температурой, а только определенным сочетанием – летальная температура – время.

Цель настоящего исследования – выбор оптимального режима ИК-облучения до требуемых стандартов, удовлетворяющего микробиологической чистоте.

**Объекты и методы исследования.** Объектом исследования являлось растительное лекарственное сырье чабреца ползучего (*Thymus serpyllum* L.). Сырье подвергалось сушке в естественных условиях, было загрязнено дрожжевыми и плесневыми грибами ( $10^5/g$ ), кишечными бактериями ( $10^4/g$ ) и аэробными бактериями (более  $10^7/g$ ).

В результате применения метода математического планирования эксперимента для каждого объекта получены параметры оптимального режима термообработки: время ИК-обработки, температура обработки, интенсивность ИК-облучения, толщина слоя. Для проведения замеров электротехнических параметров: напряжения, тока, мощности, расхода электрической энергии – использовали как отдельные электроизмерительные приборы, так и электроизмерительный комплект К-505. Измерение температуры нагрева перераба-