

ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2022. Т. 31. № 1. С. 99–104
POZHAROVZRYVOBEZOPASNOST/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2022; 31(1):99-104

УДК 614.849/311.3

<https://doi.org/10.22227/0869-7493.2022.31.01.99-104>

Пожарная опасность больших переходных сопротивлений. От теории к практике. Часть 2

Александр Сергеевич Харламенков✉

Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены различные типы контактных соединений и способы предотвращения появления на них больших переходных сопротивлений. Представлены нормы по проведению планово-предупредительных ремонтов с целью поддержания в исправном состоянии мест контакта. Выполнен анализ различных технических решений по защите электрических сетей от больших переходных сопротивлений. Показаны способы контроля и мониторинга состояния потенциально опасных контактных участков электрической сети. Даны рекомендации по совместному применению организационных мероприятий и технических средств для решения вопросов обеспечения пожарной безопасности электроустановок зданий.

Ключевые слова: пожарная безопасность; электрооборудование; изоляция; электропроводка; измерительные приборы; электрические розетки; клавишные выключатели; аппараты защиты

Для цитирования: Харламенков А.С. Пожарная опасность больших переходных сопротивлений. От теории к практике. Часть 2 // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2022. Т. 31. № 1. С. 99–104. DOI: 10.18322/PVB.2022.31.01.99-104

✉ Харламенков Александр Сергеевич, e-mail: h_a_s@live.ru

The fire hazard of large transition resistances. From theory to practice. Part 2

Aleksandr S. Kharlamenkov✉

The State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

The author addresses various types of contact joints and methods of preventing the emergence of large transient resistances on them. The article has guidelines governing regular preventive repair works aimed at the maintenance of contact points. The analysis of various technical solutions for the protection of power grids from high transient resistances has been conducted. The author demonstrates methods used to control and monitor the condition of potentially dangerous contact sections of a power grid. The author makes recommendations on the joint application of management actions and technical facilities to address fire safety issues of electrical installations of buildings.

Keywords: fire safety; electrical equipment; insulation; wiring; measuring instruments; electrical outlets; key switches; protective devices

For citation: Kharlamenkov A.S. The fire hazard of large transition resistances. From theory to practice. Part 2. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2022; 31(1):99-104, DOI: 10.18322/PVB.2022.31.01.99-104 (rus).

✉ Aleksandr Sergeevich Kharlamenkov, e-mail: h_a_s@live.ru



ВОПРОС

В предыдущем журнале № 6 за 2021 год в рубрике «Вопрос-ответ» [1] были рассмотрены основные теоретические положения теории контакта и определены основные факторы, оказывающие влияние на конечную величину переходного сопротивления. В результате анализа обобщенных данных было уста-

новлено, что обнаружение больших переходных сопротивлений (БПС) на практике можно реализовать путем контроля (мониторинга):

- силы контактного нажатия;
- температуры контакт-деталей и мест их соединения;
- падения напряжения или переходного сопротивления в контактном соединении;

- температуры изоляционных материалов и конструктивных элементов электрических изделий, соприкасающихся или находящихся вблизи контакт-деталей;
- появления электрической дуги (искрений) в местах ослабления контактов;
- внешнего вида и наличия деформаций, повреждений, запыленности, окисления разъемных элементов.

Вышеперечисленные пути решения проблемы БПС осуществляются не только инструментальными методами измерений, но и проведением профилактических мероприятий. В совокупности данные меры позволяют снизить число пожаров от электроустановок, в том числе и в случае БПС.

Отдельные шаги в этом направлении предпринимаются МЧС России, разработавшим в 2020 г. «Методику проведения профилактической работы в жилом секторе» [2]. Данной Методикой предусматривается проведение организационно-профилактических мероприятий по повышению уровня пожарной безопасности жилых помещений, осуществляемых совместно с органами местного самоуправления и общественных социально ориентированных некоммерческих объединений. Одной из мер является замена и ремонт электропроводки в жилых помещениях, что можно обосновать значительным числом пожаров по причине неисправности электропроводки — более 70 % [3]. При успешной реализации данной Методики [2] можно ожидать снижения числа пожаров и уменьшения опасных случаев из-за перегрузок, коротких замыканий и БПС в электрических сетях.

Но есть и другая нерешенная проблема, связанная с организацией регулярных плановых осмотров и обслуживания электрических сетей в жилых домах. Замена проводки с истекшим сроком службы — это необходимая мера, но и регулярные проверки ее исправного состояния тоже немаловажная задача. Так как 90 % жилого фонда в России находится в собственности самих граждан, то и ответственность за поддержание исправного состояния электроустановок в помещениях ложится на их плечи. Собственникам следует уделять больше внимания данным вопросам и не экономить на своевременном обслуживании электропроводки и электроустановочных изделий (розеток, выключателей и т.д.). Замена израсходовавших свой ресурс кабелей и электроустановочных изделий на новые позволит предупредить и предотвратить пожары из-за неисправности электроустановок.

В случае появления неисправностей в работе электрических сетей и приборов применение современных систем контроля (мониторинга) в совокупности с аппаратами защиты позволит снизить число пожароопасных ситуаций. Это обстоятельство также касается пожаров по причине БПС. Возникает естественный вопрос, какие современные технические решения могут использоваться для обнаружения БПС в электрических сетях зданий?

ОТВЕТ

Как отмечалось в предыдущей части статьи [1], появление БПС чаще происходит в местах разрывных (разъемных) и скользящих контактов, нежели неподвиж-

ных (зажимных и цельнометаллических). Поэтому в отдельных видах соединений ожидать БПС не следует. Например, в выполненных с помощью сварки, пайки и опрессовки с последующей изоляцией соединения с помощью термоусадочных (термоусаживаемых) трубок (ТУТ). Согласно п. 6.2.3 СП 76.13330.2016¹, эти соединения считаются необслуживаемыми.

Общие требования к электроизоляционным трубкам представлены в ГОСТ 17675-87². В этом стандарте отмечается, что правила применения, «способы и режимы усадки указывают в стандартах или технических условиях на трубки конкретных марок». Далеко не все виды ТУТ обеспечивают защиту соединений от воздействия влаги, которая ведет к ухудшению качества контакта. В этих случаях рекомендуется применять термоусадочные трубки с внутренним клеевым слоем.

Для большинства современных кабелей предъявляются требования ГОСТ 31565-2012³ к их изоляции и оболочке. Они имеют ряд показателей пожарной опасности, таких как: распространение горения (нг); дымо- и газовыделение (LS); выделение коррозионно-активных газообразных продуктов (HF); огнестойкость (FR); токсичность продуктов горения (LTx). Аналогичные требования предъявляются к изоляции мест соединений, где применяются ТУТ с различными показателями, обычно «нг» и «нг-LS». В результате использования ТУТ совместно с контактными соединениями, выполненными сваркой, спайкой и опрессовкой, достигается высокая надежность и долговечность последних без появления БПС.

Наибольшую проблему представляют БПС в местах клеммных и болтовых, а также разъемных соединений электроустановочных изделий. Данные контакты обычно не защищены от внешних воздействий окружающей среды, поэтому более подвержены окислительным процессам и появлению БПС. Их исправное состояние может поддерживаться за счет проведения планово-предупредительных ремонтов (ППР) и контроля с помощью специальных технических средств.

Выполнение ППР контактных соединений регламентируется различными нормативными документами. К ним относятся: Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей⁴ (ПТЭЭП), ГОСТ Р 56536-2015⁵, а также

¹ СП 76.13330.2016. Электротехнические устройства. Актуализированная редакция СНиП 3.05.06-85: введен в действие 17 июня 2017 г. М. : Стандартинформ, 2017.

² ГОСТ 17675-87. Трубки электроизоляционные гибкие. Общие технические условия: введен в действие 1 января 1990 г. М. : Издательство стандартов, 1988.

³ ГОСТ 31565-2012. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности (Переиздание): введен в действие 1 января 2014 г. в ред. 1 сентября 2019 г. М. : Стандартинформ, 2019.

⁴ ПТЭЭП. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей: утв. приказом Минэнерго РФ № 6 от 13 января 2003 г.; введ. 1 июля 2003 г. в ред. 13 сентября 2018 г. Российская газета. 2003. № 139.

⁵ ГОСТ Р 56536-2015. Услуги жилищно-коммунального хозяйства и управления многоквартирными домами. Услуги содержания внутридомовых систем электроснабжения многоквартирных домов. Общие требования (Переиздание): введен в действие 1 апреля 2016 г. в ред. 1 февраля 2020 г. М. : Стандартинформ, 2020.

ведомственные нормативные документы и стандарты организаций, например, И 1.09-10⁶, СТО МИ 71.12.19⁷ и т.п. Указанные нормы устанавливают общий перечень работ по обслуживанию и ремонту контактных соединений, включающих в себя их визуальный осмотр, очистку от грязи (пыли), подтяжку, смазку, измерение температуры и т.д. В случае обнаруженных нарушений целостности или ослабления контакта при визуальном осмотре следует восстанавливать соединения немедленно. Периодичность проверок должна указываться в инструкциях по ППР и проводиться не реже 2 раз в год.

В качестве специальных технических средств для контроля (мониторинга) надежности контакта, его температуры и величины переходного сопротивления используются различные измерительные приборы (микро- и миллиомметры и т.д.), приборы теплового контроля (пирометры, тепловизоры), термоиндикаторные наклейки и стикеры, газоаналитические системы обнаружения перегрева мест контакта.

С помощью микро- и миллиомметров измеряют переходные сопротивления выключателей, разъединителей, болтовых и др. контактных соединений. В прил. 14 ГОСТ 28249-93⁸ представлены значения переходных сопротивлений контактных соединений (R_n) кабелей, разъёмных контактов коммутационных аппаратов и шинопроводов. Величина сопротивления зависит от сечения проводников, номинальных токов шинопроводов и аппаратов и варьируется в широких пределах. Так, для кабелей с алюминиевыми жилами сечением 16–240 мм² значение R_n изменяется в диапазоне от 85–12 мкОм. Для шинопроводов на номинальные токи 250–4000 А сопротивление R_n составляет 9–1 мкОм. Приближенные значения сопротивлений разъёмных контактов коммутационных аппаратов представлены в табл. 1.

Исходя из представленных значений R_n в прил. 14 ГОСТ 28249-93 можно сделать вывод, что для сечений проводников электрических сетей менее 16 мм² переходные сопротивления контактов будут составлять величины более 100 мкОм, а для разъёмных соединений аппаратов с номинальными токами менее 50 А величина $R_n \geq 1,5$ мОм.

Измерение петли «фаза-ноль» также позволяет выявить появление больших переходных сопротивлений при замере общего сопротивления цепи и предупредить пожароопасные ситуации в электрической сети. В ПТЭЭП нет конкретных временных рамок по проведению таких замеров, но в большинстве случаев они проводятся не реже 1 раза в 3 года, для большинства зон эта проверка должна выполняться не реже 1 раза в 2 года (п. 3.4.12 ПТЭЭП).

⁶ И 1.09-10. Инструкция по соединению изолированных жил проводов и кабелей: введен в действие 1 января 2011 г. М. : Ассоциация «Росэлектромонтаж», 2010.

⁷ СТО МИ 71.12.19. Организация технической эксплуатации инженерных систем жилых зданий: введен в действие 6 апреля 2009 г. с изм. № 1–3 25 февраля 2014 г. М. : ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова», 2014.

⁸ ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ : введен в действие 1 января 1995 г. М. : Издательство стандартов, 1994.

Таблица 1. Активное сопротивление разъёмных соединений для различных коммутационных аппаратов напряжением до 1 кВ

Номинальный ток аппарата, А	Активное сопротивление разъёмных соединений, мОм		
	Автоматическо-го выключателя	Рубильника	Разъединителя
50	1,30	–	–
70	1,00	–	–
100	0,75	0,50	–
150	0,65	–	–
200	0,60	0,40	–
400	0,40	0,20	0,20
600	0,25	0,15	0,15
1000	0,12	0,08	0,08

Появление БПС разъёмных соединений клавишных выключателей и розеток следует ожидать по истечении срока службы (числа циклов), когда механизмы коммутации и техническое состояние контактов уже не позволяют обеспечивать их надежность. В ГОСТ Р 51324.1-2012⁹ и ГОСТ ИЕС 61058-1-2012¹⁰ указывается различное число циклов включения клавишных выключателей, при которых должно сохраняться качество контакта. Бытовые клавишные выключатели рассчитаны на 40–50 тыс. циклов. В отдельных случаях это значение может составлять 25 тыс., но не более 200 тыс. циклов. Например, срок эксплуатации клавишных выключателей при их включении/отключении 10 раз в сутки при нормативном значении 50 тыс. циклов составит около 14 лет.

Указание на срок эксплуатации бытовых розеток в нормативных документах отсутствует, но в большинстве случаев производители указывают значение не менее 15 лет ($\approx 10\,000$ циклов). По ГОСТ 30988.1-2020¹¹, ГОСТ ИЕС 60309-1-2016¹² розетки проходят испытания на 50 циклов коммутации с вилкой. При этом качество

⁹ ГОСТ Р 51324.1-2012 (МЭК 60669-1:2007). Выключатели для бытовых и аналогичных стационарных электрических установок. Часть 1. Общие требования: введен в действие 1 января 2014 г. М. : Стандартинформ, 2014.

¹⁰ ГОСТ ИЕС 61058-1-2012. Выключатели для электроприборов. Часть 1. Общие требования: введен в действие 1 июля 2014 г. М. : Стандартинформ, 2014.

¹¹ ГОСТ 30988.1-2020 (ИЕС 60884-1:2013). Соединители электрические штепсельные бытового и аналогичного назначения. Часть 1. Общие требования и методы испытаний: введен в действие 1 марта 2021 г. М. : Стандартинформ, 2020.

¹² ГОСТ ИЕС 60309-1-2016. Вилки, штепсельные розетки и соединительные устройства промышленного назначения. Часть 1. Общие требования: введен в действие 1 июля 2018 г. М. : Стандартинформ, 2017.

контактного соединения должно оставаться неизменным. Такое испытание может подтвердить гарантийный срок службы изделия (обычно 2 года). Время его безопасной эксплуатации будет зависеть от частоты использования розетки (степени износа разъемов), величины протекающих через нее токов, условий окружающей среды (температура, влажность). Для увеличения надежности соединения разъемов розетки и штекера отдельные производители применяют подпружиненные контакты, которые обеспечивают достаточную силу нажатия при их частом использовании.

Тепловой контроль контактных соединений выполняет периодически или в виде постоянного мониторинга. С помощью пирометров и тепловизоров измеряется фактическая температура контактных соединений при проведении ППР. Методика инфракрасной (ИК) диагностики электрооборудования представлена в РД 153-34.0-20.363-99¹³. При выполнении ИК диагностики следует учитывать множество факторов: коэффициент излучения материала; солнечную радиацию; скорость ветра; расстояние до объекта; угол замера показаний; значение токовой нагрузки; тепловое отражение и т.д. [4]. Периодичность измерений переходных контактных соединений с помощью тепловизионного контроля по РД 34.45-51.300-97¹⁴ проводится не реже 1 раза в 3 года.

При этом следует руководствоваться требованиями ГОСТ 10434-82¹⁵, ГОСТ 403-73¹⁶ и ГОСТ 30851.2.2-2002¹⁷ по наибольшей допустимой температуре нагрева контактных соединений при протекании номинального (длительно допустимого) тока (см. табл. 2).

Непрерывный мониторинг состояния контактных соединений может выполняться тепловизионным реле защиты [5]. Данное устройство выполняет непрерывный контроль температуры прямоугольного участка плоскости и автоматически выявляет недопустимый перегрев в местах контакта. Устройство можно интегрировать в систему сигнализации объекта защиты и выполнять дистанционное управление и удаленное визуальное наблюдение за состоянием соединений в виде тепловой карты.

¹³ РД 153-34.0-20.363-99. Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ: введен в действие 1 июня 2000 г. М. : СПО ОРГРЭС, 2001.

¹⁴ РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования, 6-е издание: введен в действие 8 мая 1997 г. в ред. 1 октября 2006 г. М. : ЗАО «Издательство НЦ ЭНАС», 2008.

¹⁵ ГОСТ 10434-82. Соединения контактные электрические. Классификация. Общие технические требования (с Изм. № 1, 2, 3): введен в действие 1 января 1983 г. в ред. 1 июня 2007 г. М. : Стандартинформ, 2007.

¹⁶ ГОСТ 403-73. Аппараты электрические на напряжение до 1000 В. Допустимые температуры нагрева частей аппаратов: введен в действие 1 января 1974 г. в ред. 1 октября 2003 г. М. : ИПК Издательство стандартов, 2003.

¹⁷ ГОСТ 30851.2.2-2002 (МЭК 60320-2-2:1998). Соединители электрические бытового и аналогичного назначения. Часть 2-2. Дополнительные требования к вилкам и розеткам для взаимного соединения в приборах и методы испытаний: введен в действие 1 января 2014 г. М. : Стандартинформ, 2014.

Таблица 2. Наибольшая температура контактных соединений и выводов аппаратов защиты в электроустановках напряжением до 1000 В

Характеристика соединяемых проводников	Наибольшая допустимая температура нагрева, °С
Проводники из меди, алюмомеди, алюминия и его сплавов:	
• без защитных покрытий рабочих поверхностей	95
• с защитными покрытиями рабочих поверхностей благородными металлами	110
Проводники из меди и ее сплавов без изоляции или с изоляцией классов В, F и H с защитным покрытием рабочих поверхностей серебром	135
Ответные контактные гнезда штепсельной приборной розетки:	
• при температуре окружающей среды 25 °С с допустимым временным увеличением до 35 °С	65
• при испытании переменным током 1,25 в течение 1 ч, превышение температуры не более от номинального значения	45
Контактные зажимы бытовых выключателей при пропускании испытательного тока, превышение температуры не более от номинального значения по ГОСТ Р 51324.1-2012	45

Кроме этого, для преждевременного обнаружения мест БПС можно использовать термоиндикаторные наклейки и стикеры, которые устанавливаются вблизи мест контакта [6]. Принцип их действия основан на необратимом изменении цвета отдельных участков (индикаторов) наклеек при увеличении температуры клемм в диапазоне 50–120 °С (см. рис. 1).

Для удаленного контроля состояния контактных соединений и предупреждения персонала возможно применение специализированных газовых датчиков совместно с индикаторными наклейками (газоаналитическая система непрерывного мониторинга контактных соединений)¹⁸ [7]. В случае превышения температуры выше 100 наклеяка выделяет сигнальный газ, улавливаемый датчиком, который передает сигнал тревоги и/или отключает питание аварийного участка (см. рис. 2).

На рынке аппаратов защиты появилось устройство защиты от дуговых пробоев/искрений (УЗДП или УЗиС), которое способно в случае значительных ослаблений контактных соединений с образованием дуговых пробоев обнаружить последние и обесточить неисправный участок. Более

¹⁸ РЭ 40416503-2018. Руководство по эксплуатации. Газоаналитическая система автоматического обнаружения перегрева элементов распределительных устройств «Термосенсор». М. : ООО «ТермоЭлектрика», 2019. 70 с.



Рис. 1. Общий принцип действия индикаторных наклеек и стикеров

подробное описание эффективности данных устройств в борьбе с переходными сопротивлениями и дугowymi пробоями дано в рубрике «Вопрос-ответ» журнала № 5 за 2021 год [8].

В целях установления причины пожара существуют методы выявления следов БПС в местах контактных соединений. К таким методам относятся: растровая электронная микроскопия (РЭМ); оптическая микроскопия с компьютерным анализатором изображения; дополнительный рентгеноструктурный анализ (РСА) медных проводников. Подробное описание применения каждого метода представлено в Методических рекомендациях [9].

Таким образом, существует множество различных способов оценки безопасного состояния контактных соединений электрических цепей, которые при совместном ис-



Рис. 2. Общий принцип действия газоаналитической системы непрерывного мониторинга контактных соединений

пользовании позволяют предотвращать пожароопасные ситуации. Многие технические средства имеют ограниченное применение, в основном для применения на трансформаторных подстанциях и в распределительных устройствах зданий. В перспективе можно ожидать применения данных способов контроля возникновения БПС для групповых электрических сетей жилых зданий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Харламенков А.С. Пожарная опасность больших переходных сопротивлений. От теории к практике. Часть 1 // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 6. С. 108–113. URL: <https://www.fire-smi.ru/jour/article/view/1062>
2. Методика проведения профилактической работы в жилом секторе. М. : ВНИИПО, 2020. 130 с.
3. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: Статистический сборник / под общ. ред. Д.М. Гордиенко. М. : ВНИИПО. 2021. 112 с.
4. Назаров А.А., Пехотиков В.А., Грузинова О.И., Рябиков Л.И. Проверка пожарной опасности электрооборудования жилых и общественных зданий с помощью тепловизора: метод. рекомендации. М. : ВНИИПО, 2014. 28 с.
5. Пат. на полезную модель RU 202733, МПК H01H 37/52. Тепловизионное реле защиты / Пирогов М.Г., Илюхин Е.В. № 2020138775, заявл. 26.11.2020; опублик. 03.03.2021. Бюл. № 7.
6. Никифоров А.Л., Карасев Е.В., Булгаков Б.В., Животыгина С.Н. Использование термохромных материалов в качестве сигнальных средств предупреждения пожаров в электроустановках // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2015. Т. 24. № 9. С. 41–47. DOI: 10.18322/ПВБ.2015.24.09.41-47.
7. Пехотиков В.А., Рябиков А.И., Назаров А.А., Грузинова О.И. Комплекс инновационных решений по повышению пожарной безопасности электрооборудования в процессе его эксплуатации // Актуальные вопросы пожарной безопасности. 2019. № 1. С. 14–19.
8. Харламенков А.С. Целесообразность применения устройств защиты от дугового пробоя // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 2. С. 117–122. URL: <https://www.fire-smi.ru/jour/article/view/983>

9. Чешко И.Д., Лебедев К.Б., Мокряк А.Ю. Экспертное исследование после пожара контактных узлов электрооборудования в целях выявления признаков больших переходных сопротивлений : Методические рекомендации. СПб. : СПб филиал ФГУ ВНИИПО МЧС России. 2008. 25 с.

Материал поступил в редакцию 02.02.2022

Received February 2, 2022

Информация об авторе

ХАРЛАМЕНКОВ Александр Сергеевич, заместитель начальника кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; РИНЦ ID: 763967; e-mail: h_a_s@live.ru

Information about the author

Aleksandr S. KHARLAMENKOV, Deputy Head of Department of Special Electrical Engineering, Automation Systems and Communication, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ID RISC: 763967; e-mail: h_a_s@live.ru