

Как устройства защиты от дугового пробоя снижают риск возгорания электроустановок

Авторы: Жан-Франсуа Рей (Jean-Francois Rey),
Пьер Доминик Сокке-Клерк (Pierre Dominique Socquet-Clerc),
Саймон Тянь (Simon Tian)
и Закария Белхаджа (Zakaria Belhaja)

Краткий обзор

Дуговой пробой в электрических установках низкого напряжения, расположенных внутри зданий, представляет значительную опасность. Существующие защитные устройства, например автоматические выключатели или выключатели дифференциального тока (ВДТ), не могут обнаружить электрические дуги в проводниках и соединениях, даже если они становятся причиной возгорания. Чтобы свести к минимуму риск возгорания электрооборудования, электрики, подрядчики и жильцы зданий должны рассмотреть возможность внедрения новых устройств защиты от дугового пробоя (УЗДП). В этой статье рассматриваются передовые технологии в области защиты электрооборудования и определяются критические области применения, где УЗДП повышают уровень безопасности.

Введение

Со временем состояние электроустановок в зданиях ухудшается. Степень износа часто зависит от факторов окружающей среды (высокой температуры, влажности, повреждений во время эксплуатации, коррозионных химических реакций, а также износа изоляции).

К электроустановкам всегда следует относиться с осторожностью. При несоблюдении надлежащих мер безопасности или халатном обращении может возникнуть потенциальная опасность, например, поражения электрическим током, ожогов, взрыва и пожара.

Организации, собирающие данные о безопасности зданий, например Европейская академия противопожарной службы (EFA), а также многие страховые компании сообщают, что 25 % пожаров в зданиях имеют электрическое происхождение. Причина возгорания может быть связана с перегрузкой в цепи, коротким замыканием, утечкой тока на землю, перенапряжением и (или) возникновением электрических дуг в кабелях.

Для устранения риска поражения электрическим током, перегрузок в цепи и скачков напряжения, вызванных молнией, в современных офисных зданиях, лабораториях и фабриках обычно применяются такие технологии, как выключатели дифференциального тока (ВДТ), автоматические выключатели и сетевые фильтры. Тем не менее до недавнего времени не существовало средств, обеспечивающих адекватную защиту от электрических дуг в соединениях и кабелях.

Такие электрические дуги могут стать причиной пожара, что представляет угрозу как для имущества, так и для жизни и здоровья человека. Однако широкий потребитель гораздо больше осведомлен об опасностях поражения электрическим током, нежели о пожарах электрического происхождения.

Для решения этой проблемы на рынке были представлены средства, обеспечивающие защиту от дугового пробоя. Они известны как устройства защиты от дугового пробоя (УЗДП). При обнаружении опасных электрических дуг они размыкают соответствующую цепь, предотвращая тем самым возникновение пожара электрического происхождения. Устройства защиты от дугового пробоя имеют модульную конструкцию и обычно устанавливаются в однофазных системах.

США — одна из первых стран в мире, которая начала внедрять эти устройства. Там они применяются с 2002 года и известны как прерыватели цепи при дуговом пробое (AFCI). Статистические данные из США свидетельствуют о том, что технологии безопасности электрооборудования развиваются в положительном направлении (см. **рис. 1**), хотя общее количество установленных устройств все еще невелико. В остальных странах уровень заинтересованности в решении проблемы защиты от дугового пробоя продолжает расти.

Пожары электрического происхождения в жилых зданиях

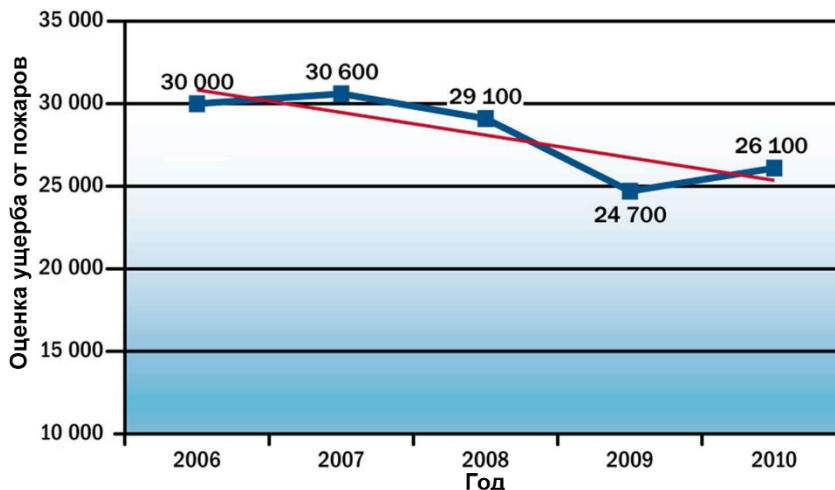


Рис. 1

По данным Национальной ассоциации противопожарной защиты (NFPA), в США снизилось количество пожаров, связанных с возгоранием электрических установок

Хорошим примером зданий, где для повышения уровня безопасности может потребоваться наличие УЗДП, служат гостиницы и дома престарелых. Эти устройства можно размещать внутри низковольтных распределительных щитов, в цепях, снабжающих электричеством помещения со спальными местами. Новая технология также будет полезной в зданиях с высокой плотностью заселения, там, где затруднена быстрая эвакуация, велик риск быстрого распространения пожара или присутствует большое количество горючих материалов.

Дуговой пробой и электрическая дуга — не одно и то же.

Устройства защиты от дугового пробоя не устраняют опасность появления электрической дуги и не обеспечивают защиту распределительных устройств.

При коротком замыкании между токоведущими частями и (или) между токоведущими и другими проводящими частями в электрооборудовании, например в распределительных устройствах, ток буквально проходит по воздуху или через испускаемые в непосредственной близости газы из одной точки в другую. При этом за доли секунды высвобождается большое количество энергии в виде тепла, звука, света и волны давления.

УЗДП не предназначены для защиты от электрической дуги. Для этого следует использовать альтернативные средства:

> В нормативных документах США используется понятие «анализ электрической дуги». Под ним подразумевается расчет энергии при инциденте, а также рекомендации по выбору средств индивидуальной защиты. Расчет зависит от многих параметров, включая характеристики сети и план осуществления защиты.

> Если дуга может возникнуть внутри корпуса неисправного распределительного устройства, оно должно быть устойчивым к данному явлению и иметь соответствующие документы о прохождении проверки на внутреннее сопротивление дуге; данная концепция предусмотрена стандартами МЭК и IEEE. Этот параметр учитывается при проектировании распределительного устройства.

Хотя эти термины похожи и их часто путают, они обозначают совершенно разные явления. В контексте данного документа необходимо объяснить оба термина (определение электрической дуги см. в текстовом поле рядом).

Дуговой пробой возникает, когда в поврежденном проводнике или на клеммах возникает ток электрической дуги, и энергии этой дуги достаточно для возгорания окружающих материалов. **Эта статья посвящена проблеме дугового пробоя, а не электрической дуги.** Дуговой пробой чаще всего возникает в распределительной сети. Главной угрозой, которую представляет дуговой пробой, является пожар. Условия возникновения пробоя могут оставаться незамеченными в течение некоторого времени.

Определение термина «дуга» звучит так: «электрический разряд, проходящий через изоляционный материал, сопровождаемый частичным испарением материала электрода». В нормальных условиях катод и анод разделены тонким слоем воздуха, в котором образуется электрическая дуга. Температура в центре дуги может варьироваться от 5000 до 15 000 °C. В области дуги образуется сильно ионизированный газ под высоким давлением, в результате чего происходит выброс горячего газа и частиц металла во всех направлениях в пределах ограниченной области дуги.

Причины возникновения электрической дуги

Перенапряжение — электрическую дугу можно рассматривать как сильноточный разряд. Дугу можно создать между двумя электродами, иницируя слаботочный разряд и постепенно увеличивая силу тока. Как правило, газы обладают хорошими изоляционными свойствами. Разница между электродами только в потенциале не позволяет пропускать ток. Однако, когда приложенное напряжение превышает критическое значение, так называемое напряжение пробоя, между электродами возникает разряд. Если ток не ограничивается источником, разряд превращается в необратимую дугу. Это происходит, если изоляция кабеля повреждена. Такое напряжение пробоя создает благоприятные условия для возникновения электрической дуги в фазе и нейтрали.

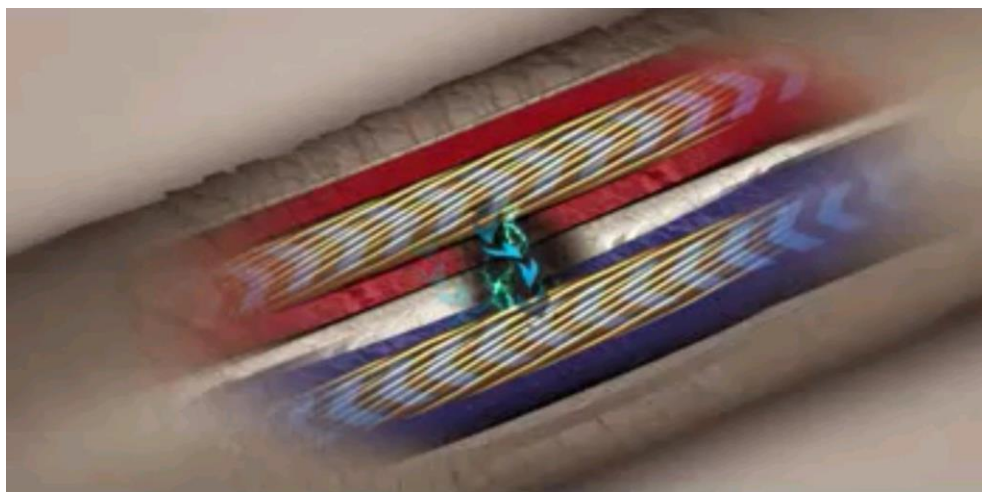


Рис. 2

Цикл дугового пробоя начинается со слаботочного разряда, сила которого со временем увеличивается

Плохой контакт — если два контакта, по которым обычно проходит ток, разделяются, проводимость поддерживается электрическим разрядом, который возникает в межэлектродном пространстве. При контакте двух электродов взаимодействие происходит не по всей их поверхности. В качестве точек соприкосновения выступают лишь неровные края и шероховатости на их поверхности. В момент разделения контактов весь ток I проходит от одного электрода к другому по крайне малой площади, размер которой всегда составляет менее 1 мм^2 . Затем сопротивление R в контакте возрастает, а рассеиваемая энергия $R \cdot I^2$ вызывает значительное увеличение локальной температуры. Достигается точка кипения металла, и между двумя контактами образуется металлический расплавленный мостик. Удлинение мостика из-за разделения контактов приводит к его разрыву, при этом происходит выброс микрокапель расплавленного металла со скоростью от 100 до 300 мс^{-1} . Возникает дуга металлических паров. Это касается плохих контактов, которые обычно встречаются в неисправных выключателях и удлинителях.

Рис. 3

Иллюстрация того, как неисправность кабелей может привести к пожару



Научное объяснение возникновения дуги

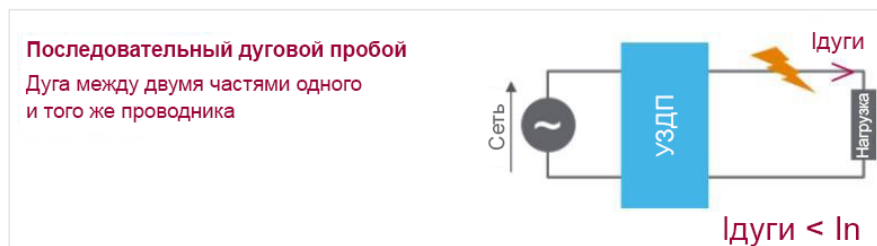
В любых зданиях, где кабели используются для транспортировки и распределения электроэнергии, возможны два типа событий, связанных с дуговым пробоем, представляющих опасность возникновения пожара:

Формирование последовательной дуги. При повреждении кабеля или ослаблении электрического соединения может возникнуть точка высокой температуры, которая запускает процесс обугливания изоляционных материалов в непосредственной близости от проводника (см. **рис. 4**). Далее образуется углерод, который является проводящим материалом, что ведет к чрезмерному увеличению тока в различных точках.

Происходит отложение углерода, и электрические токи, протекающие через него, создают электрические дуги для облегчения своего пути. Каждая дуга усиливает обугливание изоляционного материала. Происходит цепная реакция, которая поддерживается до тех пор, пока количество углерода не станет достаточным для самопроизвольного возгорания. **Последовательная дуга возникает между двумя частями одного и того же проводника.**

Рис. 4

Иллюстрация примера последовательной дуги



Образование параллельной дуги. При повреждении изоляции между двумя находящимися под напряжением проводниками (самым распространенным материалом проводников в электрических кабелях является медь) между ними может протекать ток значительной силы (см. **рис. 5**). Тем не менее его недостаточно, чтобы автоматический выключатель распознал короткое замыкание. Он также не обнаруживается ВДТ, если только ток не идет на землю.

При прохождении через изоляционные материалы токи утечки пытаются найти пути наименьшего сопротивления и образуют электрические дуги, которые постепенно превращают изоляционные материалы в уголерод. Обугленная изоляция усиливает ток утечки между двумя проводниками. Образуется цепная реакция, усиливающая значения тока в дуге, и, как следствие, увеличивается количество обугленного материала до возникновения первого очага возгорания. **Параллельный дуговой пробой возникает между двумя различными проводниками.**

Рис. 5

Иллюстрация примера параллельного дугowego пробоя



Рис. 6

В результате дугowego пробоя на поврежденных кабелях накапливается уголерод, что впоследствии приводит к пожару

Поврежденный проводник



Электрическая дуга вызывает возгорание



Непредсказуемые последствия пожара



Был проведен тщательный анализ природы дугowego пробоя и методов его обнаружения. Для обеспечения точности механизмов обнаружения, а также предотвращения ложных срабатываний основное внимание уделялось искажению сигналов электрического тока (формы волн).

Принцип работы устройств защиты от дугowego пробоя

УЗДП постоянно отслеживают и анализируют электрический сигнал, а также высокочастотную составляющую в формах волны тока и напряжения. Они выявляют случайные, непредсказуемые, но устойчивые искажения формы волны, которые обозначают возникновение потенциально опасной дуги.

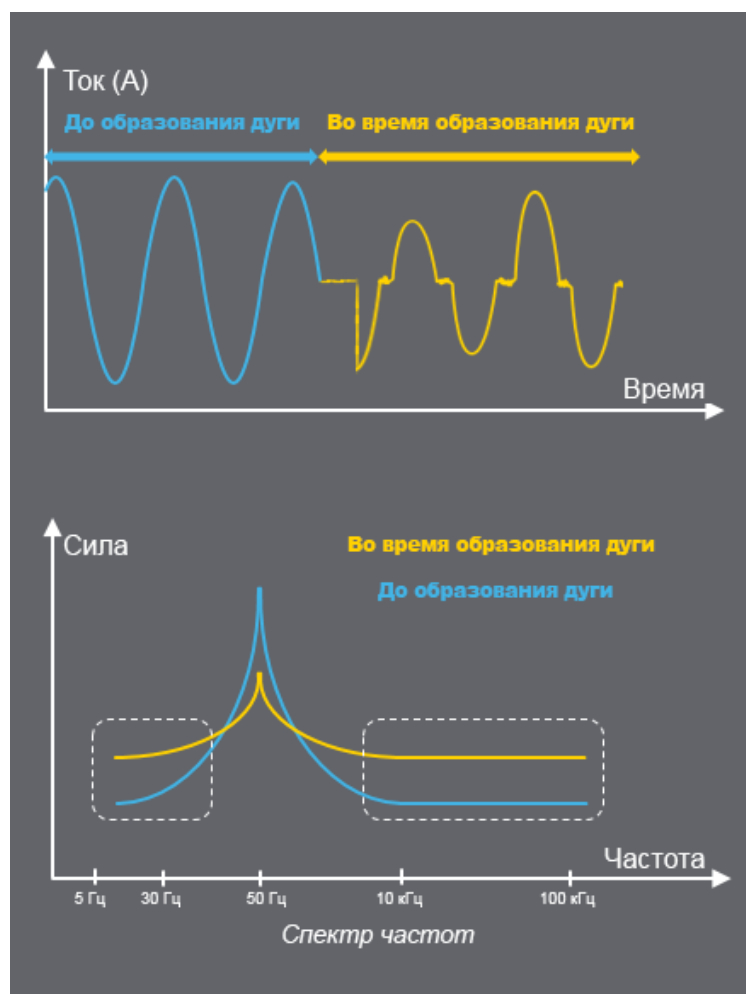
Когда УЗДП обнаруживает потенциально опасное искажение волны, оно срабатывает, отключая питание в неисправной цепи. УЗДП может работать в сочетании с автоматическим выключателем или автоматическим выключателем дифференциального тока (АВДТ). У него также может быть своя собственная функция отключения.

УЗДП очень быстро реагируют на малейшие изменения в структуре волны. Скорость срабатывания очень важна, так как дуговые разряды провоцируют возникновение искры, которая может привести к возгоранию.

Устройства защиты от дугового пробоя чрезвычайно чувствительны и предназначены для обнаружения и предотвращения лишь потенциально опасных дуг. В них используется особый алгоритм, позволяющий отличать опасные дуги от безобидных искр, которые мы можем наблюдать, щелкнув выключателем или потянув за вилку.

Рис. 7

Аномалии в электрическом токе, которые могут указывать на наличие потенциально опасного дугового пробоя



УЗДП анализирует различные данные, включая несколько различных электрических параметров. Таким образом можно гарантировать, что устройства защиты от дугового пробоя будут срабатывать только при возникновении опасных дуг.

В число анализируемых параметров входят:

- ток электрической дуги (последовательная дуга становится опасной при достижении значений, больших или равных 2,5 А);
- продолжительность дугового пробоя (например, дуга очень короткой продолжительности характерна для нормальной работы переключателя);
- нерегулярность дуги (дуги электродвигателей, например, довольно регулярны и не должны рассматриваться в качестве опасных);
- наличие помех на различных высоких частотах говорит о прохождении тока через неоднородные материалы (например, изоляцию кабеля).

Примером электрических дуг, связанных с нормальной работой электрооборудования, могут служить дуги, создаваемые переключателями, контакторами, импульсными переключателями и другими устройствами управления при размыкании контактов. Дуги, возникающие в электродвигателях различных нагрузок, подключенных к цепи (ручные электроинструменты, электродвигатель пылесоса и т. д.), также не являются опасными.

Причина возникновения новой волны спроса на УЗДП

До недавнего времени уровень технологий не позволял создать устройство защиты от дугового пробоя по разумной цене и в приемлемом формате. Благодаря компактности электронных компонентов и наличию средств их оцифровки сейчас стало возможным производство доступных и надежных устройств защиты от дугового пробоя. Конструкция современных УЗДП сопоставима по размерам с миниатюрными автоматическими выключателями (хотя они выполняют различные функции). Инновации в области цифровых технологий теперь позволяют УЗДП выполнять расширенный анализ данных в режиме реального времени. Такая скорость обработки информации имеет решающее значение для обеспечения точной оценки условий окружающей среды.

Другим фактором распространения УЗДП стало признание правительством и органами, отвечающими за безопасность, того факта, что неисправность электрических систем представляет серьезную опасность возникновения пожара для зданий и жильцов. Во всем мире неисправность электрических систем становится причиной 25 % общего количества пожаров, причем 80 % пожаров в зданиях происходят именно в жилых домах. В 2011–2012 годах в Великобритании из-за пожаров в жилых домах погибло около 300 человек, более 11 000 получили травмы. В 1994 году в США возгорание в распределительных сетях стало причиной около 43 000 пожаров в жилых домах, в результате чего 370 человек погибли и 1440 получили травмы¹. Во Франции около 25 % пожаров в жилых домах (62 500 случаев в год) возникают из-за неисправностей в электрооборудовании, вызванных перегрузкой цепи, коротким замыканием, утечкой тока на землю и образованием электрических дуг в кабелях и соединениях.



Рис. 8

В 25 % от общего числа пожаров причиной возгорания стала неисправность электрических систем

Развитие стандартов

В 2008 году Международная электротехническая комиссия решила начать работу по стандартизации устройств защиты от дугового пробоя. Был опубликован соответствующий стандарт ГОСТ ИЕС 62606 «Устройства защиты бытового и аналогичного назначения при дуговом пробое. Общие требования». С 2013 года для обеспечения безопасной работы все УЗДП должны соответствовать стандарту ГОСТ ИЕС 62606.

В 2014 году для Европы и других стран мира, применяющих стандарты МЭК, была опубликована поправка МЭК 60364-4-42 (в России — ГОСТ Р 50571.4.42).

¹ «Оценка ущерба от пожара в жилых домах», Комиссия по определению безопасности товаров массового потребления США (CPSC), 1994 г.

Стандарт МЭК 60364 содержит следующие рекомендации относительно установки и применения УЗДП в жилых и коммерческих зданиях:

- в зданиях со спальными помещениями (например, в отелях, домах престарелых, спальнях жилых домов);
- в помещениях с повышенным риском возникновения возгорания из-за наличия большого количества горючих материалов (зернохранилища, деревообрабатывающие цеха, склады горючих материалов);
- в зданиях, построенных из горючих строительных материалов (например, в деревянных домах);
- в сооружениях с высокой скоростью распространения огня (например, в высотных зданиях);
- в местах хранения объектов культурного наследия (например, в музеях).

Рекомендуется устанавливать устройства защиты от дугового пробоя на вводах распределительных щитов конечного пользования (например, в распределительном щите электрической установки).

Сейчас, на раннем этапе, национальные комиссии по стандартизации могут на свое усмотрение установить обязательный или рекомендательный характер использования УЗДП. УЗДП все чаще применяются в коммерческих зданиях.

Хотя нормы и правила играют жизненно важную роль в повышении безопасности, они часто ориентированы исключительно на электрические установки в новых зданиях, что составляет менее 1 % от их общего числа. Исследования показывают, что в старых зданиях уровень безопасности намного ниже существующих стандартов. Устройства защиты от дугового пробоя позволяют решить эту проблему.

Советы по установке

Во время ремонтных работ необходимо обеспечить соблюдение техники безопасности, что повлияет на устройство электрической установки. Помимо современных автоматических выключателей и ВДТ (для защиты от перегрузки и поражения электрическим током), в распределительном щите настоятельно рекомендуется также устанавливать УЗДП (там, где существует значительный риск дугового повреждения).

В частности, подрядчик должен принять во внимание следующее:

- наличие торчащих кабелей (опасность повреждения);
- наружная прокладка кабелей (высокая опасность повреждения изоляции);
- наличие незащищенных кабелей в изолированных помещениях (например, в кладовых);
- примитивная или некачественно выполненная оригинальная проводка (монтаж проводки на деревянных элементах);
- электрические цепи в зданиях с деревянным каркасом;
- старая, изношенная проводка или цепи, находящиеся на недоступных для обслуживания участках.

Ведущие производители качественных УЗДП могут помочь специалистам по монтажу, подрядчикам и электрикам в разработке и установке данных устройств.

Заключение

При разработке проектов по модернизации зданий необходимо учитывать важность безопасности электрических систем низкого напряжения. Перегрузки по току, поражения электрическим током, перенапряжения и дугового пробоя можно избежать при должном внимании к установке современных средств защиты электрических систем. Среди преимуществ — снижение риска получения травм, повреждения систем здания, а также душевное спокойствие заинтересованных лиц, владеющих и управляющих зданиями.

Проблемы, связанные с безопасностью электрооборудования, вполне реальны, однако действенность стратегий и методов их решения проверена и доказана. Сейчас новые устройства защиты от дугового пробоя выступают в качестве дополнения для повышения общего уровня безопасности. Они устраняют пробел, который не могут охватить ни автоматические выключатели, ни выключатели дифференциального тока (ВДТ). Тем не менее на сегодняшний день лишь небольшое число зданий участвует в инициативе по улучшению средств защиты от дугового пробоя и пожаров, которые он может вызвать.

Разумная стратегия для начального этапа решения проблемы дугового пробоя подразумевает следующее:

- Определение надежного партнера и консультанта, знакомого с проектированием и работой этих устройств.
- Привлечение к новым проектам экспертов, способных проанализировать требования к безопасности электрической системы, рассчитать стоимость, а также подтвердить надежность проекта.
- Проведение аудита при ремонте существующих объектов для определения уровня износа основных электрических систем, по результатам которого устанавливается бюджет и создается проектная группа для реализации плана модернизации и обеспечения безопасности.

Об авторах

Жан-Франсуа Рей получил диплом инженера в ENSAM (Ecole nationale Supérieure d'Arts et Métiers) и SUPELEC (Ecole Supérieure d'Electricité). Он имеет 20-летний опыт работы в области электротехники, включая проектирование, лабораторные исследования и управление проектами, является менеджером по стандартизации и занимает должность в организациях по стандартизации МЭК и CENELEC, уделяя особое внимание стандартам на продукцию и стандартам монтажа.

Пьер Доминик Сокке-Клерк получил высшее техническое образование в области электротехники и степень магистра в области бизнеса в Grenoble Ecole de Management во Франции. Проработав 25 лет на различных должностях в Schneider Electric, включая управление проектами, маркетинг и инновации, он в настоящее время возглавляет маркетинговый отдел по устройствам защиты от дугового пробоя и занимается повышением осведомленности потребителей о рисках поражения электрическим током.

Закария Белхаджа имеет диплом инженера INSA Lyon (Institut National des Sciences Appliquées) и специалиста в области управления инновациями и технологиями GEM (Grenoble Ecole de Management), Франция. После 9 лет исследований и разработок в области обнаружения дугового пробоя, включая разработку архитектуры и алгоритмов, тестирование и стандартизацию, в настоящее время он является менеджером по предложениям УЗДП и занимается разработкой решений по защите от дугового пробоя, соответствующих стандартам МЭК.

Саймон Тянь получил степень доктора философии в области электротехники в Ecole Normale Supérieure de Cachan, Франция. Он проработал в Schneider Electric более 25 лет, занимаясь научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами в области усовершенствованной защиты электрических систем, включая средства защиты от утечки на землю и защиты от дугового пробоя. В настоящее время он является архитектором предложений по устройствам защиты распределительных сетей.