

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОГЕННОЙ ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ЗДАНИЙ

О.Н. Дробязко, А.А. Сошников

В статье приведены результаты системного анализа видов техногенной опасности электроустановок зданий в качестве методологической основы для создания комплексных систем обеспечения безопасности.

Ключевые слова: электроустановка, опасность, безопасность, электропоражение, пожар, короткое замыкание, перегрузка, электромагнитное излучение, система безопасности.

Электроустановки зданий являются одним из самых распространенных источников техногенной опасности. С этими электроустановками человек взаимодействует ежедневно в различных сферах своей жизнедеятельности на производстве и в быту.

Опасность рассматриваемых электроустановок, а также способы и средства электрической защиты являются предметом изучения ряда научных и инженерных дисциплин. При этом в рамках одних научных направлений рассматривается только один из аспектов опасности, а другие направления объединяют несколько аспектов. Примером первого направления может служить «Электробезопасность». К многоаспектным направлениям можно отнести «Безопасность жизнедеятельности» и «Электропожаробезопасность».

Одним из направлений развития наук, изучающих вопросы опасности электроустановок и электрозащитных мероприятий, является их интеграция. При этом создаются возможности одновременного изучения полного спектра опасностей, порождаемых рассматриваемым видом технических систем, а также построения комплексных технических систем обеспечения безопасности. Конечной целью такого развития является формирование интегрирующего научного направления: «Комплексная безопасность электроустановок зданий», которое можно рассматривать также и в качестве новой учебной дисциплины.

Целесообразность формирования такого направления обусловлена рядом факторов.

1. Большим количеством рассматриваемых источников техногенной опасности и интенсивным взаимодействием людей с этими источниками.

2. Необходимостью изменения традиций одноаспектного изучения опасности электроустановок.

3. Необходимостью учета негативного влияния на человека электромагнитных полей, генерируемых электроустановками зданий. В ряде случаев необходимо учитывать и другие источники электромагнитного излучения (ЭМИ): компьютерную технику, устройства систем связи и т.п.

4. Возможностью возникновения в электроустановках нескольких видов различных опасностей, обусловленных одним физическим явлением, например, коротким замыканием.

Значительное совпадение первопричин возникновения опасных ситуаций в электроустановках предопределяет использование одних и тех же технических решений при создании систем и средств защиты от различных видов опасностей (например, использование заземляющих устройств). Это позволяет создавать многофункциональные (комплексные) системы обеспечения безопасности, имеющие рациональные технико-экономические показатели. При этом возникает необходимость решения задач комплексной оценки эффективности таких систем и их многокритериальной оптимизации.

Одной из задач этого направления можно считать популяризацию комплексного представления об опасности электроустановок и совокупности защитных мероприятий.

При проведении анализа техногенной опасности электроустановок целесообразно рассмотреть современную концепцию описания опасности, как системы двух взаимодействующих объектов, а в дальнейшем наполнить ее содержание применительно к возможным видам опасностей. Научные положения, которые могут для этого использоваться, представлены в материалах общей теории безопасности, а также комплексной дисциплины «Безопасность жизнедеятельности».

Теория безопасности определяется как система представлений и идей, предназна-

ченная для изучения полного спектра опасностей для человека от его взаимодействия с окружающей средой и выявления исчерпывающей системы мер безопасности [1]. Безопасность жизнедеятельности определяется как научная дисциплина, изучающая возможности обеспечения безопасности человека применительно к любому виду человеческой деятельности [1].

Рассмотрим основные определения рассматриваемых теорий: понятия «опасность» и «безопасность». Воспользуемся при этом результатами специального терминологического исследования [2], в котором собраны указанные определения, приведенные в различных источниках. В нем, в частности, указано, что, несмотря на наличие многолетних научных дискуссий о терминологии в области безопасности, вводе ряда Федеральных законов и нормативно-технических документов, базовые понятия «опасность» и «безопасность» до настоящего времени окончательно не определены.

В качестве примера можно привести одно из определений опасности, содержащееся в ГОСТ Р 12.3.047-98 [3]: «Опасность – потенциальная возможность возникновения процессов или явлений, способных вызывать поражения людей, наносить материальный ущерб и разрушительно воздействовать на окружающую атмосферу».

Важным результатом исследования [2] является выдвижение авторами положения о том, что безопасность «представляет собой системную характеристику, учитывающую способность одних объектов угрожать, а других – быть потенциальной жертвой таких угроз и, одновременно, защищаться от этих угроз, сводя возможность их реализацию к минимуму».

Таким образом, в этом случае в рассмотрение должна приниматься система «источник опасности – потенциальная жертва». Как подчеркивается авторами, «только для такой системы могут быть четко и однозначно определены категории «опасность» и «безопасность». Такой системный способ определения понятий «опасность» и «безопасность» нами полностью разделяется и называется в дальнейшем «концепцией двух объектов».

Вместе с тем, понятие «потенциальная жертва» имеет ярко выраженный «биологический» характер и для большого перечня разновидностей опасностей его трудно интерпретировать. В связи с этим предлагается новая терминология, основанная на парных понятиях «объект» и «субъект».

В дополнение к точке зрения авторов предлагается использование других названий для компонентов вводимой системы: источник опасности называть субъектом опасности, а потенциальную жертву – объектом опасности. Однако, при изолированном использовании в контексте первого из понятий, вполне приемлемо сохранение термина «источник опасности».

Возможно также расширение «концепции двух объектов». В рамках исходного определения оговаривается, что потенциальная жертва защищается от угроз. Однако способность защищаться от угроз присуща далеко не всем жертвам. В качестве примера может быть рассмотрена возможность защиты организма человека от воздействия болезнетворных микробов с помощью механизма иммунитета. Однако при недостаточной защите с помощью этого природного механизма человек вынужден использовать различные лекарственные средства (в том числе и усиливающие иммунитет). Таким образом, лекарственные средства уже являются внешним компонентом защиты.

Передача функций защиты объектам, внешним по отношению к объекту опасности, является достаточно распространенной ситуацией. При этом создаются специальные системы в той или иной степени реализующие функцию защиты объектов опасности. Таким образом, при системном описании понятий «опасность» и «безопасность» может использоваться и третий объект, функцией которого является обеспечение защиты от угроз со стороны источника опасности. С учетом этого обстоятельства нами предлагается использовать наряду с «концепцией двух объектов» расширенную «концепцию трех объектов». Предлагаемая система трех объектов является более полной и естественной для описания понятия «безопасность». Введение третьего объекта позволяет более естественно использовать «сопряженный» термин «безопасность» и описывать на его основе понятийное поле систем обеспечения безопасности, позволяющее описывать вопросы эффективности защиты, возможности реализации угроз и т.п.

Учитывая, что предметом данного научного исследования является описание опасности электроустановок зданий, будем рассматривать электроустановки напряжением до 1 кВ, расположенные в пределах некоторого помещения или совокупности помещений, входящих в состав здания. Рассматриваемый источник опасности должен быть описан как некоторый технический объект

или некоторая техническая система. При этом, в первую очередь, должно быть выполнено конструктивное (конструктивно-функциональное) описание источника опасности. В частности, должен быть представлен внешний вид электроустановки, ее размеры (геометрические характеристики), расположение в помещении.

Имеющееся определение электроустановок [4] основывается на происходящих в них энергетических процессах (передача, распределение электроэнергии и т.д.) и не оговаривает каких-либо критериев их структурирования. В связи с этим при описании электроустановок в пределах помещения сложно оценить, сколько электроустановок находится в помещении: одна или несколько? При решении этого вопроса можно опираться на традиционные схемы выделения отдельных электроустановок, например, для распределения и потребления электроэнергии. Так, для производственных помещений традиционным является выделение иерархической системы электроснабжения (СЭС), локализованной в пределах помещения и электроприемников. При этом обычно выделяется отдельная подсистема «освещение» и электроприемники, установленные стационарно. Для непромышленных помещений характерным является наличие в СЭС помещения большого числа штепсельных разъемов для подключения электроприемников (причем их перечень во времени может существенно изменяться).

Предпосылкой для структурирования электроустановок в пределах помещения могут являться и особенности их создания (монтажа). Система электроснабжения в пределах помещения создается в результате ее монтажа из некоторых исходных компонентов, включающих кабельно-проводниковые изделия, распределительные устройства, пускозащитную аппаратуру, комплектное электрооборудование. Каждый их использованных в СЭС компонентов, а также каждый электроприемник, соединяемый тем или иным способом с СЭС помещения, может рассматриваться как отдельная электроустановка. При этом для отдельных компонентов может быть выполнена более глубокая детализация (например, в комплектном РУ могут быть выделены отдельные аппараты защиты, которые тоже могут рассматриваться как электроустановки). В связи с этим возникает вопрос о разумной степени детализации электроустановок и о том, что следует считать их элементами. Основанием для принятия такого решения является положение о

сохранении элементом определенной функции электроустановки.

Таким образом, существует большое количество вариантов выделения электроустановок, находящихся в рамках помещения. Для решения проблемы описания электроустановок как одного из вариантов источников опасности нами предлагается использование понятия «сгруппированная электроустановка». Такая электроустановка включает всю СЭС помещения и все находящиеся в нем электроприемники. В таком составе электроустановка, находящаяся в помещении, определяется практически однозначно. Введенное понятие позволяет трактовать источник опасности в рассматриваемой предметной области, прежде всего, как совокупную электроустановку помещения. При возникновении необходимости рассмотрения лишь отдельных частей сгруппированной электроустановки (например, учета опасности только отдельного электроприемника), такие части будут трактоваться как подсистемы или элементы исходной системы.

Продолжая характеризовать сгруппированную электроустановку помещения как источник опасности в рассматриваемой предметной области, следует отметить, что такой источник в большей своей части доступен восприятию органами чувств человека.

После конструктивного описания источника опасности в помещении перейдем к выявлению перечня объектов, по отношению к которым электроустановки играют роль источников опасности или к формированию перечня объектов опасности. При решении этой задачи необходимо опираться на содержание наук, рассматривающих опасные воздействия электроустановок на какие-либо объекты. Воспользуемся также одним из примеров определений опасности, приведенным выше [3]. В нем, в первую очередь, упоминается о воздействиях источников опасности на людей, «вызывающих их поражения». Кроме того, в определении в качестве опасных рассматриваются воздействия, в результате которых «наносится материальный ущерб» (без какого-либо уточнения: чему или кому он наносится). Будем в дальнейшем проводить анализ опасности электроустановок в этих направлениях. Рассмотрим, в первую очередь, сферы опасных воздействий электроустановок, связанные с человеком.

При рассмотрении электроустановок необходимо учитывать, что это - технические (электроэнергетические) системы, при использовании которых возможны ситуации, связанные с опасным воздействием электри-

ческого тока. Условия возникновения соответствующих неблагоприятных обстоятельств и их последствий изучаются в рамках научного направления «Электробезопасность». Опасность воздействия электроустановок на человека в рамках направления «Безопасность жизнедеятельности» описывается, прежде всего, в терминах опасных и вредных производственных факторов.

Электрический ток, протекая по телу человека, может оказывать на его организм различное воздействие. Для электроустановок зданий этот перечень ограничивается биологическими проявлениями. Физиологическая сторона такого воздействия описывается как раздражение живых тканей организма, рефлекторное возбуждение нервной системы и нарушение внутренних биоэлектрических процессов. В результате указанного воздействия могут возникнуть электрический удар и электрический шок [5].

Важной характеристикой рассматриваемого вида опасности является описание обстоятельств, при которых человек «подключается» к электроустановке таким образом, что по его телу протекает электрический ток. (Эти обстоятельства описываются также как «попадание человека под напряжение», «создание цепи тока через тело человека» и др.). В рамках теории электробезопасности существует четкое разделение таких обстоятельств на два вида: прямое и косвенное прикосновение [4]. Первое из них определяется как электрический контакт людей с токоведущими частями электроустановок, второе – как контакт людей с открытыми проводящими частями электроустановок, оказавшимися под напряжением при повреждении изоляции. В рассматриваемой ситуации возможны два варианта воздействия людей на электроустановки (воздействие объекта опасности на источник опасности). Что же касается воздействия источника опасности на объект опасности, то последствия воздействий являются практически одинаковыми (в целом можно отметить меньший уровень последствий воздействий тока при косвенном контакте в силу меньшего значения влияющего напряжения).

Таким образом, может быть выделен первый вид опасности, который системно определен как воздействие электроустановки на человека, вызывающее протекание тока через его тело. Такая опасность может быть разделена на две разновидности, определяемые особенностями контакта.

При этом могут быть использованы два «модельных» представления об источнике

опасности, расширяющих его конструктивное описание. В первом «модельном» представлении можно считать, что источник представляет собой совокупность всех токоведущих частей сгруппированной электроустановки, во втором – как совокупность всех ее открытых проводящих частей (ОПЧ).

Говоря о человеке, как об объекте опасности, следует учитывать, что в пределах помещения это может быть как некий отдельный человек, взаимодействующий со сгруппированной электроустановкой (или ее подсистемой), либо достаточно устойчивая группа людей, каждый из которых взаимодействует с электроустановкой. Описывая взаимодействие источника опасности и объекта опасности следует считать, что воздействие человека на электроустановку проявляется в его касаниях электроустановки, а опасное воздействие установки на человека – в формировании условий для протекания тока по телу человека.

При рассмотрении электроустановок зданий необходимо учитывать, что они являются источниками электромагнитного поля (ЭМП). Как электрическая, так и магнитная составляющие ЭМП промышленной частоты могут оказывать отрицательное воздействие на организм человека [5, 6]. Отсюда следует, что электроустановки являются источником еще одного вида опасности: электромагнитной. Характеристика опасности электроустановок для этого вида должна быть «двухступенчатой». На первой ступени должно быть охарактеризовано создаваемое электромагнитное поле (включая распределение его физических характеристик в пространстве). На второй ступени оцениваются физиологические последствия воздействия ЭМП (или его отдельных составляющих) на организм человека с учетом времени пребывания в зоне действия поля.

Каждая сгруппированная электроустановка создает уникальное ЭМП. Представление о таких полях можно получить по описанию для конкретных видов распределительных устройств, кабельных линий, электропроводок, приведенных в [6]. Здесь же содержатся сведения о характеристиках полей, создаваемых некоторыми электроприемниками. Следует отметить, что в группе электроприемников могут содержаться источники ЭМИ не только промышленной частоты, но и многочастотные. В связи с этим возможны подходы, учитывающие опасность ЭМП только промышленной частоты, либо принимать во внимание влияние всех источников ЭМИ.

Физиологические последствия воздействия ЭМП промышленной частоты в настоящее время еще недостаточно изучены. Тем не менее, можно утверждать, что низкочастотные поля оказывают специфическое воздействие на человека, нарушая биохимические процессы, протекающие в клетках и тканях. Наблюдаются нарушения условно-рефлекторной деятельности, снижение биоэлектрической активности мозга, изменения межнейронных связей. Возможны отклонения со стороны эндокринной системы [5]. В качестве характерной особенности данного вида опасности следует отметить отсутствие непосредственного контакта человека с электроустановкой.

Таким образом, второй вид опасности электроустановок зданий может быть системно определен как электромагнитное влияние электроустановки.

К одной из разновидностей опасности, выделенных в [3], относится материальный ущерб. Применительно к электроустановкам этот ущерб может быть обусловлен пожаром из-за различных «электротехнических» причин. Полное или частичное уничтожение объектов в зоне пожара, состоящей из очага пожара и зоны теплового воздействия, приводит к тому, что собственнику объекта наносится прямой или косвенный материальный ущерб.

Причинами возникновения пожаров от электроустановок обычно являются возникновение в них аварийных режимов – коротких замыканий (КЗ) и перегрузок [7], а также повышенное тепловыделение в контактных соединениях. Пожарная опасность перегрузок вызвана значительной температурой нагрева токопроводящих жил. Пожарная опасность КЗ связана в основном с высокой температурой дуги в зоне замыкания, а также высокой температурой искр, представляющих собой частицы раскаленного металла. Статистические данные пожаров от электрических причин показывают, что наибольшее число пожаров возникает от КЗ и что наиболее пожароопасным видом электротехнических устройств являются электропроводки.

Представляет интерес определение пожарной опасности электроустановок, приведенное в [7]. В нем такая опасность определяется как способность электроустановок при определенных условиях быть причиной зажигания, а также распространять горение. В рамках этого определения в качестве причин зажигания указываются электрические дуги, искры и нагрев токоведущих элементов. В качестве направления распространения го-

рения указаны направления вдоль электрических проводок и кабелей.

Таким образом, электроустановка может рассматриваться как среда, в которой могут возникать источники зажигания. В качестве объекта опасности могут рассматриваться окружающие электроустановку предметы и объекты, находящиеся в помещении. При этом в качестве окружающих могут рассматриваться вещества и материалы, соприкасающиеся с электроустановкой, находящиеся в зоне ее радиационного излучения, либо в зоне поражения дугой или раскаленными частицами от электроустановок. В этот перечень могут быть включены также и другие горючие материалы или вещества, которые могут оказаться в зону распространения пожара.

При оценке ущерба от пожара возникает необходимость в учете экономических показателей объекта опасности.

В рамках оценки рассматриваемого аспекта опасности электроустановок примем допущения о том, что:

- объекты опасности не являются электроустановками;
- пожар не оказывает воздействия на людей, находившихся до его возникновения в помещении.

Таким образом, выделяется третий вид опасности электроустановок зданий, системно определенный возможностью материального ущерба в результате пожара от электроустановки.

При этом возможна ситуация, когда в результате пожара уничтожается и сама электроустановка. Типичным примером такой ситуации является загорание изоляции на участке электропроводки вследствие дугового КЗ, распространение такого пожара по длине проводки с последующим окончанием этого процесса.

С учетом рассматриваемой ситуации выделяется четвертый вид опасности электроустановок зданий, системно определенный возможностью материального ущерба, наносимого собственникам электроустановки в результате ее уничтожения.

Еще один вид опасности электроустановок зданий обусловлен воздействием пожароопасных факторов на людей, находящихся в рассматриваемом помещении. Открытый огонь, повышенная температура, продукты горения и т. п. могут приводить к серьезным последствиям для здоровья людей или к их гибели. Таким образом, выделяется пятый вид опасности электроустановок зданий, системно определенный как опосредованное

воздействие электроустановки на людей в результате пожара, инициированного этой электроустановкой.

Можно провести некоторую аналогию между вторым и пятым видами опасности, условно считая, что в первом случае воздействие электроустановки на человека осуществляется посредством ЭМП, а во втором – посредством пожара.

В заключение рассмотрим специфический вид опасности, связанный с воздействием электроустановок на сельскохозяйственных животных.

При содержании в помещениях такие животные могут подвергаться воздействию смертельно опасных шаговых напряжений и напряжений прикосновения, возникающих при повреждениях изоляции электроустановок и нарушении систем выравнивания электрических потенциалов. Кроме того, возможно длительное воздействие на животных малых напряжений, возникающих на металлоконструкциях при несимметричной нагрузке сети в нормальных режимах, что приводит к снижению продуктивности.

Особенностью данного вида опасности можно считать то, что животное не взаимодействует непосредственно с электроустановкой и, более того, электроустановка может находиться вне рассматриваемого помещения. Оценка последствий негативных взаимодействий животных с электроустановками производится по значению наносимого материального ущерба.

Таким образом, может быть выделен шестой вид опасности электроустановок, системно определенный возможностью ущерба, обусловленного снижением продуктивности или гибелью животных в результате неисправности электроустановок или невыполнения требуемых защитных мероприятий.

С учетом рассмотренных видов опасности электроустановок зданий должны строиться многофункциональные (комплексные) системы защиты. Предложенный подход в настоящее время реализуется в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова [8-12].

Выводы

1. В настоящее время назрела необходимость в формировании интегрирующего научного направления «Комплексная безопасность электроустановок зданий».

2. Первым этапом разработки этого направления следует считать формирование развернутого системного представления об

опасности электроустановок зданий. Такое представление целесообразно разрабатывать на основе концепции двух взаимодействующих объектов.

3. Обобщение последствий негативного влияния электроустановок зданий на людей, животных и материально значимые объекты позволяет выделить шесть видов различного рода опасностей.

4. Полученные результаты системного анализа техногенной опасности электроустановок зданий представляют собой единую методологическую основу для создания многофункциональных (комплексных) систем обеспечения безопасности электроустановок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов, С. В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды: учебник/С. В. Белов.-2-е изд., испр. и доп.- М.: Изд-во Юрайт, 2011. – 680 с.
2. Гражданкин, А. И. Опасность и безопасность/ А.И. Гражданкин // Безопасность труда в промышленности.- 2002.- № 9.- С. 41-43.
3. ГОСТ Р 12.3.047-98. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. Дата введения 2000-01-01. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.ervist.ru/info/normbase/gost12304798.pdf>.
4. Правила устройства, эксплуатация и безопасность электроустановок: нормативно-технический сборник/ О.К. Никольский, А.А. Сошников, О.Н. Дробязко, В.С. Германенко и др. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2004. – 840 с.
5. Маньков В.Д. Обеспечение безопасности при работе с ПЭВМ: Практическое руководство / В.Д. Маньков.-СПб.: Политехника, 2004.-277 с.
6. Карякин, Р.Н. Основы электромагнитной совместимости [Текст]: учебник для вузов / Р.Н. Карякин, Л.В. Куликова, О.К. Никольский, А.А. Сошников, Н.Т. Герцен, Т.В. Еремина, А.А. Зайцев; под ред. Р.Н. Карякина; Алт. гос. тех. ун-т им. И.И. Ползунова. – Изд. 2-е, перераб.- Барнаул: ОАО «Алтайский дом печати», 2009. – 470 с.
7. Смелков Г.И. Пожарная опасность электропроводок при аварийных режимах / Г.И. Смелков. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 184 с.
8. Сошников, А.А. Количественная оценка состояния электробезопасности в образовательных учреждениях/ А.А. Сошников, О.Н. Дробязко // Ползуновский вестник.- 2009.- № 4.- С. 34-36.
9. Сошников, А.А. Интегральный показатель пожарной опасности коротких замыканий в электроустановках зданий/ А.А. Сошников, С.А. Сошников // Ползуновский вестник.- 2009.- № 4.- С. 51-53.
10. Сошников, А. А. Принципы создания комплексной системы техногенной безопасности образовательных учреждений/ А.А. Сошников, Н.П. Воробьев // Ползуновский вестник. - 2011, № 2/1.- С. 243 – 247.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОГЕННОЙ ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ЗДАНИЙ

11. Никольский, О.К. Комплексная система обеспечения безопасности электроустановок сельских населенных пунктов. Методические и практические рекомендации /О.К. Никольский, А.А. Сошников, О.Н. Дробязко, Т.В. Еремина, С.А. Сошников, Ю.С. Лукьянов, С.Н. Серов, Б.С. Компанеец, С.Ф. Нефедов, О.В. Полухин; под ред. А.А. Сошникова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011. – 112 с.

12. Сошников, А.А. Современные технологии в системах техногенной безопасности образовательных учреждений/ А.А. Сошников, Н.П. Воробьев, Б.С. Компанеец, Е.В. Титов // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2012. – № 6. – С.– 184 - 189.

Сошников А. А. - АлтГТУ им. И.И. Ползунова, кафедра «Электрификация производства и быта», д.т.н., профессор,
E-mail: elnis@inbox.ru,
тел. (385-2) 36-71-29.

Дробязко О.Н. - АлтГТУ им. И.И. Ползунова, кафедра «Системы автоматизированного проектирования», д.т.н., профессор,

E-mail: drolnik@list.ru,
тел. (385-2) 36-71-29.