

$w_0$ . Изменение скорости закручивания потока значительно влияет на форму факела пламени: при  $w_0 = 0,25v_{гор}$  горючее не успевает полностью сгореть, при  $w_0 = 5v_{гор}$  факел пламени резко укорачивается. Следовательно, увеличение скорости закручивания при подаче окислителя позволяет создавать укороченный факел пламени. Отметим также, что дальнейшее увеличение  $w_0$  приводит к возникновению возвратных течений в ядре пламени. Данный факт отрицательно сказывается на качестве напыления, поскольку при этом скорость частиц порошка уменьшается.

Проведенное теоретическое исследование на математической модели позволяет сделать вывод об эффективности управления размерами факела пламени в газопламенном напылении изменением степени закручивания потока окислителя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А р т ю х Л.Ю., К а ш к а р о в В.П., Л о к т и о н о в Н.В. Численное исследование турбулентного диффузионного горения на вертикальной поверхности // ФГВ. — 1985. — № 3. — С. 8–14.
2. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов / Г.Б. Синирев, Н.А. Ватолин, Б.Г. Трусов, Г.К. Моисеев. — М.: Наука, 1982. — 261 с.
3. S p a l d i n g P.B. GENMIX: A General Computer Program for Two-dimensional Parabolic Phenomena Pergamon Press, 1977.

УДК 658.382.3:621.31

Т.Г. ПОСПЕЛОВА, канд. техн. наук,  
С.М. НАЙДОВИЧ (БПИ)

### О РАСПОЗНАВАНИИ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИИ ЭЛЕКТРООПАСНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Интенсивное развитие электрических сетей выявило ряд серьезных проблем их эксплуатации. Одна из важнейших среди них — повышение ее безопасности.

Электроэнергетическое производство, включая передачу и распределение электроэнергии, относится к группе производств, абсолютную безопасность которых по одним факторам (опасность поражения электрическими током, дугой) достичь невозможно, а по другим (влияние электромагнитного поля) — нецелесообразно. В современных энергосистемах возрастает значение таких ценностных факторов, как экономичность, надежность, безаварийность. Это обуславливает поиск необходимого и достаточного уровня безопасности электрических сетей.

В известной работе [1] ретроспективный анализ электробезопасности, выполненный на основе обработки большого статистического материала по уже происшедшим фактам поражения электрическим током, результатов инструментальных и теоретических исследований, позволил вскрыть биологическую сущность электротравматизма, определить организационные и технические мероприятия его предупреждения.

Однако в настоящее время объективные причины привели к отставанию

математического, организационного и технического обеспечения безопасности эксплуатации от современных технологических, конструктивных решений в электрических сетях. Рост протяженности, плотности электрических сетей, распространение линий передачи сверх- и ультравысокого напряжения, разработка и внедрение нового оборудования, новых технологий и оснасток проведения работ в условиях усложнения эксплуатации и технического обслуживания, автоматизации управления и ограниченности трудовых ресурсов – все это делает актуальным поиск новых способов обеспечения безопасности эксплуатации.

В "Правилах техники безопасности при эксплуатации электроустановок" в определенной мере учитываются требования к организации эксплуатации и перспективы развития электрических сетей. Однако очевидна возможность их дальнейшего совершенствования. К примеру, в настоящее время имеется достаточно много видов и технологий работ на электропередачах. В действующих Правилах отсутствует четкость классификации работ и требований к их выполнению.

Назрела необходимость решать задачу распознавания и предупреждения электроопасных ситуаций при эксплуатации электрических сетей.

Для оценки электробезопасности электроустановок и сетей, технологий работ в них ныне приняты уровни токов, протекающих через человека, и напряжений прикосновения. Предельно допустимые значения этих показателей установлены ГОСТ 12.1.000–82 ССБТ "Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов".

Эти критерии электробезопасности не отвечают поставленной выше задаче распознавания и предупреждения электроопасных ситуаций, не поддаются оперативному измерению или расчету.

В качестве показателя уровня электробезопасности человека в различных ситуациях эксплуатации электрических сетей целесообразно принять вероятность предотвращения воздействия электрического тока. Все виды операций при эксплуатации электрических сетей (оперативные переключения, осмотры, работы различных категорий по электробезопасности) можно представить как множество  $i$ -х элементарных независимых действий или электроопасных ситуаций. Тогда вероятность предотвращения воздействия электрического тока на человека при выполнении какого-либо вида эксплуатационной операции определится как

$$P = \prod_{i=1}^n P_i ,$$

где  $P_i$  – вероятность предотвращения воздействия тока при  $i$ -м элементарном действии (ситуации);  $n$  – число элементарных действий, составляющих определенную операцию эксплуатации.

Обозначим расчетную вероятность поражения электрическим током в  $i$ -й ситуации  $Q_i$  и запишем:

$$P_i = 1 - Q_i .$$

Среди общеизвестных причин поражения электрическим током выделим две группы: 1) технические – скрытые ошибки проектирования, дефекты монтажа и устройства; низкий уровень технической эксплуатации и обслужи-

вания электроустановок; 2) психофизиологические – ошибки персонала, нарушения трудовой дисциплины, неудовлетворительное состояние отдельных людей и всего коллектива, выполняющего работу. Как показывает статистика, 70...80 % случаев электротравматизма происходит по причинам второй группы. Учитывая такую структуру причин, вероятность поражения электрическим током представим

$$Q_i = Q_{c_i} Q_{r_i} (1 - P_{з_i}),$$

где  $Q_{c_i}$  – вероятность возникновения  $i$ -й электроопасной ситуации по первой группе причин;  $Q_{r_i}$  – вероятность прикосновения человека к токоведущим или потоковедущим частям под напряжением или приближения к ним на опасное расстояние в  $i$ -й ситуации по второй группе причин;  $P_{з_i}$  – вероятность эффективности защитных мер и средств от поражения электрическим током в  $i$ -й ситуации. Уровень обеспечения электробезопасности людей при эксплуатации электрических сетей отвечает требуемому, если

$$1 - P \leq Q^H,$$

где  $Q^H$  – нормативная вероятность воздействия электрического тока на человека при конкретном виде операции эксплуатации.

Т а б л и ц а 1

Структура причин возникновения электроопасных ситуаций в процессе монтажа линий электропередач

Этап технологического процесса	Техническая причина возникновения электроопасной ситуации
Изготовление фундаментов под опоры	Засыпка котлована: не послойно, без утрамбовки грунта; мерзлым грунтом; грунтом с примесью снега и льда; во время дождя или вскоре после него и т. д.
Сборка опор	Ошибки при строповке элементов, секций и деталей опор; некачественные болтовые соединения; деформация конструкций при сборке и т. д.
Установка опор	Нарушение конструкции опоры при такелажных работах; нарушение технологии крепления опоры к фундаменту; промышленный брак при литье металла и т. д.
Раскатка проводов и тросов	Скрытые (неявные) повреждения проводов и тросов при транспортировке, погрузке, выгрузке, раскатке и т. д.
Соединение проводов	Сильное окисление соединяемых проводов при обжати, опрессовке; отсутствие защитной пасты при соединении и т. д.
Монтаж проводов и изоляторов	Несоответствие натяжных зажимов требованиям; нарушение конструкции изоляторов при их установке на опоры; отсутствие обмотки алюминиевой лентой при укладке провода в промежуточный подвесной или в натяжной зажим; скрытые дефекты при производстве изоляторов и т. д.

Для использования предлагаемых показателей необходима методика определения  $Q_{c_i}$  и  $Q_{r_i}$ . Вычисление вероятности  $Q_{c_i}$  может быть выполнено на основе предварительной структуризации технических причин снижения электробезопасности. Структуризация предполагает тщательный анализ технологических процессов проектирования, монтажа, устройства, технической эксплуатации, экспертной оценки технического состояния электроустановки. Тогда

$$Q_c = 1 - \prod_{k=1}^m (1 - Q_k),$$

где  $Q_k$  — вероятность снижения электробезопасности по  $k$ -й причине;  $m$  — число выявленных при структуризации технических причин (причины снижения безопасности считаем независимыми).

В табл. 1 приводится структуризация причин, выявленных при технологических процессах монтажа линии электропередачи [3].

Вероятность эффективного срабатывания комплекса защитных мер и средств от поражения электрическим током (если считать их действия независимыми событиями) определяется выражением

$$P_з = 1 - \prod_{j=1}^s (1 - R_j),$$

где  $R_j$  — вероятность эффективного срабатывания  $j$ -й защитной меры или средства;  $s$  — число защитных мер и средств.

Для практического использования предлагаемой методики выявления и оценки электроопасных ситуаций необходимо разработать систему сбора и обработки статистических данных.

Чрезвычайно важным элементом технического решения задачи распознавания и предотвращения электроопасных ситуаций в электрических сетях является приборное обеспечение. Авторами разработаны схемные решения подобных приборов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М а н о й л о в В.Е. Основы электробезопасности. — Л.: Энергоатомиздат, 1985. — 384 с.
2. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок. — М.: Энергия, 1979. — 20 с.
3. К и р е е в М.И., К о в а р с к и й А.И. Монтаж и эксплуатация электрооборудования станций, подстанций и линий электропередач. — М.: Высш. шк., 1974. — 255 с.

УДК 517.977:621.24

В.Б. КОВАЛЕВСКИЙ, В.И. ПАНАСЮК,  
д-р техн. наук (БПИ)

### АСИМПТОТИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

При внедрении скоростных режимов нагрева металла большое значение имеет выбор процессов управления, оптимальных по некоторым критериям, например расходу тепловой энергии [1].