

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ В ТЕХНОЛОГИЯХ БЕЗОПАСНОСТИ

А. А. Сошников, Б.С. Компанеец

В статье рассмотрены количественные показатели, характеризующие опасные проявления контролируемых процессов в технологиях обеспечения электрической и электромагнитной безопасности.

Ключевые слова: электробезопасность, электропожар, защита от коротких замыканий, электромагнитное излучение, допустимое время, картина опасности.

В последние годы одной из важнейшей составляющей государственной политики являются вопросы совершенствования технологий безопасности во всех отраслях страны. В составе таких технологий, прежде всего, следует отметить обеспечение электрической и пожарной безопасности электроустановок, а также относительно новое направление – защиту от электромагнитных полей, возникающих в процессе использования современного информационно-технологического оборудования, мобильных средств связи и других источников электромагнитных излучений.

Развитие и совершенствования технологий безопасности целесообразно производить на основе количественной оценки показателей, характеризующих опасные проявления рассматриваемых процессов [1 -5].

В частности, использование такого подхода для предупреждения пожаров от электроустановок до 1000 В базируется на следующем.

Для автоматического отключения питания при неисправности электроустановки широко используются предохранители и автоматические выключатели, в функции которых входит не только защита от аварийных режимов, но и предупреждение электропоражений людей и животных. Однако многолетний опыт эксплуатации электроустановок показал недостаточную эффективность такой защиты, как в части предупреждения электропожаров, так и обеспечения электробезопасности.

Одной из причин этого является пережигающий эффект электрической дуги, как правило, возникающей при коротких замыканиях (КЗ). При КЗ электрическая дуга, температура которой достигает нескольких тысяч градусов, может воспламенить изоляцию или другие горючие материалы, что вместе с действием искр и расплавленных частиц металла приводит к развитию пожара. Кроме того,

действуя, как электросварка, дуга КЗ может пережечь электропроводку быстрее, чем срабатывает защита, что эквивалентно ее отсутствию и неконтролируемому протеканию пожароопасных процессов.

Современные методики выбора электрической защиты не учитывают воздействие электрической дуги КЗ на электропроводки. Тем самым допускается возможность электропожара еще на этапе проектирования защиты. Для обеспечения пожарной безопасности электроустановок необходимы оценка функционирования и обоснование мероприятий по повышению эффективности электрической защиты, как меры предупреждения пожаров. С этой целью могут использоваться вероятностные методы оценки пожарной опасности КЗ. С использованием этих методов в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова (АлтГТУ) создана технология повышения безопасности электроустановок, основанная на автоматизированных методах выявления пожароопасных участков системы электрооборудования и выбора экономически целесообразных сочетаний параметров защиты от КЗ и электропроводок по условию наименьшей вероятности пожара [2].

Количественным критерием оценки противопожарной эффективности электрической защиты, определяющим условия пережога электропроводки током дугового КЗ, является коэффициент незащищенности участка сети для i -го вида КЗ. Этот коэффициент определяется отношением диапазона токов КЗ, для которого время пережога меньше времени срабатывания защиты, к диапазону токов КЗ на участке сети (пропорциональным отношению соответствующих длин участков сети) и рассчитывается по формуле:

$$k_s^{нз(i)} = \delta I_s^{нпз(i)} = \frac{l_s^{нпз(i)}}{l_s}, \quad (1)$$

где l_s - длина s-го участка сети ($s=1, 2, \dots, S$); $l_s^{npz(i)}$ - длина зоны пережога для КЗ i-го вида на этом участке; $\delta l_s^{npz(i)}$ - доля незащищенной части s-го участка сети для i-го вида КЗ.

На основе этого показателя строится показатель, характеризующий пожарную опасность пережога в сети в целом для i-го вида КЗ. Он определяется как отношение суммы длин зон пережога к сумме длин всех участков сети:

$$K^{nz(i)} = \Delta l^{npz(i)} = \frac{\sum_{s=1}^S l_s^{npz(i)}}{\sum_{s=1}^S l_s}, \quad (2)$$

где $\Delta l^{npz(i)}$ - доля незащищенной части электрической сети для i-го вида КЗ;

$l_s^{npz(i)}$ - длина незащищенной части s-го участка сети.

С помощью показателей (1) и (2), можно сравнивать различные варианты систем защиты для одной и той же электрической сети.

Для практического использования методики принимаются следующие допущения:

- за время T (обычно равное одному году) в сети происходит не более одного КЗ, причем вероятность i-го вида КЗ составляет P_T^{Ki} ;

- значение вероятности возникновения КЗ на s-ом участке сети $P_{s,T}^{Ki}$ пропорционально доле протяженности участка сети:

$$P_{s,T}^{Ki} = P_T^{Ki} \frac{l_s}{\sum_{s=1}^S l_s}, \quad (3)$$

На основе принятых допущений событие «пережог проводов в сети» оценивается вероятностью пережога проводов $P_s^i(Prz)$ на одном из S участков сети за время T для i-го вида КЗ:

$$P_s^i(Prz) = \sum_{s=1}^S P_{s,T}^{Ki} P_s^i(Prz / KЗ), \quad (4)$$

где $P_s^i(Prz / KЗ)$ - условная вероятность пережога проводов при i-м виде КЗ на s-м участке сети.

Таким образом, возникновение пожара ставится в соответствие с явлением пережога электропроводки до срабатывания защиты.

С учетом изложенного, вероятность пожара $P_s^{Ki}(\Pi)$ от КЗ i-го вида на s-том участке сети в течение времени T можно определить по формуле:

$$P_s^{Ki}(\Pi) = P_{s,T}^{Ki} k_s^{nz(i)} Q_y Q_z Q_p Q_{Tз}, \quad (5)$$

где Q_y - вероятность сосредоточения пожароопасного вещества (включая наличие горючей изоляции) вблизи электропроводки; Q_z - вероятность воспламенения пожароопасного вещества в результате воздействия электрической дуги или раскаленных частиц металла; Q_p - вероятность перерастания возникшего загорания в пожар; $Q_{Tз}$ - вероятность отказа системы пожаротушения.

В расчетах значения вероятностей Q_y , Q_z , Q_p и $Q_{Tз}$ принимаются равными единице, поэтому $P_s^{Ki}(\Pi)$ можно рассматривать в качестве показателя пожарной опасности i-го вида КЗ на s-ом участке электрической сети:

$$P_s^{Ki}(\Pi) = P_{s,T}^{Ki} k_s^{nz(i)} \quad (6)$$

Используя коэффициент незащищенности электрической сети, можно определить показатель пожарной опасности i-го вида короткого замыкания для всей электрической сети рассматриваемого объекта по формуле:

$$P^{Ki}(\Pi) = P_T^{Ki} K^{nz(i)} \quad (7)$$

Может быть также рассчитан интегральный показатель пожарной опасности всех видов КЗ в электрической сети [2].

При использовании количественного подхода может возникнуть задача сравнительной оценки пожарной опасности КЗ на различных объектах электроснабжения. По абсолютным значениям интегральных показателей, рассчитанных для рассматриваемых объектов, нельзя делать вывод о большей или меньшей степени пожарной опасности КЗ, так как различные сети характеризуются разными вероятностями возникновения КЗ. Поэтому количественная оценка может использоваться только в рамках одного объекта при сравнении эффективности вариантов защиты.

Для сравнительной оценки пожарной опасности рекомендована методика, позво-

ляющая учесть соотношения вероятностей КЗ на различных объектах. В соответствии с этой методикой вводится понятие: «Объект приведения по уровню изоляции» (далее ОПИ), под которым понимается гипотетический объект электроснабжения, характеризующийся среднестатистическими значениями вероятностей КЗ, одинаковыми для каждого участка электрической сети, и определенными значениями показателей качества изоляции: сопротивления изоляции $R_{из}$, коэффициента абсорбции $K_{абс}$ и коэффициента поляризации $K_{пол}$, также одинаковыми для всех участков электрической сети. Коэффициент абсорбции характеризует увлажнение изоляции, а коэффициент поляризации - степень ее старения.

Для оценки качества изоляции на объекте, а также на его отдельных участках предложен показатель состояния изоляции Ω_c - характеризующий вероятность отсутствия короткого замыкания в течение рассматриваемого периода (например, одного года) [6].

$$\Omega_c = 1 - \frac{1}{R_{из} \sqrt{e^{A \cdot K_{абс} \cdot K_{пол}}}} \quad (8)$$

где, $R_{из}$, $K_{абс}$, $K_{пол}$ - значения показателей качества изоляции;

A - постоянная, величина, рассчитываемая по статистическим данным.

Для сопоставления показателей пожарной опасности любого расчетного объекта с соответствующими показателями ОПИ, необходимо измерить показатели качества изоляции $R_{из}$, $K_{абс}$, $K_{пол}$, например, с помощью прибора МИС-1000, для каждого участка электрической сети рассматриваемого объекта, определить значение Ω_{ci} и произвести корректировку значений вероятности КЗ каждого вида по формуле:

$$P_T^{Ki} = \frac{\Omega_{c0} \cdot P_{Tcp}^{Ki}}{\Omega_{ci}} \quad (9)$$

где P_{Tcp}^{Ki} - среднестатистическое значение вероятности данного вида КЗ для ОПИ;

Ω_{c0} - расчетное значение показателя Ω_c для ОПИ.

Далее производится расчет приведенных интегральных показателей пожарной опасности КЗ для рассматриваемого объекта с использованием скорректированных значений вероятностей КЗ каждого вида по участкам электрической сети.

Если определить показатели качества изоляции для каждого участка электрической сети невозможно, то используется упрощенный метод корректировки расчетного значения вероятностей КЗ с учетом допущения, что качество изоляции на рассматриваемом объекте одинаково для всех участков электрической сети и соответствует уровню изоляции на выбранном для контроля участке.

Рассчитанные таким образом значения приведенных интегральных показателей могут использоваться для сравнительной оценки пожарной опасности различных объектов или их групп, выделяемых по функциональным или территориальным признакам.

В основу рассмотренной методики положено сопоставление характеристик срабатывания аппаратов защиты (предохранителей или автоматических выключателей) и характеристик перегрева электропроводки электрической дугой, полученных экспериментально в АлтГТУ

Характеристики срабатывания аппаратов защиты задаются заводами-изготовителями с учетом разброса возможных значений. Реальное время срабатывания защиты за счет наличия зоны разброса может отличаться в несколько раз при одном и том же токе. Аналогичный разброс имеют и характеристики перегрева электропроводок. В общем случае возможны как благоприятные, так и неблагоприятные сочетания характеристик срабатывания защиты и перегрева электропроводки на различных участках электрической сети. В первом случае защита может иметь высокую эффективность. Во втором - крайне низкую.

Для обоснования выбора расчетных характеристик нами выполнены расчеты показателей пожарной опасности для различных вариантов электроснабжения и различных систем электрической защиты в сельских электроустановках [7]. Расчеты проводились для ПА-системы защиты (на основе предохранителей и автоматических выключателей) и ПАУ-системы защиты (с дополнительным использованием УЗО). При этом рассматривались верхние, средние и нижние характеристики срабатывания защиты и перегрева электропроводки, обозначаемые далее соответственно В, С, Н в последовательности: для аппарата защиты - для перегрева электропроводки.

Наибольшие показатели пожарной опасности дуговых КЗ соответствуют сочетанию характеристик: В-Н, и С-Н. Улучшение по величине показателей пожарной опасности КЗ,

иногда значительное, обеспечивает сочетание характеристик В-С.

Меньшим значениям показателей пожарной опасности по сравнению с сочетанием В-С среди оставшихся характеристик соответствуют сочетания: В-В, С-В, С-С и Н-С. При этом наихудшая ситуация соответствует сочетанию С-С. При сочетаниях В-В, С-В и Н-С показатели пожарной опасности, по крайней мере, не хуже этих показателей для сочетания С-С.

При сочетании характеристик Н-Н возможны как высокие, так и низкие показатели пожарной опасности. При этом в случае высоких значений показатели пожарной опасности, по крайней мере, не хуже этих показателей при сочетаниях В-Н, и С-Н, а в случае низких значений они, по крайней мере, не лучше этих показателей для сочетания С-С.

По результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что для оценки эффективности системы электрической защиты можно ограничиться расчетом показателей пожарной опасности по следующим сочетаниям характеристик срабатывания защиты и пережога проводов: С-Н и С-С.

По результатам расчетов показателей пожарной опасности для различных вариантов электроснабжения и различных систем электрической защиты сельскохозяйственного объекта определены способы повышения эффективности электрической защиты при благоприятных и неблагоприятных сочетаниях характеристик срабатывания защиты и пережога электропроводки.

Наиболее простым способом снижения пожарной опасности КЗ при В-Н и В-С сочетаниях характеристик является отбраковка автоматических выключателей с защитными характеристиками выше средней. Такая отбраковка может быть проведена перед монтажом аппаратов защиты, например, с помощью комплекта «РТ-2048 М», предназначенного для испытания автоматических выключателей.

Опасность однофазных КЗ на открытые проводящие части может быть устранена за счет применения УЗО, то есть использования ПАУ-систем защиты.

При неблагоприятных сочетаниях характеристик срабатывания защиты и пережога электропроводки для снижения опасности оставшихся видов КЗ могут быть предложены использование быстродействующих предохранителей (например, серии СН, производства Словении), а также частичная замена алюминиевой электропроводки, прежде всего на участках с наименьшими сечениями про-

водов. Алюминиевые провода сечением 2,5 мм² целесообразно исключить еще на этапе проектирования системы электроснабжения, заменив их на медные и повысить тем самым пожарную безопасность при КЗ.

При рассмотрении вопросов обеспечения электромагнитной безопасности необходимо учитывать возможность одновременного влияния нескольких источников электромагнитного излучения (ЭМИ). Повышению уровня опасности способствует автоматизация и компьютеризация производственных и бытовых процессов, внедрение современных электротехнических изделий. ЭМИ могут создаваться также силовой и осветительной электропроводкой, электрическими распределительными щитами, электрическими лампами и т.п.

Для выбора эффективной защиты от ЭМИ необходимо обеспечивать контроль состояния электромагнитной обстановки. При этом количественным показателем степени ее опасности может служить наименьшее допустимое время пребывания человека в контролируемой зоне, соответствующее наиболее опасной составляющей действующих электромагнитных излучений. На этом подходе основан новый способ контроля электромагнитной безопасности [8], характеризуемый следующим.

Состояние электромагнитной обстановки на контролируемом объекте оценивается пространственной картиной электромагнитной опасности, представляющей собой карту допустимого времени пребывания человека в различных зонах исследуемого пространства, получаемую в результате выявления наиболее опасных составляющих электромагнитного излучения от различных источников в диапазоне исследуемых частот и последующего компьютерного моделирования электромагнитного поля.

Опасные составляющие электромагнитных излучений соответствуют наименьшему допустимому значению времени пребывания человека в точках измерения напряженностей электрических, магнитных полей и плотности потока энергии (ППЭ) электромагнитных радиочастотных полей вблизи источников излучения на частотах, регламентированных действующими нормативными документами.

В процессе реализации способа:

- проводятся экспериментальные исследования уровней статических электрических полей, переменных электрических, магнитных и электромагнитных полей в диапазоне частот и на расстоянии от центра каждой внеш-

ней поверхности каждого источника излучения, соответствующих требованиям санитарно-эпидемиологических правил и нормативов; при этом учитывают только наибольшие значения напряженностей электрического, магнитного полей и плотности потока энергии;

- определяется наименьшее допустимое время пребывания людей в зонах воздействия излучения от внешних поверхностей источников ЭМИ в измеренных статических электрических полях и частотных диапазонах переменных электрических, магнитных и электромагнитных полей;

- измеренные значения напряженностей электрических, магнитных полей и ППЭ, соответствующие наименьшему допустимому времени пребывания людей в зонах воздействия излучения от внешних поверхностей источников ЭМИ, используют для компьютерного моделирования пространственной картины электромагнитных излучений, а также сочетания различных видов излучений в исследуемом помещении;

- на основе результатов компьютерного моделирования получают картины уровней электрического, магнитного и электромагнитного полей во всех точках пространства объектов;

- с помощью полученной пространственной картины электромагнитных полей определяют области исследуемого пространства, характеризующиеся превышением предельно-допустимых уровней исследуемых полей;

- о состоянии электромагнитной обстановки судят по полученной пространственной картине опасности ЭМИ, преобразуя узловое значения шкалы напряженности электрического или магнитного полей или плотности потока энергии в узловое значения допустимого времени пребывания, формируя шкалу допустимого времени и заменяя шкалу поля на шкалу допустимого времени пребывания в опасных зонах объекта;

- полученную пространственную картину опасности ЭМИ используют в качестве карты допустимого времени пребывания людей в различных зонах исследуемого помещения, а также для проведения организационно-технических мероприятий по снижению степени влияния электромагнитных излучений на людей, находящихся в рассматриваемом помещении.

Моделирование электромагнитных полей позволяет решать задачи определения мероприятий по нормализации электромагнитной обстановки в помещениях с источниками ЭМИ [9], в том числе:

- выбор способов организации рабочих мест;
- выбор мер защиты от электромагнитного излучения;
- обоснование целесообразности замены оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сошников, А.А. Количественная оценка состояния электробезопасности в образовательных учреждениях [Текст] / А.А. Сошников, О.Н. Дробязко // Ползуновский вестник.- 2009.- № 4.- С. 34-36.

2. Сошников, А.А. Интегральный показатель пожарной опасности коротких замыканий в электроустановках зданий [Текст] / А.А. Сошников, С.А. Сошников // Ползуновский вестник.- 2009.- № 4.- С. 51-53.

3. Сошников, А.А. Развитие методов инструментального контроля состояния электромагнитной безопасности [Текст] / А.А. Сошников, Е.В. Титов // Международный научный журнал.- 2010.- № 4.- С. 97 – 99.

4. Сошников, А. А. Принципы создания комплексной системы техногенной безопасности образовательных учреждений [Текст] / А.А. Сошников, Н.П. Воробьев // Ползуновский вестник. - 2011, № 2/1.- С. 243 – 247.

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

6. Компанеец, Б.С. Сравнительная оценка пожарной опасности различных объектов электрооборудования [Текст] / Б.С. Компанеец, С.Ф. Нефедов // Ползуновский вестник. - 2012.- № 4.- С. 27 – 33.

7. Компанеец, Б.С. Учет разброса характеристик аппаратов защиты при создании систем пожаробезопасности / Б.С. Компанеец // Ползуновский вестник. - 2011.- № 2/2.- С. 32 – 36.

8. Сошников, А.А. Контроль электромагнитной обстановки на объектах с источниками электромагнитных излучений [Текст] / А.А. Сошников, Н.П. Воробьев, Е.В. Титов // Ползуновский вестник. - 2012. - № 4. - С. 64 – 68.

9. Сошников, А.А. Обеспечение безопасности процесса обработки семян в СВЧ-поле [Текст] / А.А. Сошников, Е.В. Титов // Ползуновский вестник. - 2012, № 4.- С. 69 – 74.

Сошников А. А. - АлтГТУ им. И.И. Ползунова, кафедра «Электрификация производства и быта», д.т.н., профессор,
E-mail: elnis@inbox.ru,
тел. (3852) 36-71-29.

Компанеец Б.С. - АлтГТУ им. И.И. Ползунова, кафедра «Электрификация производства и быта», к.т.н., ст. преподаватель,

E-mail: kompbs@mail.ru,
тел. (3852) 36-71-29.