

ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ АПК

О.К. Никольский, В.С. Германенко

До недавнего времени действующая система организационно-технических мероприятий по электробезопасности (СЭБ) была ориентирована в первую очередь на защиту людей и сельскохозяйственных животных. Однако уже с 80-х годов XX века начало формироваться новое направление, ориентированное на использование СЭБ для предотвращения пажароопасных режимов в электроустановках, имея в виду применение для этих целей устройства защитного отключения. Несмотря на имеющийся здесь определенный положительный опыт существуют до сих пор разногласия специалистов в вопросах выбора основных направлений развития защитного отключения (ЗО), как основной защитной меры в электроустановках, и обоснования требований к характеристикам ЗО. Объяснением этому может служить, с одной стороны, отсутствие общей концепции многокритериального подхода к оценке значимости тех или иных защитных мер, с другой - недостаточность объективных данных о надежности и эффективности нового вида защиты, которые могут быть получены опытным путем.

Весьма перспективным в определении точности и надежности оценок, необходимых для принятия решения, предоставляются методы экспертных оценок [1,2], позволяющие научным работникам и специалистам вырабатывать коллективное суждение по изучаемой проблеме, провести статистическую оценку значимости влияния тех или иных показателей, неподдающихся измерению, обосновать требования к системе безопасной эксплуатации электроустановок. Проведение экспертного опроса устраняет имеющиеся противоречия в выборе и оценке мер безопасности, перспектив их использования, выявления путей совершенствования, определение технических и экономических показателей эффективности.

Ниже излагаются основные положения предлагаемой методики экспертных оценок, сущность которой сводится к следующему:

- определение цели и формирование группы экспертов;
- разработка процедуры проведения экспертного опроса;
- анализ результатов опроса и принятие решений.

Определение цели и формирование группы экспертов

Формирование группы экспертов включает определение оптимальной численности и структуры группы, выбор конкретных экспертов.

Численность группы "снизу" ограничивается гарантией получения достоверных оценок, адекватных объекту исследования, а "сверху" - трудоёмкостью обработки результатов анкетирования. В качестве оптимальной принята группа экспертов в количестве 30 человек.

Структура экспертной группы сформирована по признакам основных специализаций экспертов, при этом выделены три подгруппы;

- научные работники в области электробезопасности (первая);
- практические работники в области эксплуатации электроустановок и органов государственного надзора (вторая);
- практические работники в области пожарной профилактики электроустановок и государственного пожарного надзора (третья).

Количество экспертов N , каждой специализации i определяется как

$$N_i = \frac{N}{r}, \quad (1)$$

где N – общая численность группы экспертов;
 r – количество специализаций.

Таким образом, каждая из перечисленных специализаций представлена 10 экспертами.

С учетом должности эксперта, стажа работы по специальности, ученой степени (звания) нами предложено введение шкалы веса эксперта, позволяющей более объективно подойти к значимости оценки (компетентности) того или иного эксперта. Оценку экспертов (α) предложено проводить по десятибалльной системе, т.е. $0 < \alpha < 10$.

Разработка процедуры проведения экспертного опроса

Эффективность экспертного опроса во многом зависит от разработки логически связанной анкеты с вопросами, допускающими

только однозначное толкование и позволяющими эксперту выразить своё суждение в качественной или количественной форме. Анкета должна быть сформирована как структурно-организованный набор вопросов, логически связанный с целью экспертного опроса.

Вопросы, используемые в анкете, должны различаться по содержанию, форме и функциям. В зависимости от содержания вопросы разделены на три группы:

- основные, касающиеся существа исследуемой проблемы;
- вспомогательные, позволяющие оценить мотивы, которыми руководствовался эксперт при оценке проблемы;
- объективные данные о самом эксперте (возраст, образование, профессия, стаж работы, специализация и т.д.).

Вопросы анкеты сформулированы в двух видах. Вопросы первого вида предполагают ответы, выраженные в количественной форме. Второй вид - содержательные вопросы, требующие свернутого ответа в качественной форме. Причем эти вопросы могут различаться на дизъюнктивные, т.е. предполагают ответ, выраженный в форме "или-или", и конъюнктивные - ответ выражен в форме "и-и". В первом случае эксперту предлагается указать один из вариантов ответа, во втором - эксперт может назвать любую совокупность из предлагаемых вариантов. Для определения приоритетов и относительной значимости ответов на конъюнктивные вопросы эксперту предлагается использовать 100-балльную шкалу значимости ответов.

Ряд методик [3] рекомендует проведение экспертного опроса в несколько туров (так называемый метод последовательных приближений), что позволяет экспертам взвесить свои суждения с учетом ответов и доводов коллег и дополнительной информации, которая не была учтена в предыдущем туре. Однако, при этом, ответы экспертов существенно нивелируются и возникает опасность искажения истины под влиянием авторитетов. В этой связи нами отдаётся предпочтение так называемому методу ранга, направленному на согласование позиций специалистов с целью выработки коллективной экспертной оценки [4].

Пусть имеем n -число экспертов в группе, m -количество вопросов анкеты. Причём рекомендуем соблюдать, чтобы $n \approx i m$. В случае, если анкета содержит много вопросов, следует перечень выносимых на экспертизу вопросов разбить на отдельные смысловые группы, проведя соответствующую классификацию.

Установим для каждого из экспертов количественную шкалу предпочтения ответов в

диапазоне от 0 до 10. Оценки могут быть как целыми, так и дробными. Максимальная оценка присваивается наиболее предпочтительному ответу.

Обозначим оценку ответа i у эксперта j через β_{ij} ($0 \leq \beta \leq 10$). Тогда относительные веса каждой оценки для каждого эксперта могут быть определены:

$$V_{ij} = \frac{\beta_{ij}}{\sum_{i=1}^m \beta_{ij}} \quad (2)$$

Усреднённый вес каждой оценки V_i относительно суждения всех экспертов можно определить как

$$V_i = \frac{\sum_{j=1}^n V_{ij}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m V_{ij}} \quad (3)$$

Далее составляется матрица оценок V_i^Σ размерностью $n \times m$,

$$V_i^\Sigma = \begin{bmatrix} V_{11} \dots V_{1j} \dots V_{1n} \\ V_{j1} \dots V_{ij} \dots V_{in} \\ V_{m1} \dots V_{mj} \dots V_{mn} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

в которой строка представляет совокупность оценок всех экспертов на данный ответ, а столбец - совокупность всех оценок одного эксперта.

Групповое мнение экспертов по отдельным вопросам формируется путем вычисления средней удельной оценки по каждой группе экспертов. Для этого оценки экспертов суммируются по вертикали в пределах соответствующих групп, а затем делятся на количество экспертов в данной группе.

Внутри вопросов анкеты могут быть несколько подвопросов или альтернатив, которые оцениваются экспертом по-разному. Информация, полученная от экспертов, для удобства обрабатывается частями по отдельным группам вопросов. Для этого все вопросы анкеты (τ) разбиваются на 7 групп, шесть из которых посвящены защитному отключению с целью определения перспективных направлений его совершенствования, обоснования технических требований к УЗО, рынка, производства и области применения.

Первая группа определяет выбор стратегии обеспечения безопасности электроустановок напряжением 380/220 В с заземленной нейтралью, путем:

- 1) повышения уровня эксплуатации электроустановок;
- 2) совершенствования законодательной и нормативной правовой базы;
- 3) совершенствования организационно-профилактических мероприятий;
- 4) повышения эффективности технических средств защиты;
- 5) разработки новых типов безопасных электроприборов и оборудования;
- 6) повышения квалификации эксплуатационного персонала;
- 7) пропаганды населения об опасности электрического тока и новых видах электрической защиты.

Вторая группа вопросов направлена на определение наиболее эффективного технического средства электрозащиты, его функций и вида защиты.

Здесь рассматриваем

I. Защитные мероприятия:

- 1) зануление;
- 2) защитное заземление;
- 3) изоляция;
- 4) УЗО.

II. Функции УЗО:

- 1) защита от электрических поражений;
- 2) защита от пожаров;
- 3) объединение двух функций.

III. Виды защиты электроустановок с помощью УЗО:

- 1) одиночная;
- 2) групповая;
- 3) на воде;
- 4) комбинированная.

Третья группа ориентирована на выбор основных параметров и характеристик УЗО.

I. Предпочтительный с точки зрения электрозащитной эффективности параметр:

- 1) уставка по току срабатывания;
- 2) время срабатывания;
- 3) сочетание обоих параметров;
- 4) особое мнение.

II. Виды исполнения уставки:

- 1) фиксированная;
- 2) регулируемая (плавная, дискретная), определение диапазона.

III. Время срабатывания:

- 1) до 30 мс;
- 2) до 50 мс;
- 3) свыше 50 мс.

IV. Минимальное значение утечки токов сети, представляющей пожарную опасность:

- 1) до 100мА;
- 2) до 300мА;

- 3) выше 300мА.

V. Введение дополнительных функций защитного устройства:

- 1) максимальная токовая;
- 2) защита от перегрузки;
- 3) непрерывный контроль состояния изоляции;
- 4) защита от перенапряжения в сети;
- 5) защита от обрыва фазы;
- 6) защита от потери напряжения.

VI. Выбор принципа действия УЗО:

- 1) электронный;
- 2) электромеханический;
- 3) комбинированный (гибридный).

Четвертая группа вопросов определяет дополнительные требования к УЗО.

I. Обеспечение селективности:

- 1) необходима;
- 2) не нужна;
- 3) затрудняюсь ответить.

II. Необходимость введения сигнализации о срабатывании защиты:

- 1) световая;
- 2) звуковая;
- 3) не нужна.

III. Необходимость введения контроля неисправности защиты:

- 1) тест;
- 2) самоконтроль;
- 3) не нужно.

IV. Оценка функции "Уровень обслуживания УЗО".

- 1) осмотр и контроль;
- 2) замена неисправных блоков;
- 3) ремонт неисправных блоков.

Пятая группа вопросов относится к определению перспективных направлений совершенствования УЗО и области применения его в сельском хозяйстве.

I. Наиболее перспективные направления совершенствования?

- 1) разработка новых принципов защиты;
- 2) улучшение параметров защиты;
- 3) расширение номенклатуры;
- 4) упрощение конструкции;
- 5) использование современной микроэлектронной базы (микропроцессоров);
- 6) совершенствование технологии производства, унификация;
- 7) расширение функциональных возможностей;
- 8) повышение надежности изделия.

II. Область применения:

- 1) для производственных электроустановок;
- 2) для бытовых электроустановок;
- 3) для подсобных хозяйств и фермеров;
- 4) для передвижных электроустановок и

ручного электроинструмента;

5) для пожароопасных помещений (классы П-1 и П-Па);

6) для особо опасных помещений (сырье, наличие токопроводящих полов и др.).

Шестая группа вопросов определяет факторы ускорения (или сдерживания) темпов внедрения УЗО.

I. Наиболее целесообразные пути ускорения темпов внедрения:

1) развитие действующей нормативной правовой базы;

2) разработка федерального закона "О безопасности электроустановок зданий";

3) широкомасштабная апробация с публикацией ее результатов;

4) рекламная компания;

5) принятие федеральной и региональных целевых программ.

II. Основные факторы, сдерживающие внедрение УЗО:

1) отсутствие надежных изделий отечественного производства;

2) относительно высокая стоимость по сравнению с другими видами защиты;

3) неудовлетворительное состояние электрических сетей и установок;

4) низкий уровень эксплуатации электроустановок;

5) отсутствие государственного заказа;

6) отсутствие развитого рынка на данную продукцию.

Седьмая группа вопросов относится к оценке потребности УЗО, подготовки производства и стоимости изделия.

I. Минимальная потребность в России (млн. ед.):

1) 30 (из расчета 1 ед. на 5 человек);

2) 50;

3) 150.

II. Общий годовой объем выпуска предприятиями отечественной промышленности (млн. ед.):

1) 1,0;

2) 5,0;

3) 10,0.

III. Допустимая стоимость (в условных единицах):

1) до 20;

2) до 50;

3) не более 100.

Анализ результатов экспертного опроса и принятие решений

По первой группе вопросов:

Эксперты оценивают наиболее важными направлениями: создание законодательной и нормативно-технической базы, повышение уровня эксплуатации электроустановок и

применение высокоэффективных средств электрозащиты.

Направления, связанные с разработкой новых типов безопасного электрооборудования и приборов и с повышением квалификации эксплуатационного персонала оцениваются как существенные.

Вместе с тем, эксперты по подгруппам, по-разному определяют степень значимости рассматриваемых направлений. Так, эксперты I и II подгрупп указывают наиболее важным - совершенствование нормативной правовой базы и повышение эффективности технических средств электрозащиты, а эксперты III подгруппы - повышение уровня эксплуатации.

Экспертами названы так же дополнительные направления в области обеспечения безопасности электроустановок:

- повышение надежности электроустановочных изделий;

- привлечение квалифицированных кадров в обслуживании электроустановок.

По второй группе вопросов:

1. Анализ показывает, что в целом ответы экспертов отличаются высокой степенью однородности мнений. В качестве наиболее эффективного средства защиты называется «устройство защитного отключения».

2. Большинство экспертов считают, что необходимо в одном устройстве объединить функции защиты от электропоражений и пожаров.

3. В то же время, часть специалистов I подгруппы указывает на целесообразность разделения функций УЗО как основной и дополнительной.

4. В целом эксперты наиболее целесообразным считают использование УЗО для защиты групп электроприемников, а так же при установке УЗО на вводе. Минимальную эффективность, по мнению экспертов, будет иметь УЗО, установленные на отходящих линиях.

По третьей группе вопросов:

1. Подавляющее большинство экспертов считают, что наиболее предпочтительным параметром УЗО является уставка по току срабатывания.

2. В целом группа экспертов считает целесообразным ввести дискретную многоступенчатую уставку тока срабатывания. Так, для защиты людей от электротравм рекомендована уставка не более 30 мА (при прикосновении к токоведущим частям электроустановки) и 100мА (при прикосновении к металлоконструкциям, оказавшимся под напряжением). Для защиты от пожаров (в зависимости от категории помещения) уставка УЗО варьиру-

ет в достаточно широком диапазоне (100-500 мА).

3. Большинство экспертов считают, что время срабатывания УЗО не должно превышать 300 мс. Вместе с тем, для электроустановок, находящихся во взрывоопасной зоне, время отключения предполагается снизить до 10 мс.

4. В ответах экспертов наблюдаются значительные расхождения. Часть экспертов считает, что минимальный ток утечки, представляющий пожарную опасность, составляет 10-15 мА; другие полагают, что ток менее 1 А не представляет опасности. В целом же большинство экспертов полагают, что минимальная величина утечки тока, которая может вызвать воспламенения, равна 300 мА. Научные сотрудники оценивают $I_{\text{пож}}^{\text{min}} = 160 \text{ мА}$, а специалисты по пожарной профилактике $I_{\text{пож}}^{\text{min}} = 350 \text{ мА}$.

5. Разброс мнений достаточно широк. Так, эксперты I подгруппы предлагают введение непрерывного контроля изоляции, максимальной токовой защиты и защиты от обрыва фазы. Эксперты II подгруппы выделяют, как существенное-защиту от перенапряжения в сети и защиту от токов короткого замыкания и перегрузки. Эксперты III подгруппы отдают приоритет непрерывному контролю изоляции, защите от перегрузки и обрыва фазы.

6. Большинство экспертов I и II подгруппы считают, что наиболее перспективным является использование электромеханического принципа действия УЗО.

По четвертой группе вопросов:

1. Основная часть экспертов указала на необходимость селективности УЗО.

2. Практически все специалисты считают необходимым реализацию функции "Сигнализация о срабатывании защиты". Вместе с тем мнения экспертов относительно формы реализации функции (световая или звуковая) имеют расхождения. Кроме этого эксперты III подгруппы предложили ввести дополнительную функцию - "сигнализация с подачей на пульт диспетчера".

3. Большинство экспертов считают целесообразным введение функции контроля исправной защиты с помощью кнопки "тест".

4. Мнения экспертов сходятся на том, что уровень обслуживания УЗО может быть ограничен осмотром и контролем исправности блоков или их заменой.

По пятой группе вопросов:

1. Мнения экспертов имеют существенную однородность. Наиболее перспективными направлениями признаны следующие: улучшение параметров защиты, расширение функциональных возможностей, повышение надежности, использование микропроцессор-

ной техники и упрощение конструкции.

2. Мнение коллектива экспертов характеризуется относительной однородностью. В целом группа специалистов считает наиболее целесообразной областью применения УЗО: бытовые электроустановки, подсобные хозяйства и ручной электроинструмент. Специалисты III подгруппы указывают на необходимость использования УЗО в пожароопасных помещениях.

По шестой группе вопросов:

1. Мнения экспертов при оценке достаточно однородны. Основным направлением ускорения темпов внедрения УЗО эксперты считают создание Федерального закона «О безопасности электроустановок» и развитие нормативной правовой базы (введение соответствующих разделов в ПУЭ, СНиП и НПБ). Наряду с этим оценивается достаточно высоко широкомасштабная апробация УЗО и принятие целевых программ на федеральном и региональном уровне. Проведение рекламной кампании эксперты считают малосущественным. Помимо указанного, отдельные эксперты вносят дополнительные предложения, например, изучение опыта зарубежных стран и рекомендаций МЭК.

2. К наиболее важным факторам, сдерживающим внедрение УЗО, группа экспертов относит: отсутствие государственного заказа, неудовлетворительное состояние электрических сетей и низкий уровень эксплуатации электроустановок. К существенным факторам эксперты относят достаточно высокую стоимость УЗО по сравнению с другими видами защиты.

В качестве дополнительных факторов эксперты приводят: отсутствие серийного выпуска необходимой номенклатуры и недостаточная информированность эксплуатационного персонала и населения об устройствах защитного отключения.

По седьмой группе вопросов:

1. Большинство экспертов считают, что минимальная потребность УЗО для действующих объектов и с учетом нового строительства зданий составляет в настоящее время 30 млн. ед.

2. Общий годовой выпуск УЗО (с учетом государственного заказа для объектов бюджетной сферы) может быть до 5 млн. ед., т.к. потенциальные производственные мощности отечественных предприятий позволяют это сделать. Однако, для этого необходимо привлечь не менее 15-20 предприятий специализированного профиля.

3. Оценка допустимой стоимости УЗО колеблется от 20 до 50 американских долларов. В целом же группа экспертов полагает, что

стоимость отечественного изделия должна быть существенно ниже зарубежного аналога.

На рис. 1 приведены обобщенные результаты анализа экспертных оценок, которые позволили выработать стратегию повышения безопасности электроустановок в сфере сельского хозяйства.

Полученные данные легли в основу разработки правовых актов, нормативно-технических документов и региональной целевой программы, а также были использованы при создании конструкторской документации на новое поколение устройств защитного отключения.

ПРЕДМЕТ ЭКСПЕРТИЗЫ	ПРИОРИТЕТЫ
Выбор стратегии	Повышение эффективности средств электрической защиты. Развитие нормативной правовой базы
Выбор технического средства	Устройство защитного отключения
Обоснование функций	Защита от травм людей, электропоражения животных и пожаров в электроустановках. Максимальная токовая защита. Защита от перегрузки. Защита от перенапряжения в сети
Обоснование параметров и характеристик	Уставка тока срабатывания - дискретная (30, 100, 300 мА). Время срабатывания - до 300 мс. Номинальный рабочий ток - 16, 25, 40, 63, 80, 100 А. Селективность – обеспечивается. Контроль исправности - тест. Сигнализация при срабатывании - световая
Область применения	Производственные и бытовые электроустановки. Передвижные электроустановки. Ручной электроинструмент
Уровень обслуживания	Контроль исправности. Замена неисправных блоков
Виды защиты	Одиночная. Групповая
Перспективные направления совершенствования УЗО	Новый принцип защиты – электромеханический. Расширение номенклатуры и функциональных возможностей изделия. Использование современной микросэлектронной базы
Потребность в УЗО	Минимальная – 30 млн. ед.
Подготовка производства	Создание нормативной правовой базы. Госзаказ и принятие РЦП.
Общий годовой объем выпуска	5 млн. ед.
Стоимость	Не более 50\$

Рисунок 1 – Результаты экспертной оценки пожаробезопасности

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушков В.М. О прогнозировании на основе экспертных оценок. Кибернетика. – М., 1969.
2. Добров Г.М. Прогнозирование науки и техники. – М., 1969.

3. Ершов Ю.В. Анализ согласованности мнений при коллективной экспертной оценке перспектив развития конкретной отрасли техники / Материал по науковедению. – Киев, 1970.
4. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса. Пер. с англ. – М., 1970.