

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Т.В. Еремина

Изложены методологические основы системного исследования безопасности электроустановок в сельском хозяйстве с целью решения задач моделирования и оптимизации.

Ключевые слова: система обеспечения электробезопасности, структура системы и функциональные связи, показатели эффективности.

Система обеспечения электробезопасности (СЭБ) – совокупность взаимосвязанных технических средств и организационных мероприятий и соответствующих им нормативных правовых актов, предназначенных для предупреждения несчастных случаев (электропоражений) и снижения их последствий, которые обусловлены потенциально существующими опасностями. Электробезопасность характеризуется состоянием электроустановки, взаимодействующей с человеком, при котором отсутствует опасное воздействие электрического тока. Поэтому электробезопасность можно рассматривать как некоторую интегральную оценку взаимодействия компонентов системы «человек-электроустановка-среда» (Ч-Э-С). В свою очередь электротравматизм – множество электротравм людей (отнесенное, как правило, к одному году), характеризуемых определенными причинно-следственными связями между компонентами системы (Ч-Э-С).

В соответствии с принятыми определениями на рисунке приведено структурное описание системы (Ч-Э-С).

При формировании структуры СЭБ будем руководствоваться не только объективно действующими факторами, создающими техногенную опасность, но и учитывать реальные возможности общества. Здесь не следует интерпретировать «безопасность» в общепринятом смысле, предполагающим отсутствие вообще каких-либо опасностей. Будем в дальнейшем считать, что основной целью рассматриваемой системы электробезопасности является минимизация ущерба от электротравматизма, вызванного в том числе и аварийным состоянием электроустановки. Причем целью СЭБ следует считать ни как реализацию главной стратегической задачи, а как решение некоторой задачи, подчиненной приоритету-обеспечению жизнедеятельности людей, включая качество жизни человека.

Рассмотрим компоненты системы (Ч-Э-С).

Человек. В этой системе человек является непосредственно объектом поражения, хотя он может выступать также в роли оператора, выполняющего определенные производственные функции при обслуживании электроустановки.

Как объект поражения человек описывается следующими признаками: полом, возрастом, медицинскими противопоказаниями, психофизиологическим состоянием, электрическими параметрами тела (в первую очередь, сопротивлением Z_h), видами воздействия электрического тока (электрический удар, электротравмы различной тяжести), образованием, специальностью, стажем работы, квалификационной группой по ТБ (для электротехнического персонала). Кроме того, компонент «человек-объект защиты» должен учитывать работников конкретных сельскохозяйственных профессий (фермер, электрик и др.), имеющих разную вероятность электропоражения на объектах.

При рассмотрении человека в системе (Ч-Э-С) как оператора, выполняющего определенные трудовые функции или участвующего в технологических операциях, необходимо учитывать, что на степень безопасности существенно влияет так называемый человеческий фактор [1]. Оператор, обслуживающий электроустановку, может допускать неправильные и ошибочные действия. Такие ошибочные действия, как правило, сопряженные с грубыми нарушениями требований техники безопасности, несоблюдением инструкции по использованию бытовых электроприборов, инструмента и т.д., зачастую приводят к аварии или поломки электрооборудования и получения электропоражения. В этой связи возникает необходимость совершенствования профессиональных знаний и навыков персонала, как одного из компонентов рассматриваемой системы, при выполнении тех или иных технологических процессов, обеспечивая при этом условия безопасности, недопущения аварийности, травматизма и перерыва электроснабжения. Доля от неправильных

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

действий оператора, как показывает опыт, значительно превалирует над другими факторами и составляет: на автомобильном транспорте – 60 %, в гражданской авиации – почти 75 % [2]. Основной здесь причиной следует считать несоответствие между требованиями современной техники и психофизиологическими возможностями человека как оператора. Поэтому общепринятое определение профессиональной пригодности оператора (в том числе и эксплуатирующего электроустановку) рассматривается как соответствие свойств личности требованиям профессии, включающих ее отношение к работе, профессиональные способности и наличие нужных для данной деятельности знаний, умений и навыков. Указанное в полной мере относится к производственной деятельности предприятий, на которых эксплуатацию, ремонт и профилактику электроустановок профессионально осуществляет электротехнический персонал. Применительно к условиям села, обслуживание нестационарных электроустановок (передвижных электроагрегатов, переносных и бытовых приборов) в целом приходится на население. В этих условиях сокращение числа аварий и травм, вызванных человеческим фактором, может быть достигнуто за счет применения специальных активных средств электрической защиты, позволяющих отключить электроустановку при попадании человека в цепь электрического тока.

Электроустановка. Здесь электроустановку будем рассматривать как непосредственный источник поражения. Электроустановка характеризуется следующими признаками: формой собственности, видом и назначением, режимом нейтрали, номинальным напряжением, родом и частотой тока, способом электропитания (сеть, автономный источник), степенью мобильности (стационарные, передвижные, переносные и ручные), режимом работы (нормальный, аварийный), соответствием конструкции, монтажа и эксплуатации правилам устройства электроустановок.

Связи «человек – электроустановка» могут быть выявлены путем учета следующих факторов: условиями работы (под напряжением и отключением электросети), характером возможного попадания человека в цепь тока, видом работы (монтаж, наладка, испытание, ремонт и эксплуатация электроустановки), а также видом цепи тока при попадании человека под напряжение и продолжительностью воздействия, величиной напря-

жения прикосновения. При этом будем рассматривать следующие основные виды опасностей:

1. Опасность электроустановки, вызванная попаданием человека в цепь электрического тока:

- двухфазные прикосновения;
- однофазные прикосновения, т.е. прикосновения человека, имеющего гальваническую связь с землей и одной из фаз (прикосновение к токоведущим частям электроустановки, находящихся под напряжением; прикосновение к металлическим частям оборудования, оказавшихся под напряжением в результате либо повреждения изоляции, либо заноса электрического потенциала по цепям зануления с других объектов);
- попадание под шаговое напряжение.

Здесь параметрами, определяющими условия электробезопасности являются: $U_{л}$ и $U_{ф}$ – линейное и фазное напряжения сети; $I_{ч}$ – ток, проходящий через тело человека; $Z_{ч}$ – сопротивление тела человека; $R_{раст}$ – сопротивление растекания в землю; $R_{пр}$ – сопротивление проводов сети относительно земли; $U_{пр}$ и $U_{ш}$ – напряжения прикосновения и шага.

Основными факторами, влияющими на тяжесть и исход электротравмы, следует считать величину тока, проходящего через тело человека и его длительность.

2. Опасные действия человека возможны при небезопасных работах, а также при выполнении им работы на небезопасных рабочих местах. При обслуживании электроустановок опасные действия связаны с монтажом, демонтажем, включениями, а также профилактикой, осмотром и ремонтом. При эксплуатации электрифицированных средств малой механизации опасные действия возможны при работе с ручным инструментом, с электроприводом и т.д., а также при выполнении таких работ, в которых электроустановки вообще не используются, но свои действия человек осуществляет вблизи действующих электроустановок, например, опасные работы на крыше дома, скирдование сена и т.д., если они выполняются, например, в зоне действия ЛЭП, или в зоне растекания тока в земле при обрыве провода сети.

Средства защиты от поражения электрическим током и электрической дугой целесообразно подразделять на средства, предупреждающие прикосновения человека к опасным элементам электроустановок, и средства, обеспечивающие защиту при прикосновениях, как к токоведущим, так и нетокведущим частям, оказавшимся под напряжением

(см. таблицу). Средства защиты отнесем к элементам электроустановки.

Отметим, что опасность электропоражения возникает в случае протекания через тело человека тока, который с учетом времени его действия превышает допустимое значение. Из этого следует, что можно выделить три группы электротехнических мер, обеспечивающих:

- предупреждение возможности протекания тока через тело человека;
- уменьшение значения возможного тока, протекающего через тело человека, до значения, ниже предельно допустимого (пассивная мера защиты);
- уменьшение времени протекания тока через человека, если значение этого тока выше предельно допустимого (активная мера защиты).

Среда – множество объектов, не входящих в структуру СЭБ, свойства (функции) которых оказывают определенное воздействие (в т.ч. опосредованное) на функционирование (качество) системы электробезопасности. Выделим здесь внутреннюю и внешнюю среду. Внутренняя (рабочая среда) – область пространства (включая предметы труда), в пределах которой совершаются определенные виды работы в электроустановках. Сюда следует отнести фермерские и личные подсобные хозяйства, жилые дома, хозпостройки и т.д. При этом необходимо учитывать отрицательные воздействия атмосферных воздействий (при работе с электроустановками вне помещений) и микроклимата помещений на изоляцию токоведущих частей электрооборудования. Внешней (для конкретной системы «Ч-Э-С») средой является все то, что непосредственно не входит в нее, но может влиять на процесс функционирования системы, улучшая (или ухудшая) качество системы электробезопасности.

Рассмотрим внешнюю среду, состоящую из двух «оболочек» – микро- и макроокружения (рисунок 1). Состояние внешней среды

может описываться тремя характеристиками (сценариями): степенью благоприятствования или противодействия деятельности предприятия (малого бизнеса, фермерства, АО и др.) и степенью предсказуемости состояния окружения.

В микроокружение вводятся физические и юридические лица, которые являются партнерами (в широком смысле), связанные производственными отношениями (поставщики, продавцы, конкуренты, предприятия по переработки продукции, электроснабжающие организации, кредитные учреждения, служба охраны труда, контрольные и надзорные органы, а также средства массовой информации, через которые может оказывать опосредственное воздействие на регулирование производственных отношений в сельском хозяйстве).

Макроокружение включает органы власти различного уровня, определяющие политическую, экономическую и социальную обстановку в целом в стране и в регионе, научно-технический прогресс, системы правового регулирования рыночных отношений, включая налоговое и таможенное законодательство, антимонопольное регулирование, а также система регулирования тарифов на электро – теплоэнергию.

Предсказуемое состояние внешнего окружения определяет достаточно точно вероятности тех или иных событий и их характеристики. В этом случае лица, участвующие в производстве и продаже сельскохозяйственной продукции, могут выстраивать и прогнозировать свою деятельность на ближайшие 3 – 5 лет.

Неопределенное окружение возникает тогда, когда возможность какого-либо ожидаемого события не известна, но известен закон распределения вероятностей. Если же неясен сам закон распределения вероятностей, то конечные события и их последствия остаются непредсказуемыми.

Таблица

Средства защиты от поражения электрическим током

Средства, предупреждающие прикосновения к токоведущим частям	Средства, защищающие при прикосновении		
	к токоведущим частям	к нетоковедущим частям	к токоведущим и нетоковедущим частям
Коллективные			
Изоляционные покрытия, оболочки, ограждения	Устройства выравнивания потенциала	Устройства защитного заземления, зануление	Устройства защитного отключения, разделяющие трансформаторы, источники малого напряжения

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Индивидуальные			
Накладки, колпаки, каски, пояса монтерские, канаты страховочные, штанги, клещи, указатели напряжения.	Ковры, подставки, боты, галоши, кабины, площадки, лестницы, подъемники телескопические, монтажный инструмент		Перчатки

Отметим, что затронутые здесь вопросы в большей мере имеют отношение к экономической деятельности сельскохозяйственной отрасли и к отдельным производителям сельхозпродукции. Однако, стабильность в целом экономики государства, прозрачность и ясность ее действующей законодательной базы в области АПК и инвестиционной деятельности создают необходимые предпосылки и перспективы развития частного аграрного сектора и личных подсобных хозяйств на селе, которые в настоящее время производят уже 54 % всей сельскохозяйственной продукции, вырабатываемой в России.

Решение проблемы предупреждения электротравматизма и снижение его последствий должно вестись в направлении изучения свойств и взаимосвязей всех компонентов (Ч-Э-С). Как следует из определения СЭБ ее структура должна включать в себя, по меньшей мере, четыре основных блока:

Блок А - нормативные правовые акты, задающие требования безопасности электроустановок;

Блок Б - технические мероприятия и электрозащитные средства;

Блок В - организационные мероприятия, выполняемые на различных этапах производственной или учебной деятельности человека с электроустановками;

Блок Г - информационный блок, предназначенный для сбора, обработки и анализа информации, циркулирующей в рамках рассматриваемой системы (Ч-Э-С), с последующим принятием тех или иных решений. Эти решения выражаются в виде их воздействия на основные блоки А, Б и В.

Свойства компонентов системы (Ч-Э-С), влияющие на электробезопасность, учитываются определенной совокупностью параметров (факторов), качественно или количественно характеризующие компоненты и элементы рассматриваемой системы. Известно, что возникновение электротравмы есть событие случайное и зависит от множества случайных элементарных событий и поэтому связано с большой степенью неопределенности. В этом случае анализ причинно-следственных связей должен опираться на теорию вероятностей и математическую статистику, включая все основные ее этапы: определение потенциальной опасности электротравматизма и неправильных ошибочных действий оператора, разработку логико-математических процедур формирования случаев электротравм и обоснование комплекса электрозащитных мер и выбора из них наиболее предпочтительных вариантов. В основе построения системы электробезопасности должен лежать принцип, базирующийся как на признании существующих опасностей как объективной реальности, так и понимании необходимости выделения соответствующих финансовых средств и ресурсов.

Поэтому одним из главных условий создания эффективной СЭБ в агропромышленной сфере должно быть не нивелирование опасности («затыкание дыр») путем выделения по остаточному принципу каких-либо финансовых средств на эти цели, а решения кардинальной проблемы – обоснование объема инвестиции как для отдельных регионов, так и для агропромышленной отрасли в целом, необходимого и достаточного для получения устойчивого и приемлемого уровня безопасности электроустановок. Отметим, однако, что кроме потребностей в ресурсах, реализация требований по обеспечению безопасности еще не является гарантией повышения производительности труда, как это декларировалось у нас в прошлом веке. В этих условиях возникает необходимость в установлении приоритетов. Отдавая дань гарантии безопасности отметим, что главенствующим здесь была и остается эффективность производственной деятельности человека как основа его существования. В этой трактовке обеспечение электробезопасности является вторичной и ее следует рассматривать как некоторую вынужденную меру. Возникающие при этом внутренние противоречия и сомнения о невозможности реализации требований к обеспечению безопасности технологической сферы могут быть устранены путем введения количественных показателей эффективности функционирования системы (Ч-Э-С) и обоснования необходимого уровня риска.

Целесообразность введения количественных показателей обусловлено тем, что эффективное управление безопасности предполагает достаточно точное определение цели СЭБ и количественное измерение траектории движения к ней. Качественные

Целесообразность введения количественных показателей обусловлено тем, что эффективное управление безопасности предполагает достаточно точное определение цели СЭБ и количественное измерение траектории движения к ней. Качественные

показатели обладают большей степенью неопределенности и поэтому требуют введения значительных коэффициентов «запаса прочности», что необоснованно приводит к увеличению материальных затрат. Поскольку основной задачей СЭБ является предотвращение электротравматизма и снижение связанного с ним ущерба, то, очевидно базовый критерий качества системы электробезопасности должен включать в себя показатель технической и экономической эффективности. В качестве показателей технической эффективности, отражающих степень выполнения поставленной перед СЭБ цели, следует использовать вероятностные характеристики уровня электробезопасности: векторы вероятностей электропоражения $P(\text{ЭП})$ и вероятностей электробезопасности $P(\text{ЭБ})$ на объекте, в общем случае содержащим группу электроустановок; математическое ожидание уровня электробезопасности $M[P(\text{ЭБ})]$; коэффициент снижения электротравматизма K_c , представляющий собой отношение математических ожиданий числа электропоражений при отсутствии средств защиты и при их наличии; математическое ожидание числа электропоражений $M(\text{ЭП})_{\Sigma}$ за время T в аграрном секторе. Для оценки экономической эффективности СЭБ могут быть использованы приведенные затраты,

полные затраты, учитывающие остаточный (непредотвращенный) материальный

ущерб от электротравматизма и среднегодовой экономической эффект, представляющий разность между предотвращенным ущербом и приведенными затратами.

Кроме перечисленных основных показателей эффективности функционирования СЭБ могут использоваться и другие, частные количественные показатели, например, «наработку» на электротравмы, оцениваемую интенсивность их появления.

Анализ выбранных выше основных показателей подтверждает возможность количественной оценки безопасности сельских электроустановок и результативность системы ее обеспечения. Показатели технической эффективности рассчитываются известными методами теории вероятностей. Использование этих показателей в качестве критериев оценки эффективности СЭБ при наличии развитой системы информации о статистике электротравматизма не вызывает принципиальных трудностей. Для этого достаточно зарегистрировать количество и тяжесть имевших место электротравм и экономические расходы и трудозатраты на обеспечение безопасности.

Изложенный принцип построения системы электробезопасности и введенные показатели эффективности ее функционирования позволяют решать ряд задач, связанных с моделированием и оптимизацией СЭБ.

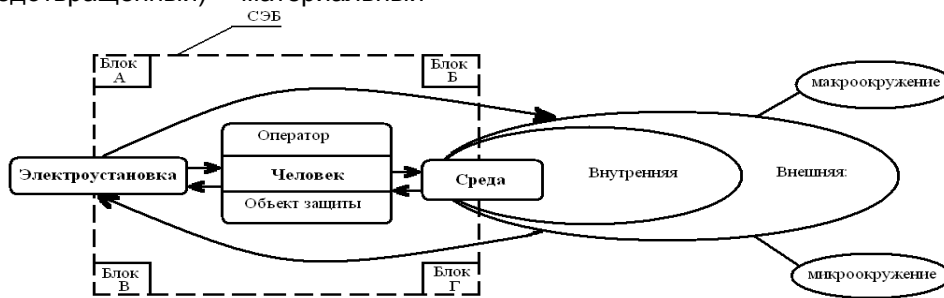


Рисунок 1- Структурное описание системы (С-Ч-С)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рябинин, И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. – СПб.: Политехника, 200, - 248 с.

2. Научно-методические аспекты анализа аварийного риска// В.Г. Горский, Г.А. Моткин и др. – М.: Экономика и информатика, 2002.- 320 с.

Еремина Т.В., докторант кафедры «ЭПБ» АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. (3852) 36-71-29