

ПРОБЛЕМА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ АНАЛИЗЕ РИСКОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Н.И. Черкасова, А.Ф. Костюков, О.К. Никольский

Рассмотрено понятие неопределенности в контексте задач оценки риска опасности электроустановки. Приведена классификация неопределенностей человеко-машинной системы и модель развития техногенной опасности на примере (человек – электроустановка – среда).

Ключевые слова: техногенная опасность, риски электроустановки, неопределенности.

Для формирования целостной картины состояния безопасности электроустановок (ЭУ) производственных объектов наиболее эффективными являются методы, основанные на анализе техногенного риска [1]. Такие методы в настоящее время находят применение в решении многокритериальных задач оптимизации, в которых обоснованный выбор того или иного варианта системы техногенной безопасности можно достичь, принимая во внимание всю совокупность различных по своей природе факторов, влияющих на эффективность функционирования человеко-машинных систем [2]. При этом информация, на основании анализа которой принимается решение, имеет некий нечеткий, размытый характер, где наряду с количественными оценками присутствуют качественные лингвистические характеристики. Задачи такого класса относятся к области теории принятия решений в условиях неопределенности [3]. Причем эта неопределенность может быть вызвана либо объективными причинами, либо субъективными. Объективные причины – это недостоверность исходных данных, обусловленная отсутствием знаний о тех или иных процессах, протекающих в реальных электроустановках. Субъективные причины неопределенности кроются в сложности или невозможности формализованного представления «размытой» информации. Использование традиционных детерминистических или статистических подходов для описания таких сложных систем как «человек – электроустановка – среда» (Ч-ЭУ-С) является достаточно трудоемким, требуют сбор и обработку больших объемов исходных данных, введение серьезных допущений, что неизбежно приводит к ошибочным выводам. Отмеченные обстоятельства, опираясь, на так называемый принцип несовместимости [4], дают возможность сделать вывод о невозможности получить точное и в то же время имеющее прак-

тическое суждение о функционировании человеко-машинных систем.

В настоящее время для анализа техногенной безопасности производственных объектов используются вероятностные методы. Однако в реальных условиях функционирования электротехнических систем применение методов теории вероятностей и математической статистики существенно ограничивается как из-за сложности построения многокритериальных моделей, так и отсутствия статистических распределений необходимых параметров и их числовых оценок. Как уже отмечалось, получение исходных данных связано с проведением экспериментальных исследований, модельных и натурных испытаний, использованием дорогостоящей измерительной аппаратуры, в частности, интроскопии, и высококвалифицированного персонала. Кроме того, использование статистических выборок предполагает допущение, например, об однородности и однотипности множества электроустановок, что нивелирует различие технологических процессов, систему технического обслуживания ЭУ, квалификацию электротехнического персонала и т.д. Учитывая, что применение традиционных способов обработки экспериментальных данных предполагает строгую однозначность их интерпретаций, можно сделать вывод о неадекватности применяемого математического аппарата смысловому содержанию и точности исходных данных. Известно, что человеческие суждения обычно несут многозначную интерпретацию. Поэтому, используя нечеткие алгоритмы, можно построить приближенные лингвистические аналоги основных математических понятий, на базе которых создать формализованный аппарат для моделирования вербальных человеческих суждений [5].

Отметим отдельные недостатки традиционных методов анализа техногенной безопасности:

1 Использование аддитивных критериев для оценки интегральных рисков человеко-машинных систем не позволяет учитывать синергетический эффект из-за неадекватного отражения процедур построения эвристических алгоритмов.

2 Методика количественной оценки техногенного риска исключает возможность статистического накопления новых знаний и создания экспертных систем. Использование таких методик, как правило, подменяется поверхностным качественным анализом и ограничивается лишь оценкой возможных последствий, т.е. расчета ущерба и потерь. Применяемые критерии эффективности энергетических объектов ориентированы главным образом на конечный результат, направленный на повышения экономических показателей (снижения расходов). При таком принципе управления профилактика негативных явлений, приводящих к отказам и авариям, отходит на второй план. В то же время все средства и ресурсы при совершении аварий направляются на устранение их последствий.

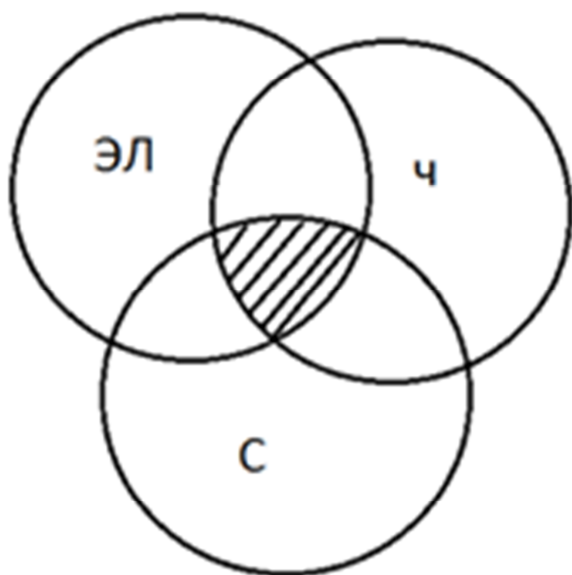


Рисунок 1 - Графическая интерпретация конфликтной природы системы (Ч-ЭУ-С)

Решение многокритериальных задач в области моделировании и оптимизации в сочетании с неопределённостью исходных данных может привести к рассмотрению конфликтных сценариев. Наличие конфликтных факторов обусловлено имманентными свойствами (Ч-ЭУ-С), компоненты, которой вступают в противоречие (конфликт) между собой. Этот конфликт вызывает соответствующие негативные связи между компонентами

рассматриваемой системы – потенциальные опасности (рис. 1). Так, компонент «Человек» (оператор или индивидуум) в результате ошибочных действий (человеческий фактор) приводит к аварии и создает для окружающей среды и людей опасные ситуации. Компонент «Электроустановка» вызывает угрозу отказа и аварии по причине отсутствия в ЭУ технических мер их нейтрализации (средств электрической защиты). Компонент «Среда» генерирует рискообразующие факторы различной природы (техногенной, экономической, социальной). Причем здесь следует различать внешнюю и внутреннюю среду. В любом случае рассмотрению подлежат те факторы среды, которые носят негативный характер. Примем во внимание, что конфликтная природа в системе (Ч-ЭУ-С) приводит к неопределённости. Таким образом, можно полагать, что между техногенным риском и неопределённостью существует определённая связь: с одной стороны сущность риска обусловлена неопределённостью, т.е. неполной или неточной информацией, приводящей к неоднозначности развития техногенных опасностей в будущем, с другой – сам риск является разновидностью неопределённости, когда наступление опасности вероятно, тогда объективно существует возможность количественно оценить ее значение.

Анализ и управление рисками системы (рис. 1) представляет собой многопараметрическую динамическую операцию, для обеспечения высокой эффективности которой необходимо учитывать возрастающее количество различных неопределённых факторов компонентов системы (Ч – ЭУ – С). В то же время существующие в настоящее время методы управления рисками на особо опасных объектах (атомная энергетика, химическое производство и др.) являются избыточными и не в полной мере учитывают отраслевые особенности аграрной экономики. Принятие решений осуществляется в условиях наличия различного вида неопределёностей, которые объективно присущи компонентам системы, сложным недетерминированным физическим процессам старения, износа и отказов элементов и конструкций ЭУ. Поэтому разработка методического обеспечения оценки техногенного риска сельских электроустановок в условиях неопределённости рискообразующих факторов компонентов системы на основе создания когнитивно-нечетких механизмов анализа опасных ситуаций представляется своевременным.

На рис. 2 приведена классификация неопределёностей системы (Ч-ЭУ-С). Отме-

тим, что вероятностный аспект неопределённости проявляется при наличии каких либо случайных переменных с заданной функцией распределения, либо неизвестными распределениями, либо известными числовыми оценками. В свою очередь нестохастическую природу неопределенности можно характеризовать наличием или отсутствием функции принадлежности. Сама по себе функция принадлежности некоторого фактора отражает степень его неопределённости: чем меньше область существования этого фактора, тем меньше степени определенности фактора. Если отсутствует функция принадлежности, то можно интерпретировать наличие полной неопределенности. В этом случае может использоваться метод экспертных оценок или теория нечетных множеств.

В рамках введенной классификации (рис. 2) рассмотрим две группы неопределенности экспериментальных данных, выделив из них так называемую классическую неопределенность (КН), основанную на относительной частоте реализации опытных данных, и субъективную (байесовскую) неопределенность (СН). Составляющие КН, характеризующиеся дисперсиями или стандартными отклонениями, могут быть определены либо опытным путем, полученным с помощью измерений, либо по справочным (литературным) данным. При определении составляющих СН могут быть использованы априорные оценки путем математического моделирования или экспертным методом. Чтобы уравновесить два вида неопределенности используется так называемая GUM-технология [6], позволяющая создать комплексный метод оценки неопределенности путем простого суммирования КН и СН, введя соответствующие весовые коэффициенты. Таким образом, при суммировании (объединении) обоих типов неопределенностей можно определить общую неопределенность значения риска опасности электроустановки.

При анализе рисков человеко-машинных систем нестохастическая неопределенность проявляется существующими связями между компонентами систем (рис. 1):

1. При формировании цели и задач исследования, когда отсутствует единый критерий, позволяющий характеризовать (формализовано описать) техногенную опасность объекта в целом. Обычно такая оценка ограничивается частными видами риска, не учитывающими смысловую неоднородность показателей, характеризующих как предпосылки возникновения возможных опасностей, так

и их последствия. Поэтому целевая неопределенность возникает в многоцелевых задачах, требующих многокритериального выбора оптимальных решений.

2. Техногенный риск рассматриваемой системы - есть результат взаимодействия человека с электроустановкой и средой. Обычно такой риск оценивается апостериорно на основе статистик произошедших событий с использованием методов статистического анализа. Однако такой подход к оценке риска не учитывает в полной мере (обычно, фрагментарно) человеческий фактор, характеризуемый в общем виде эффективностью функционирования (взаимодействия) электротехнического персонала или индивидуума непосредственно (или опосредовано) как с электроустановкой, так и со средой. Существуют различные подходы, направленные на повышение эффективности действия электротехнического персонала, с целью снижения технологических нарушений, связанных с ошибками при эксплуатации электроустановок. [7] Разработанные алгоритмы для предупреждения ошибочных действий персонала отнесены и находят широкое применение на опасных производственных объектах, включая электроэнергетические комплексы. Применительно к объектам технического регулирования (куда отнесены системы жизнеобеспечения, жилищно-коммунальный комплекс и др.) в обслуживании электроустановок принимают участие десятки миллионов людей России, отсутствуют какие-либо рекомендации по улучшению охраны труда населения, включая учет и расследование несчастных случаях от электротравматизма (так называемые непромышленные и бытовые травмы). Вместе с тем для коммунально-бытовых электроустановок напряжением 380/220 В в настоящее время характерна тенденция усложнения и увеличения единичных мощностей, при наличии значительной части физически устаревшего оборудования и приборов, ввода новых интеллектуальных систем, в том числе информационно-технологического оборудования. Указанное предъявляет профессиональные и психологические требования к электротехническому персоналу и населению занимающемуся эксплуатацией парка «бытовой электротехники». Поэтому представляется своевременным изучение основных причин и видов ошибочных действий человека при обслуживании электроустановок, работающих как в нормальном режиме, так и в нестандартных ситуациях.

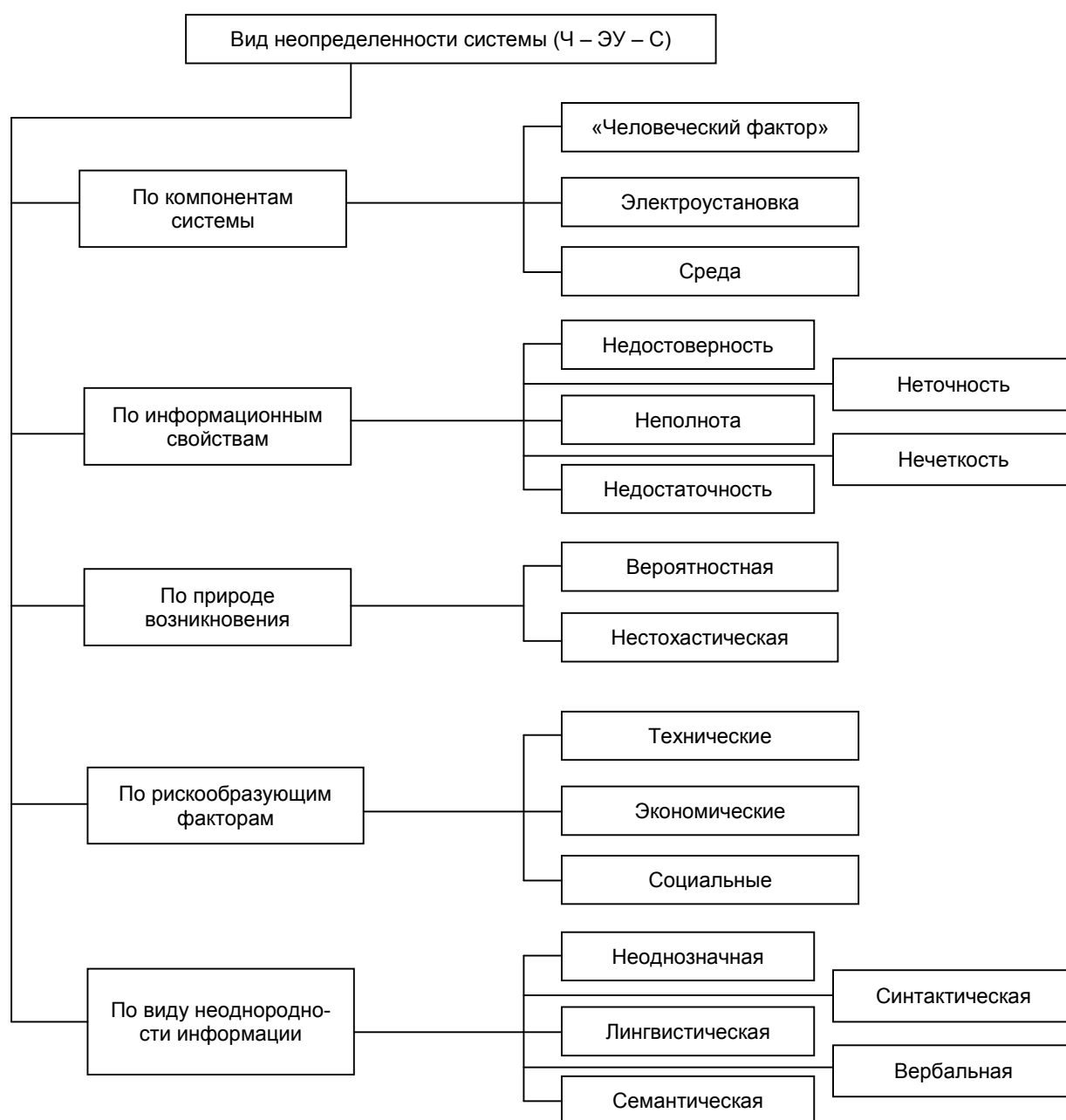


Рисунок 2 – Классификация неопределенностей системы (Ч – ЭУ – С)

Рассмотрим человека (человеческий фактор) как подсистему АСУП, введя в рамках общей теории надежности понятия «надежность человека» (индивидуума, персонала). Тогда надежность персонала – важного и уязвимого компонента системы (Ч-ЭУ-Э) можно интерпретировать качественно-количественными характеристиками, тем самым, снять неопределенность.

В общем случае надежность человека (в контексте его профессиональной деятельности, связанной с обслуживанием электроустановок) проявляется в работоспособности,

безошибочности и функциональной готовности выполнять необходимые действия в нормальных и экстремальных условиях. Существуют различные способы повышения надежности человека. Что касается электротехнического персонала, то здесь основным считаются профессиональные знания, психологические и психофизиологические его качества, а так же система организационных мер снижения предпосылок для совершения персоналом ошибочных и злоумышленных действий.

В основе обеспечения безопасности объекта в непромышленной сфере (например, жилье) должен лежать другой принцип, направленный не на повышения роли человеческого фактора, а на его снижение. Здесь приоритет должен быть отдан техническим мерам безопасности, а не организационным. Чем более эффективнее система безопасности электроустановок, тем меньше вероятность угроз жизни и здоровья человеку и меньше влияния на безопасность объекта оказывает человеческий фактор. В этом должно состоять принципиальное различие степени влияния человеческого фактора при функционировании электроустановок объектов промышленной и непромышленной деятельности.

Электроустановка является основным источником техногенной (электрической, электромагнитной и пожарной) опасности человеко-машинной системы (рис. 3). Под влиянием рискообразующих факторов внешней среды и производственной (или непромышленной) деятельности человека (зачастую, негативной) в электроустановке возникают инициирующие события (например, деградация и износ электропроводки). Далее, вследствие развития причинной цепи предпосылок, обусловленных ошибочными действиями человека, возникают отказы системы электропитания или технологического оборудования, приводящих к развитию опасных событий (электротравма, пожар и т.д.). При этом возможны различные сценарии: например, при наличии электрической защиты (СБЭ) причинная цепь событий может обрываться – защита сработала и отключила неисправный элемент электроустановки. То же может произойти в случае устранения персоналом ошибки.

При расследовании последствий (реализации) опасных событий следует дифференцировать возникающие зоны опасностей. Опираясь на энергоэнтропийную концепцию техногенного риска электроустановки, в основе которой лежит неконтролируемое высвобождения потоков энергии, будем различать как локальную (внутреннюю) опасность, выраженную нанесением ущерба самой электроустановки, так и внешнюю, обусловленную возникновением техногенной угрозы самой человеко-машинной системы, то есть населению и окружающей среды. При этом во главу угла следует поставить прогнозирование последствий, так как они могут быть весьма значительными, ухудшающими экологию

гическую обстановку территории (например, возникновение пожара).

Сравнительный анализ оценки техногенной опасности системы (Ч-ЭУ-С) показывает, что в настоящее время применяются отдельные разрозненные показатели, которые не позволяют учитывать все совокупность неоднородных по своему смыслу факторов. Причем здесь недостаточно учитывать роль общепринятых показателей риска (вероятность возникновения опасности и его последствия). Необходима также оценка показателей надежности узлов и конструкции электроустановки и их остаточный ресурс, определение характеристик эффективности средств электрической защиты (рис. 3).

Таким образом, для оценки интегрированного риска опасности системы (Ч-ЭУ-С) представляется целесообразным введение векторного критерия \bar{R} , который бы учитывал вероятность (частоту) опасного события, тяжесть последствий, влияния рискообразующих факторов среды и человека, а также эффективность системы безопасности электроустановки (СБЭ). Причем СБЭ, характеристики внешней среды и «человеческого фактора» могут проявляются в виде смягчающего или отягчающего действия:

эффективная система электрической защиты или отсутствие (отказ) защитных мер; правильные или ошибочные действия персонала (индивидуума);

допустимые (нормативные) или критические значения рискообразующих факторов среды.

В самом общем виде вектор интегрированного риска может быть представлен в виде матрицы опасности рассматриваемой системы:

$$R_{\Sigma} = \begin{bmatrix} p_1 & y_1 & \varepsilon_1 \\ \dots & \dots & \dots \\ p_i & y_i & \varepsilon_i \\ \dots & \dots & \dots \\ p_n & y_n & \varepsilon_n \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Здесь строка матрицы (p_i, y_i, ε_i) характеризует определенный вид техногенной опасности системы, компоненты вектора \bar{R} которые отражают вероятность события, его последствия (ущерб); показатель эффективности СБЭ (ε_i).

Столбцы матрицы характеризуют отдельные компоненты вектора \bar{R}_{Σ} , для каждого учитываемого вида опасности (электротравма, пожар, перерыв электроснабжения потребителей, электрические потери, снижение показателей качества электроэнергии, электропатология животных).

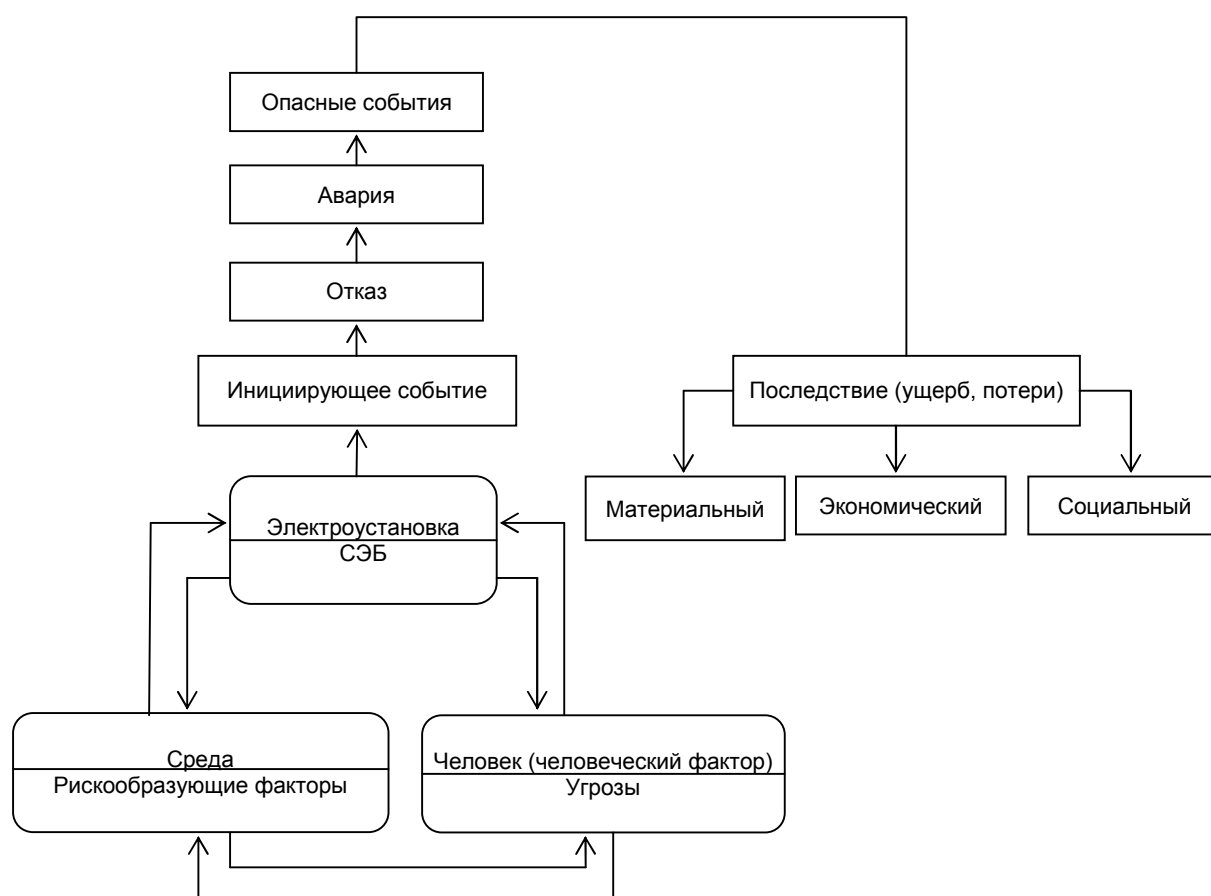


Рисунок 3 – Модель развития техногенных опасностей системы (Ч – ЭУ – С)

Остановимся на рассмотрении «среды» как на компоненте человеко-машинной системы, которая условно будет характеризоваться совокупностью факторов, оказывающих определенное позитивное или негативное (в том числе опосредованное) воздействие. Выделим здесь внутреннюю и внешнюю среду. Внутренняя среда характеризуется областью пространства, включающее объекты и присущие им факторы негативного характера. Сюда нужно отнести производственные помещения и инфраструктуру сельского поселения. Негативное воздействие этой среды чаще всего проявляется в виде атмосферных воздействий, микроклимата производственных помещений. Безусловно, сюда следует отнести изношенность основных фондов электрохозяйства, отсутствие эффективных средств контроля и диагностики технического состояния электроустановок, недостаточность методических разработок в области техногенных рисков.

Внешняя среда по отношению к рассматриваемой человеко-машинной системе, являющиеся источником материальных и финансовых ресурсов, определяет политиче-

скую, экономическую и социальную обстановку отдельных регионов и страны в целом. Внешняя среда формирует сценарии состояния и развития сферы техногенной безопасности объектов энергетики. Отсутствие региональных программ обеспечения техногенной безопасности, недофинансирование, ухудшение экологической обстановки, а также отсутствие предсказуемости и наличие неопределённости внешней среды свидетельствует об ухудшении техногенной безопасности электроустановок, что подтверждается массовостью аварий и случаев электротравматизма населения. При непринятии должных мер в ближайшие 5-10 лет техногенная обстановка в стране будет ухудшаться [8].

Выводы

1. Одной из основных причин роста аварий при эксплуатации электроустановок зданий и электротравматизма среди персонала и населения является недостаточный уровень научных исследований в области управления техногенной безопасностью, отсутствие процедур и методов принятия оптимальных ре-

шений, направленных на обеспечение допустимого (нормативного) риска в условиях материальных ограничений.

2. Функционирование человеко-машинной системы (Ч – ЭУ – С) происходит в условиях дефицита исходной информации, отсутствия общепринятой методики идентификации источников опасности, развития и реализации техногенных угроз (аварий, травматизма, пожаров). Причиной этому – отсутствие единого интегрированного критерия, который характеризовал бы безопасность объекта в целом.

3. Предложен обобщенный критерий интегрированного риска \bar{R}_Σ в векторной форме, компонентами которого являются вероятность возникновения опасных событий и их последствия. При этом оценку риска системы (Ч – ЭУ – С) с учетом объективно существующей неопределенности, неоднозначности, неполноты и нечеткости информации (рис. 1) возможно провести с помощью построения логико-лингвистических моделей и создания экспертных систем, которые способны не только снять меру неопределенности, но и обеспечить повышение эффективности оценки и прогнозирования технического состояния исследуемой системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов.
2. Белов П.Г. Теоретические основы системной инженерной безопасности. – М.: ГНТП «Безопасность», МИБ СТС. – 1996. – 424 с.

3. Нечеткие множества и теория возможностей/ Ред. Р.Р. Ячер. – М.: Радио и связь, 1986. – 405 с.

4. Заде Л.А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений. Математика сегодня. – М.: «Мир», 1974. – №7

5. Никольский О.К., Воробьев Н.П. и др. Техническая диагностика и остаточный ресурс электроустановок. Монография. – Изд-во АлтГТУ, 2013. – 207 с.

6. ISO/IEC Guide 98:1995/guide to the expression of uncertainty in measurement.

7. Детина С.А., Сорокина Л.В. Надежность работы оперативного персонала в системах электроснабжения. Энергосбережение, электромагнитная совместимость и качество в электрических системах. – 2011. – С. 138-140.

8. Махутов Н.А., Гаденин М.М. Техническая диагностика остаточного ресурса и безопасности: уч. пособие/ под общ. Ред. В.В. Клюева/ Изд. Дом «Спектр», 2011. – 187 с.

Никольский О.К. - АлтГТУ им. И.И. Ползунова, заведующий кафедрой «Электрификация производства и быта», д.т.н., профессор,

тел. (3852) 36-71-29,

E-mail: elnis@inbox.ru.

Черкасова Н.И. - Рубцовский индустриальный институт АлтГТУ им. И.И. Ползунова, заведующий кафедрой «Электроэнергетика», к.т.н., доцент,

тел. (38557)5-98-75,

E-mail: 4ercas@bk.ru.

Костюков А.Ф. - АлтГТУ им. И.И. Ползунова, докторант кафедры «Электрификация производства и быта», к.т.н.,

тел. (3852) 36-71-29,

E-mail: elnis@inbox.ru.