

УЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕК- ТРОУСТАНОВОК

О.Н. Дробязко, С.Ф. Нефедов

Рассмотрены алгоритмы, моделирующие состояние электробезопасности и пожаробезопасности электроустановок зданий с учетом неопределенности части исходных данных.

Ключевые слова: безопасность электроустановок, системы безопасности, оценка эффективности, неопределенность исходных данных, моделирующие алгоритмы.

В настоящее время имеются методы и средства, позволяющие производить оценку эффективности систем безопасности электроустановок (СБЭ) зданий, а также осуществлять оптимальный выбор таких систем для предприятий АПК [1]. Вместе с тем массовое внедрение таких методов в проектную практику сдерживается рядом обстоятельств. Одним из них является трудность сбора исходной информации, необходимой для проведения расчетов эффективности СБЭ на конкретных объектах.

Одним из путей решения проблемы информационного обеспечения расчетов эффективности СБЭ является учет неопределенности исходной информации и использование специальных математических моделей, учитывающих эту неопределенность [2].

Для решения этой задачи рассмотрим некоторые особенности математических моделей, позволяющих производить оценку эффективности СБЭ на некотором объекте. Прежде всего, отметим, что такие модели описывают функционирование системы “электроустановка”- “СБЭ”- “объект защиты”. Модели имеют форму иерархических моделирующих алгоритмов. С помощью таких алгоритмов моделируются два аспекта безопасности: электробезопасность и пожаробезопасность.

Рассмотрим сначала алгоритм, моделирующий аспект электробезопасности. В нем выделяются подалгоритмы, моделирующие косвенное прикосновение и прямое прикосновение.

Структура подалгоритма оценки эффективности СБЭ для режима косвенного прикосновения приведена на рисунке. Алгоритм имеет семь уровней.

Первый уровень имеет вспомогательный характер. На нем осуществляется ввод большей части данных о системе электроснабжения (СЭС) объекта, а также данных о СБЭ.

Кроме того, на нем осуществляются вспомогательные вычисления: расчет токов КЗ и подсчет длительностей срабатывания аппаратов защиты (АЗ) при однофазных замыканиях на корпус (ОЗК). При выполнении последней процедуры используется база данных защитных характеристик АЗ.

На втором уровне осуществляется подсчет условных вероятностей электропоражений. Такая процедура выполняется путем численного интегрирования произведения двух функций: функции опасности тока и распределений токов через тело человека. Первая из функций зависит от длительности срабатывания АЗ. Вторая функция зависит от значения ожидаемого напряжения прикосновения $U_{пр}$ (напряжения до прикосновения). Расчет условных вероятностей электропоражений ведется для двух значений длительности, отвечающих срабатыванию основного и резервирующего АЗ.

На третьем уровне две полученные условные вероятности “взвешиваются” с учетом вероятности отказа $P_{отк}$ одной ступени защиты.

Наиболее важная часть алгоритма реализуется на четвертом уровне, называемом базовым. На этом уровне осуществляется подсчет вероятностей электропоражения определенного человека, взаимодействующего с определенной электроустановкой в условиях его защиты определенной частью СБЭ. Такая вероятность подсчитывается как произведение некоторых вероятностей.

Одним из сомножителей в произведении является вероятность возникновения ОЗК в некоторой электроустановке (вероятность появления напряжения на открытой проводящей части (ОПЧ) электроустановки).

На более высоких уровнях алгоритма выполняются процедуры сложения различных вероятностей электропоражения. В результате этого подсчитываются вероятности элек-

УЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

тропоражения всех людей на объекте. На их основе строятся интегральные показатели, оценивающие эффективность СБЭ в аспекте электробезопасности.

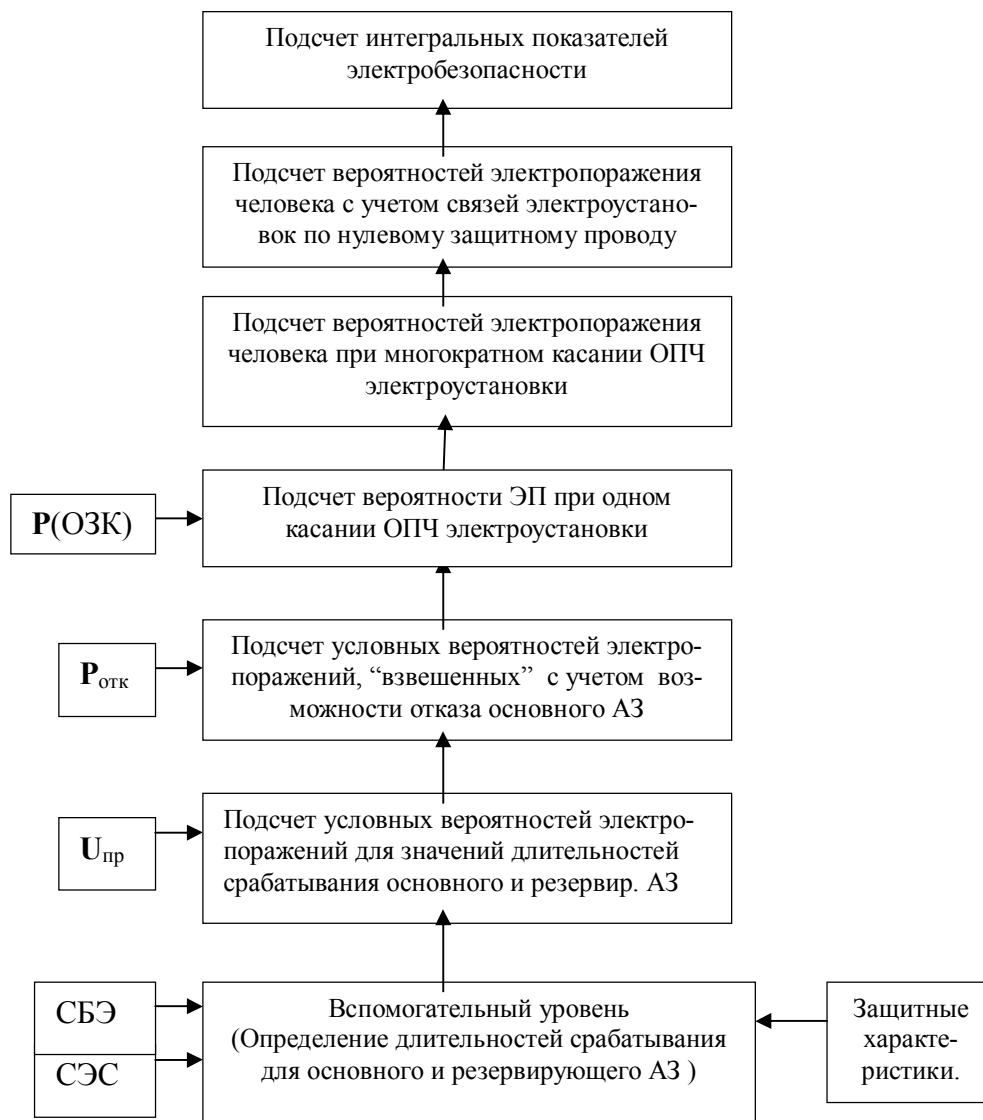


Рисунок 1 - Структура алгоритма оценки эффективности СБЭ в аспекте электробезопасности (случай косвенного прикосновения)

Под алгоритм оценки эффективности СБЭ для режима прямого прикосновения имеет аналогичную иерархическую структуру. Он является более простым и имеет шесть уровней. Один из уровней также считается базовым. На нем также подсчитывается вероятность электропоражения определенного человека в определенной электроустановке и реализуется процедура умножения определенных вероятностей. Исходным данным для этого этапа алгоритма являются вероятности

касаний человеком токоведущих частей электроустановок $P_{кас}$.

При выполнении расчетов состояния электробезопасности на объекте вводится достаточно большое количество исходных данных. Они разделяются на две группы: детерминированные и вероятностные.

К первой группе относятся данные о структуре и параметрах системы электропитания, о режимах включения электроустановок и о касаниях человеком ОПЧ электроустановок. К этой же группе относятся

данные о расстановке аппаратов защиты (АЗ) в системе электроснабжения объекта, видах, сериях и параметрах АЗ.

В рамках используемого алгоритма к детерминированным условно относят и защитные характеристики АЗ. Детерминированные характеристики учитывают конкретные особенности объекта, для которого производится оценка состояния электробезопасности.

К характеристикам второй группы относят вероятности различных случайных событий: вероятности ОЗК, вероятности отказа АЗ, вероятности касания людьми ОПЧ электроустановок. Вероятностные характеристики лишь в определенной степени учитывают особенности объекта, поскольку практически они могут быть определены только для множеств статистически однородных объектов. К одному из таких множеств относят и рассматриваемый объект.

Алгоритм, моделирующий состояние пожаробезопасности также является многоуровневым. Используемые для расчетов исходные данные аналогичным образом делятся на две группы. Часть данных для обоих аспектов безопасности являются общими. Специфическими данными для оценки пожарной опасности являются вероятности КЗ на участках сети и характеристики перегрева проводов.

Как указывалось выше, при использовании разработанных алгоритмов для проведения практических расчетов возникают трудности со сбором исходной информации. Одним из путей преодоления таких трудностей является учет при проведении расчетов неопределенности исходных данных. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

Наиболее сложной задачей информационного обеспечения расчетов эффективности СБЭ является получение оценок вероятностей событий, вводимых как исходные данные. Такое получение связано с необходимостью сбора статистических данных или проведением экспертных опросов.

Для подмодели косвенного контакта наиболее важную роль играют вероятности ОЗК. В моделях такие вероятности могут быть указаны для каждой электроустановки объекта (более точно, для каждого источника опасной ситуации при косвенном контакте). В общем случае такие вероятности образуют вектор вероятностей $P(ОЗК)$.

Другую группу вероятностных характеристик образуют различные показатели, описывающие явление отказа части СБЭ, обеспечивающей защиту человека в данной элек-

троустановке. Они могут иметь различный вид в зависимости от принимаемых допущений. При моделировании электробезопасности в условиях косвенного контакта могут быть приняты во внимание как отказы АЗ, так и возможные обрывы защитных проводников. Основным показателем, используемым в настоящее время в модели, является вероятность отказа АЗ за некоторый период времени $P_{отк}$ (или вероятность безотказной работы).

Вероятности отказа должны быть указаны для каждого вида АЗ (предохранителей, автоматических выключателей, устройств защитного отключения). В общем случае они могут быть различными и для каждого конкретного АЗ, установленного в СЭС. Таким образом, в достаточно общем случае надежность СБЭ описывается тремя векторами $P_{отк}$. При этом компоненты векторов определяются нумерацией мест установки АЗ.

Одним из источников неопределенности в исходных данных при расчетах является "разброс" защитных характеристик АЗ. В защитных характеристиках предохранителей такой разброс имеет место для всех значений токов. В автоматических выключателях необходимо учитывать разброс времени срабатывания тепловых расцепителей, а также разброс левой границы зоны отсечки электромагнитных расцепителей.

Указанные "разбросы" обуславливают "разброс" времени срабатывания АЗ, что, в свою очередь, влияет на точность определения значения вероятности электропоражения человека.

Физически разброс защитных характеристик обусловлен, в первую очередь, особенностями технологии изготовления АЗ, не позволяющей получить одинаковую защитную характеристику для всех АЗ. (Следует отметить, что существует принципиальная возможность определения защитной характеристики для конкретного АЗ с помощью специальной аппаратуры. Тем не менее, имеется ряд факторов, влияющих эту характеристику в условиях эксплуатации).

В моделях пожаробезопасности используются характеристики перегрева проводников [1]. Они также имеют временной "разброс", обусловленный нестабильностью процесса перегрева.

В подмодели косвенного контакта учитывается также параметр электробезопасности, называемый в седьмом издании ПУЭ [1] ожидаемым напряжением прикосновения $U_{пр}$ (в [3] такая характеристика электробезопасности называется напряжением "до прикосно-

УЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

вения”). Расчетное определение такой характеристики на конкретном объекте практически невозможно (в силу невозможности учета всех связей с землей электрооборудования объекта).

Имеется экспериментальный способ определения указанной физической величины. В настоящее время промышленностью выпускаются специальные приборы, позволяющие измерять такое напряжение на реальных объектах.

Следует также учитывать, что величина $U_{пр}$ имеет различные значения в зависимости от нахождения “точки” ОЗК в сети объекта. В используемых моделях при учете опасности электропоражения человека, касающегося определенной электроустановки, учитывается как возможность появления напряжения на ОПЧ электроустановки в связи с ОЗК в этой установке, так и возможность появления напряжения, “занесенного” с других электроустановок объекта по системе защитных проводников.

Вероятность электропоражения человека, прикоснувшегося к определенной электроустановке, зависит от значения напряжения $U_{пр}$. Однако такое значение в фиксированной электроустановке в силу ее связи с другими электроустановками может быть различным. Используемые математические модели позволяют учесть это значение при возникновении ОЗК в каждой электроустановке объекта.

В настоящее время при проведении расчетов на объектах АПК используется значение математического ожидания такой величины, приведенное в [4]. В этих условиях значение напряжения, “заносимого” с каждой электроустановки объекта (при возникновении в ней ОЗК) является одинаковым.

Такой способ учета влияния напряжения “до прикосновения” на состояние электробезопасности на объекте не может считаться достаточно точным. При отсутствии возможности выполнения измерений возможна постановка задачи учета неопределенности значения этой величины. Можно считать, на объекте такая величина описывается вектором значений $U_{пр}$. При этом компоненты вектора отвечают отдельным электроустановкам, в которых возникает ОЗК.

Таким образом, нами определен перечень исходных данных моделей электропобезопасности, для которых необходим учет неопределенности.

Математика имеет в настоящее время группу методов, позволяющих учитывать раз-

личные виды неопределенности, включая неопределенность исходных данных расчетов. В результате анализа таких методов нами установлено, что наиболее перспективным для данной прикладной области является использование теории нечетких множеств [5]. Такая теория позволяет учесть дифференцированную достоверность определенных значений величин. Вместе с тем в определенных случаях целесообразно использование и методов, базирующихся на “интервальной” неопределенности, задаваемой границами изменения величин.

В пользу применения теории множеств при оценке эффективности СБЭ говорит удачный опыт использования такой теории при прогнозировании опасных ситуаций, в частности, при получении оценок вероятностей возникновения электроопасных ситуаций [6]. При этом необходимо отметить оригинальность применения теории по отношению к числам, имеющим смысл вероятностей.

При решении поставленной задачи целесообразно использовать аппарат нечетких чисел. Такой аппарат предполагает, что над числами выполняются только арифметические операции. При этом в операциях одновременно могут участвовать и точные числа.

Анализ моделирующего алгоритма позволяет сделать заключение о возможности использования нечетких чисел для расчета показателей эффективности СБЭ в аспекте электробезопасности при задании в виде таких чисел вероятностей ОЗК (вектора $P(ОЗК)$), и вероятностей отказа АЗ ($P_{отк}$). Такое заключение делается на основании того, что указанные исходные данные вводятся на третьем и четвертом уровнях моделей (см. рисунок). При выполнении вычислений на этих и более высоких уровнях модели используются только арифметические операции. При этом в операциях участвуют одновременно и точные числа.

С помощью треугольных чисел можно учесть “разброс” статистической оценок вероятностей (получаемых на основе статистических методов), а при экспертном методе ожидать более дифференцированного описания неопределенности.

Технология использования нечетких чисел предусматривает выполнении серии вычислений по заданным формулам с обычными числами [5]. (При этом количество вычислений определяется числом заданных уровней принадлежности). В результате вычислений в аспекте электробезопасности при “движении” по алгоритму снизу-вверх должны

быть получены нечеткие числа, описывающие вероятности электропоражений каждого человека на объекте. Далее на их основе должно быть получено нечеткое число, описывающее интегральный показатель эффективности СБЭ. В качестве такого показателя удобно использовать среднюю вероятность электропоражения.

Указанные вычисления могут быть проведены как при представлении в виде нечетких чисел компонентов вектора \mathbf{P} (ОЗК), так и компонентов векторов $\mathbf{P}_{отк}$.

Рассмотрим далее возможности учета неопределенности защитных характеристик. Прежде всего, отметим, что мы не можем использовать аппарат теории нечетких чисел по отношению к этим данным в связи с тем, что при "движении" по алгоритму с уровня их ввода используются преобразования, отличные от арифметических.

Кроме того, разброс защитных характеристик имеет интервальный характер. В интервальной форме может быть описана и неопределенность величины $U_{пр}$.

Таким образом, при оценке эффективности СБЭ в условиях неопределенности может быть произведена оценка и по крайним значениям показателей. Для этого сначала должны быть сформированы комбинации значений величин, имеющих интервальный характер неопределенности. При принятии одноименных видов границ интервалов (минимальной или максимальной) для всех компонентов векторов будет иметь место две комбинации. При принятии разноименных видов границ число комбинаций будет увеличиваться.

В имеющихся программах оценки эффективности СБЭ используются базы данных защитных характеристик, представленные семействами, содержащими "нижнюю", "среднюю" и "верхнюю" характеристики. Тем самым, имеется возможность задания двух крайних границ диапазонов времен срабатывания защиты. Кроме того, имеется возможность задания "среднего" значения времени.

Таким образом, при оценке эффективности СБЭ возможен также и учет интервальной неопределенности соответствующих исходных данных. Технологически он сводится к выполнению нескольких расчетов эффективности (при фиксированной СБЭ). Анализ ре-

зультатов таких расчетов позволяет оценить влияние на показатели эффективности значений исходных данных, имеющих интервальный характер неопределенности.

Рассмотренные особенности учета неопределенности при оценке эффективности СБЭ в аспекте электробезопасности для случая косвенного прикосновения распространяются и на случай прямого прикосновения, а также на аспект пожаробезопасности. Они состоят в одновременном использовании методов теории нечетких множеств и метода учета интервальной неопределенности.

Таким образом, нами сформулированы основные положения технологии учета неопределенности исходных данных в задачах оценки эффективности СБЭ, решаемых на базе моделирующих алгоритмов, разработанных в АлтГТУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Системы безопасности электроустановок зданий / О.К. Никольский, А.А. Сошников, О.Н. Дробязко, В.С. Германенко, Л.В. Тен, А.Л. Тен, Э.Ф. Аунапу, Г.Н. Москаленко // Правила устройства, эксплуатация и безопасность электроустановок: Нормативно-техн. сб. – Барнаул, 2004.-840 с.
2. Сошников, А.А., Перспективы использования методов оценки эффективности и оптимального выбора систем безопасности электроустановок на объектах АПК / А.А. Сошников, О.Н. Дробязко, С.Ф. Нефедов // Вестник Алтайского научного центра Сибирской академии наук высшей школы, - 2009.-№ 9.-С. 82-85.
3. Якобс, А.И. Электробезопасность в сельском хозяйстве / А.И. Якобс, А.В. Луковников. -М.: Колос, 1981.- 239 с.
4. Король, В.Ф. Оценка электрозащитной эффективности заземления в сельских производственных электроустановках /В.Ф. Король // Электробезопасность в сельскохозяйственном производстве: Сб. науч. тр./ ВИЭСХ.-1984.-Т.62.-С.47-53.
5. Кофман, А. Введение в теорию нечетких множеств /А. Кофман. - М.: Радио и связь.-1982.
6. Номоконова, О.В. Применение нечетких множеств в оценке и прогнозировании опасных ситуаций: автореф. дисс. канд техн.наук /О.В. Номоконова.-Челябинск, 2003.

Дробязко О.Н., проф. кафедры «САПР» АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. (3852) 36-78-65, Нефедов С.Ф., аспирант кафедры «САПР» АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. (3852) 45-75-71