

НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕМАТИКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

О.Н. Дробязко, С.Ф. Нефедов

В статье рассмотрены предпосылки и направления использования математики неопределенности в решении задач моделирования и оптимизации систем безопасности электроустановок

Ключевые слова: электроустановка, система безопасности электроустановок, моделирование, оптимизация, неопределенность исходных данных, математика неопределенности, интервальный анализ, теория нечетких чисел.

В конце первого десятилетия двадцать первого века в АлтГТУ была закончена разработка алгоритмических вероятностно-топологические моделей, позволяющих подсчитывать значения вероятностей электропоражений людей и вероятностей электропожаров при учете действия на объектах (в первую очередь, на объектах АПК) системы (обеспечения) безопасности электроустановок (СБЭ). Одновременно с этим были разработаны методы оптимизации таких систем СБЭ на объекте и группе объектов [1-5]. Для автоматизации процессов моделирования и оптимизации СБЭ (оптимизационных расчетов) были разработаны программы для ЭВМ [6-9]. Таким образом, в указанное время были созданы предпосылки для массового использования разработанных методов и средств для решения задач проектирования и реконструкции СБЭ.

Однако широкое использование таких методов натолкнулось на серьезные трудности, обусловленные экономической обстановкой в нашей стране. Они в значительной степени предопределили и трудности информационного обеспечения расчетов эффективности СБЭ на объектах. Сущность таких трудностей состояла в следующем.

Для выполнения моделирования процесса функционирования СБЭ на объекте (для выполнения расчетов эффективности таких систем), должен быть введен достаточно большой перечень исходных данных. В него, в частности, входят вероятностные данные, представляющие собой вероятности свершения случайных событий, которые могут возникать при функционировании системы электроснабжения и электроприемников объекта, а также СБЭ. К ним относятся вероят-

ности коротких замыканий в различных элементах электроустановок, вероятности отказа аппаратов защиты (АЗ) и др.

При решении задач реконструкции СБЭ такие данные не могут быть собраны на реальном объекте, поскольку в соответствии со статистической технологией оценивания вероятностей событий требуется проведение многолетних наблюдений, в процессе которых должны фиксироваться факты свершения соответствующих событий.

В связи с этим в АлтГТУ была разработана специальная «двухступенчатая» технология подготовки вероятностных данных.

На первом этапе этой технологии предусматривается формирование значений оценок вероятностей определенных событий, происходящих на выбранных типовых объектах. Такие оценки определяются на основе статистического анализа результатов наблюдений на группах вероятно однородных объектов. Полученные данные сводятся в специальные таблицы.

На втором этапе технологии предусматривается выбор из построенных таблиц тех значений, которые в наибольшей степени соответствует вероятностной картине процессов на данном объекте. При этом должна осуществляться возможно более глубокая дифференциация условий по видам объектов, конкретному виду элементов СЭС, электроприемников, АЗ а также условиям эксплуатации последних.

Как показал опыт использования предлагаемой технологии, реализация ее первого этапа встречает серьезные трудности. Они обусловлены тем, что статистические методы получения оценок вероятностей требуют проведения большого количества наблюдений

на достаточно длительном интервале времени (большого объема выборки). (Это обусловлено, в частности, малостью значений оцениваемых вероятностей). Выполнение больших объемов наблюдений требует больших финансовых затрат и большой организационной работы. Вместе с тем, какие-либо организации, заинтересованные в финансировании и проведении таких масштабных исследований для сферы АПК в настоящее время отсутствуют. Таким образом, в сложившихся экономических условиях реализация первого этапа технологии подготовки вероятностных данных оказывается практически невозможной.

Для преодоления возникшей проблемы информационного обеспечения расчетов рассматриваемых систем в АлтГТУ было предложено произвести модификацию рассмотренных методов, которая бы, с одной стороны, позволила решать те же задачи моделирования и оптимизации СБЭ, а с другой стороны, снизить требования к «качеству» исходных данных, получаемых статистическим путем, или использовать данные, полученные «нестатистическими» методами [10-14].

Уточним, что под «качеством» вероятностных исходных данных понимается «степень близости» точечных оценок вероятностей к их истинным значениям, имеющим место на конкретном объекте.

Формально такое «качество» при использовании статистических методов может быть оценено только на основе использования характеристики «доверительный интервал». Положение и ширина этого интервала позволяет «приблизительно» оценить местоположение диапазона истинного значения вероятности. (Следует также учитывать, что характеристики интервала зависят и от принимаемого значения доверительной вероятности) [15]. Имеется также неформальная оценка качества, основывающаяся на понятии «реальный комплекс условий» [16]. При этом учитывается «степень неизменности» этого комплекса условий на протяжении времени наблюдения.

Чем большей оказывается ширина доверительного интервала, и чем меньше при этом было принято значение доверительной вероятности, тем ниже оказывается «качество» получаемых точечных оценок вероятностей. «Качество» оценок растет с увеличением «объема наблюдений», определяющегося произведением наблюдаемых объектов на время наблюдения.

Приведенные особенности определения «качества» статистических оценок позволяют сформулировать первое направление модификации моделей, состоящее в использовании в качестве исходных данных при расчетах статистических оценок вероятностей, получаемых при малом «объеме наблюдений».

Вторым направлением модификации моделей следует считать направление, позволяющее получить вероятностные исходные данные другими («нестатистическими») методами.

В обоих направлениях модификации мы будем вынуждены оперировать со значениями вероятностных исходных данных, характеризующихся как неточные или неопределенные.

В качестве противопоставления такому виду данных мы будем рассматривать данные, называемые точными. Их точность будет пониматься нами в двух смыслах.

Первый вид точных данных будет представлять собой истинные значения вероятностей событий, которые отражают реальный комплекс условий, действующий на конкретном объекте.

В качестве второго вида точных данных будем рассматривать оценки вероятностей, получаемые при достаточно больших объемах наблюдений. Предполагается, что при получении таких оценок принимаются большие значения доверительных вероятностей и что доверительные интервалы являются достаточно узкими. Следует заметить, что данные с такими характеристиками и предусматриваются использовать в качестве исходных в оговоренных выше моделях. Рассматриваемый вид данных может быть охарактеризован как условно точные вероятностные данные.

Вернемся к вопросу разработки модификаций охарактеризованных выше методов.

Решение сформулированных задач модификации по каждому из двух направлений требует обязательного решения трех следующих задач:

- формирование нового математического описания вероятностных исходных данных, учитывающего их неточность;
- сохранение логики математического моделирования (логики вычислений) показателей эффективности СБЭ;
- сохранение логики оптимизации рассматриваемых систем.

В АлтГТУ было найдено решение поставленных задач на основе использования группы современных математических мето-

НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕМАТИКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

дов, называемых «математикой неопределенности». Такая группа методов является весьма разнородной как по своему составу, так и по перечню решаемых с помощью этих методов задач. Указанная математика включает способы описания реальных объектов в виде математических объектов, характеризующихся как неопределенные (в виде математических моделей неопределенности), правила оперирования с неопределенными объектами, решение задачи сравнения таких объектов и задачи принятия решений на основе таких объектов. Наиболее используемым видом неопределенных объектов в «математике неопределенности» являются числовые объекты, называемые неопределенными величинами.

В рамках этих методов нас интересовали те из них, которые позволили бы оперировать с неопределенными величинами и позволяли решать три сформулированных выше задачи модификации.

К этому можно добавить, что в рамках «математики неопределенности» рассматриваются различные виды неопределенности. При моделировании нас интересовала неопределенность исходных данных, при оптимизации – неопределенность выбора альтернатив.

Будем в дальнейшем понимать под неопределенной величиной (НВ) такую величину, точное значение которой неизвестно, но для которой, тем не менее, можно указать ограниченную область ее возможных значений и «дифференцировать достоверность» нахождения значений этой величины в различных точках этой области.

Сразу отметим, что такое описание неопределенной величины близко к описанию случайной величины, задаваемой своим законом распределения. Однако при задании НВ не оговаривается система представлений и допущений, используемая в теории вероятностей (понятие опыта, исходов опыта, статистической устойчивости, случайного события, случайной величины и т.д.).

Более того, при вероятностном описании неопределенности, получаемом на основе использования методов математической статистики, мы не можем указать какой-либо ограниченный диапазон, в котором находится величина, имеющая смысл вероятности события. Эта величина (с малой вероятностью) может находиться даже вне вычисляемого для нее доверительного интервала. (Опираясь на понятие вероятности, можно лишь достоверно утверждать, что она находится в некоторой точке интервала $[0;1]$). Кроме того

доверительный интервал не позволяет «дифференцировать достоверность» нахождения точечной оценки вероятности в пределах этого интервала.

Хотя с помощью математической статистики мы и получаем точечную оценку величины, имеющей смысл вероятности некоторого события (используя в дальнейшем как условно точная) и можем подсчитать доверительный интервал для этой оценки, тем не менее мы не можем описать (охарактеризовать) ее неопределенность в том смысле, в котором это указано в определении НВ. Строго говоря, статистические характеристики, подсчитываемые для оценки истинного значения вероятности, не позволяют описывать ее как неопределенную величину.

Рассмотрим сформулированные выше задачи более подробно.

Решение первой задачи предполагает нахождение такого описания неопределенных величин, которое могло бы быть получено на практике для вероятностных исходных данных, используемых при моделировании СБЭ.

Решение второй задачи предусматривает, что в рамках выбранного метода должна быть предусмотрена возможность выполнения над неопределенными величинами арифметических операций в соответствии с имеющимися иерархическими алгоритмами вычислений. При этом такие операции должны предусматривать возможность участия в них и обычных точных чисел (рассматриваемых как частный случай неопределенных величин). Результатами промежуточных этапов моделирования, а также итогами моделирования должны быть неопределенные величины. Основные итоги моделирования в используемых моделях представляются как векторы неопределенных величин. Далее на их основе подсчитываются скалярные показатели эффективности СБЭ, описывающиеся как неопределенные величины.

Решение третьей задачи предусматривает решение двух подзадач.

В первой из них на основе частных показателей критериев оптимальности (в роли которых выступают скалярные показатели эффективности) для каждого из вариантов СБЭ, учитываемого при решении задачи оптимизации, должно быть подсчитаны соответствующие значения скалярного (обобщенного) критерия оптимизации, представляющего собой неопределенную величину.

Во второй подзадаче необходимо осуществить сравнение всех значений скалярного критерия оптимизации и выбрать тот ва-

риант, который обеспечивает экстремальное значение такого критерия. При этом необходимо решить задачу попарного сравнения значений неопределенных величин, каждая из которых описывает значение критерия на одном из вариантов СБЭ.

Таким образом, помимо реализации вычислений с неопределенными величинами выбранный метод должен также позволять осуществлять сравнение значений таких величин.

С учетом выполненной детализации задач нами был произведен анализ возможностей использования различных разделов и методов «математики неопределенности». По результатам анализа было принято решение о том, что необходимыми для нас функциональными возможностями обладают два раздела этой группы методов:

- интервальный анализ (интервальная математика, интервальные вычисления, интервальная арифметика);
- теория нечетких чисел, являющаяся подразделом теории нечетких множеств.

Отметим, что теория нечетких множеств называется также математикой нечеткости или теорией нечеткости.

Рассмотрим вопросы использования первой группы методов.

В основе интервального анализа лежит описание неопределенной величины в виде интервального числа, представляемого числовым интервалом. Предполагается, что истинное значение величины находится внутри этого интервала и какие-либо данные о «дифференциации достоверности» нахождения этой величины в пределах области ее значений отсутствуют [17,18]. Считается, что описываемая таким образом неопределенная величина имеет интервальную неопределенность.

Ниже будет рассмотрен разработанный нами метод определения численных значений интервальных чисел. С учетом этого может быть сделан вывод о том, что рамках первой группы методов решается первая поставленная задача нахождения описания неопределенных величин.

В рамках рассматриваемой группы методов имеется интервальная арифметика, позволяющая осуществлять арифметические действия над интервальными числами. В таких действиях могут участвовать и обычные вещественные числа, рассматриваемые как вырожденные интервалы [17-19]. Таким образом, в рамках интервального анализа решается и вторая задача – задача выполнения арифметических операций. При этом может

быть полностью сохранена логика имеющихся иерархических алгоритмов вычислений.

В рамках решения третьей задачи нами был разработан метод построения интервального обобщенного критерия оптимизации, сохраняющий логику нормирования, принятую в исходных методах оптимизации.

Далее мы воспользовались имеющимся в рассматриваемом разделе методом сравнения величин интервалов и выделения экстремального интервала [20,21]

Таким образом, нами был сделан вывод о том, что в рамках интервального анализа имеется принципиальная возможность решения всех трех поставленных задач.

Рассмотрим вопросы использования второй группы методов.

В основе теории нечетких чисел лежит описание неопределенной величины в виде нечеткого числа (НЧ). Такое число является частным случаем нечеткого множества, которое описывается с помощью функции принадлежности [22]. Наиболее важными характеристиками нечеткого множества являются носитель и высота. Для нечетких чисел в качестве носителя множества выступает интервал действительных чисел. Вид функций принадлежности, описывающих НЧ может быть весьма различным [23,24]. На практике в большинстве случаев используются наиболее простые (параметрические) варианты представления таких чисел, которые называются «треугольными НЧ» и «трапециевидными НЧ».

Ниже будет рассмотрен разработанный нами метод определения численных значений нечетких чисел. С учетом этого может быть сделан вывод о том, что рамках второй группы методов также решается первая поставленная задача нахождения описания неопределенных величин.

В рамках рассматриваемой группы методов имеется специальная нечеткая арифметика, позволяющая осуществлять арифметические действия над нечеткими числами. Нечеткие арифметические операции могут выполняться различными способами [23, 24]. На практике наибольшее распространение получил так называемый сегментный принцип, использующий понятия «уровень принадлежности» и «границы интервала достоверности». При использовании такого способа операции с НЧ выполняются с их интервалами достоверности на заданных уровнях принадлежности. В таких действиях могут участвовать и обычные вещественные числа, рассматриваемые как вырожденные интервалы. Таким образом, в рамках нечетких чи-

НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕМАТИКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

сел решается и вторая задача – задача выполнения арифметических операций. При этом может также быть полностью сохранена логика имеющихся иерархических алгоритмов вычислений.

В рамках решения третьей задачи нами был разработан метод построения нечеткого обобщенного критерия оптимизации, сохраняющий логику нормирования, принятую в исходных методах оптимизации.

Далее мы воспользовались тем обстоятельством, что в рассматриваемом разделе имеется группа методов сравнения нечетких чисел [24].

Таким образом, нами был сделан вывод о том, что в рамках теории нечетких чисел также имеется принципиальная возможность решения всех трех поставленных задач.

Рассмотрим теперь вопросы практического получения описаний вероятностных исходных данных в виде интервальных неопределенных величин.

Ранее нами были сформулированы два направления модификации моделей. В рамках одного из них предлагалось использование в качестве исходных данных при расчетах статистических оценок, получаемых при малом «объеме наблюдений», в рамках другого – использование данных, получаемых «нестатистическими» методами.

Для формирования интервалов, описывающих значения вероятностных данных, нами предлагается два пути.

Первый путь предусматривает сбор ограниченного объема статистических данных и получения на их основе интервальной оценки вероятности в виде доверительного интервала.

Предлагается использовать границы вычисленного доверительного интервала в качестве границ интервальной неопределенной величины. При этом принимается допущение о том, что истинное значение оцениваемой величины находится внутри этого интервала. И хотя истинное значение вероятности (с малой вероятностью) может находиться вне этого интервала, тем не менее, мы имеем ситуацию сужения неопределенности ее значений. В данном случае мы можем дополнительно использовать «коэффициенты запаса», расширяющие значения границ доверительного интервала.

Второй предлагаемый нами путь предусматривает использование экспертных методов при оценке вероятностей. Полученные таким образом вероятности будут носить субъективный характер. Сложности его практического использования состоят в сложно-

сти нахождения лиц, которые могут выступать в роли экспертов. Так сведения о фактах возникновения коротких замыканий в электроустановках, отказы аппаратов защиты на объектах в течение многих лет специально не фиксируются. В этом случае приходится всецело полагаться на память эксперта. Следует также учитывать, что эксперт должен опираться на достаточно большой объем наблюдений. Последнее возможно при условии, что соответствующий специалист имеет в своем «поле зрения» достаточно много объектов в течение достаточно большого числа лет. Наконец, само вычисление субъективных вероятностей является для эксперта достаточно сложной задачей, поскольку требует деления числа «статистически близких» случаев на статистически однородный объем наблюдений.

Тем не менее, предполагается, что эксперт может указать диапазон возможных значений вероятностных данных. Эти две точки и следует принять в качестве границ неопределенного интервала.

Возможен вариант, когда может быть использовано мнение нескольких экспертов. В этом случае целесообразно выполнить обобщение их данных.

Рассмотрим далее вопросы получения описаний вероятностных исходных данных в виде нечетких чисел. Также как и в предыдущем случае, предлагается использование двух методов модификации моделей.

Первый путь также предусматривает сбор ограниченного объема статистических данных и получения на их основе точечной оценки и интервальной оценки.

Предлагается принять допущение о том, что найденная статистическими методами точечная оценка вероятности находится в середине доверительного интервала. Кроме того, принимается допущение, что носитель нечеткого числа находится внутри этого интервала. После этого предлагается строить треугольные нечеткие числа, минимальное и максимальное значения которых отвечают границам вычисленного доверительного интервала, а в качестве наиболее достоверного значения нечеткого числа принимать значение середины этого интервала.

Второй путь предусматривает использование экспертных методов. В данном случае имеют место те же сложности, что указывались ранее применительно к случаю использования интервальной неопределенности. Дополнительно к этому предполагается, что эксперт может указать три характерные точки, описывающие треугольные нечеткие чис-

ла: точку минимально возможного значения, точку наиболее ожидаемого значения и точку максимально-возможного значения.

В данном случае также возможно использование мнений нескольких экспертов.

Модификация разработанных ранее методов моделирования и оптимизации СБЭ дала возможность использования тех же методов при более низком уровне информационной обеспеченности вероятностных исходных данных, которые из категории вероятностных перешли в категорию неопределенных.

На основе модифицированных методов в АлтГТУ были разработаны соответствующие алгоритмы, а также специальная программа для ЭВМ, позволяющая производить моделирование и оптимизацию СБЭ в двух режимах описания вероятностных исходных данных: в режиме интервальных неопределенных величин и в режиме нечетких неопределенных величин [25,26].

В АлтГТУ были апробированы также методы формирования описаний вероятностных исходных данных. При этом была подтверждена возможность сбора неопределенной информации и получения значений требуемых неопределенных величин. На основе собранной информации были выполнены расчеты, подтвердившие работоспособность разработанных методов.

Выводы

1. В последние годы были разработаны методы и средства, позволяющие решать задачи моделирования и оптимизации систем безопасности электроустановок. Однако их широкое использование для решения практических задач создания оптимальных систем безопасности тормозится трудностями информационного обеспечения расчетов вероятностными исходными данными.

2. Для преодоления создавшихся трудностей предложено выполнить модификацию методов, позволяющую решать те же задачи при снижении требований к качеству оценок, получаемых статистическими методами, либо при полном отказе от использования таких методов.

3. Предложено осуществлять модификацию методов моделирования и оптимизации СБЭ на основе использования методов, входящих в состав «математики неопределенности». Выбор таких методов базировался на необходимости решения с их помощью трех сформулированных задач модификации.

4. Необходимыми функциональными возможностями для решения поставленных задач модификации обладают две группы методов: интервальный анализ и теория нечетких чисел. Для выбранных методов детализированы технологии их использования для решения каждой из задач, включая технологии подготовки вероятностных исходных данных, описывающихся как неопределенные величины.

5. Разработанные методы и средства позволили снять остроту информационного обеспечения задач моделирования и оптимизации СБЭ и создали условия для широкого использования разработанных методов в практике проектирования и реконструкции таких систем.

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. - Барнаул, 2004.-82 с. В кн. Правила устройства, эксплуатация и безопасность электроустановок. – Нормативно-технический сборник. -Барнаул,- 2004.

2. Дробязко, О.Н. Оптимальные стратегии создания систем безопасности электроустановок агропромышленного комплекса [Текст] дис. ... докт. техн. наук : 05.20.02 : защищена 22.12.06 : утв. 7.09.07 / О.Н. Дробязко. – Барнаул, 2006. – 395 с.

3. Дробязко, О.Н. Особенности использования методов оценки эффективности и оптимизации технических систем безопасности электроустановок [Текст] / О.Н. Дробязко, С.Ф.Нефедов // Механизация и электрификация сельского хозяйства.- 2009. -№ 5. - С. 32-33.

4. Сошников, А.А. Перспективы использования методов оценки эффективности и оптимального выбора систем безопасности электроустановок на объектах АПК [Текст] / А.А. Сошников, О.Н. Дробязко, С.Ф. Нефедов // Вестник Алтайского научного центра Сибирской академии наук высшей школы, -2009.-№ 9.-С. 82-85.

5. Никольский, О.К. Комплексная система обеспечения безопасности электроустановок сельских населенных пунктов. Методические и практические рекомендации /О.К. Никольский, А.А. Сошников, О.Н. Дробязко, Т.В. Еремина, С.А. Сошников, Ю.С. Лукьянов, С.Н. Серов, Б.С. Компанеев, С.Ф. Нефедов, О.В. Полухин; под ред. А.А. Сошникова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011. - 112 с.

6. Германенко, В.С. Средства реализации выбора оптимальных стратегий создания систем безопасности электроустановок АПК [Текст] / В.С. Германенко, С.С. Гусельников, О.Н. Дробязко, С.Ф. Нефедов // Ползуновский вестник.- 2005. -№ 4.- Ч.3. - С. 230-234.

7. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2003610372. Выбор

НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕМАТИКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

оптимальной стратегии создания систем комплексной безопасности электроустановок АПК (СКБЭоптим) [Текст] / Дробязко О.Н., Гусельников С.С. // Заявка № 2002612264; дата поступления 16.12.2002 г.; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 12.02.2003 г.

8. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006610714. Расчет пожарной опасности дуговых коротких замыканий (СКЭД-380) [Текст] / Дробязко О.Н., Сошников С.А., Гусельников С.С., Нефедов С.Ф. // Заявка № 2005613451; дата поступления 26.12.2005 г.; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 22.02.2006.

9. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2009614829. Электробезопасность 380/220 (ЭБ 380/220) [Текст] / Дробязко О.Н., Нефедов С.Ф. // Заявка № 2009613691; дата поступления 13.07.2009 г.; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 07.09.2009 г.

10. Дробязко, О.Н. Разработка методов оптимального выбора систем безопасности электроустановок с учетом неопределенности исходных данных / О.Н. Дробязко, С.Ф. Нефедов // Ползуновский вестник, -2011.-№ 4.-С.13.

11. Дробязко, О.Н. Учет неопределенности исходных данных в задачах оценки эффективности систем безопасности электроустановок / О.Н. Дробязко, С.Ф. Нефедов // Ползуновский вестник, - 2009.-№ 4.-С.26.

12. Нефедов, С.Ф. Построение оптимальных систем безопасности электроустановок зданий с учетом степени неопределенности исходной информации / С.Ф. Нефедов, О.Н. Дробязко // Механизация и электрификация сельского хозяйства.- 2009.- № 5.-С. 6-7.

13. Нефедов, С.Ф. Построение оптимальных систем безопасности электроустановок объектов агропромышленного комплекса в условиях неопределенности [Текст] дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 : защищена 22.06.12 : / С.Ф. Нефедов. – Барнаул, 2012. – 184 с.

14. Дробязко О.Н. Методы моделирования и оптимизации систем безопасности электроустановок с учетом интервальной неопределенности исходных данных / С.Ф. Нефедов // Ползуновский вестник, -2012.-№ 4.-С. 101-106.

15. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. 6-е изд. стер. [Текст] / Е.С. Вентцель.- М.: Высшая школа, 1999. -576 с.

16. Айвазян, С.А. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. Справочное изд. / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1983.- 471 с.

17. ПСФ ИСТОК. Возможности интервального анализа при моделировании и в расчетах инженерных систем [Электронный ресурс]. - Режим доступа : <http://www.id-orion.ru> .-Загл. с экрана.

18. Интервальный анализ и его приложения [Электронный ресурс]. - Электрон. текст. дан. – Режим доступа: <http://nsc.ru/interval/Library/InteBooks/Shokin.pdf> / Загл. с экрана.

19. Интервальная арифметика. Материал из Википедии [Электронный ресурс]. - Электрон. текст. дан.- Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/w/index.php?/> / Загл. с экрана.

20. Левин В.И. Логический подход к оптимизации при интервальной неопределенности параметров [Электронный ресурс].- Электрон. текст. дан. - Режим доступа: <http://raai.org/resurs/pepers/Kolomna2009/> .- Загл. с экрана.

21. Левин В.И. Интервальный подход к оптимизации в условиях неопределенности [Электронный ресурс]. - Электрон. текст. дан. – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/56155.html> / .- Загл. с экрана.

22. Яхьева Г.Э. Основы теории нечетких множеств. Интернет-университет. [Электронный ресурс]. Электрон. текст. дан. – Режим доступа : <http://intuit.ru/departmnt/ds/> . Загл. с экрана.

23. Недосекин А.О. Нечетко-множественный анализ фондовых инвестиций [Электронный ресурс].- Электрон. текст. дан. – Режим доступа : <http://www.mirkin.ru/docs/books.pdf> / Загл. с экрана.

24. Корченко А.Г. Построение систем защиты информации на нечетких множествах. Теория и практические решения .– К.:«МК-Пресс»,2006. - 320 с.

25. Нефедов, С.Ф. Основы построения программного обеспечения оценки эффективности систем безопасности электроустановок в условиях неопределенности [Текст]/С.Ф. Нефедов //Ползуновский вестник.- 2009.-№ 4.-С.37.

26. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2010610102. Электропожаробезопасность 380/220 Н (ЭПБ 380/220 Н) / Дробязко О.Н., Нефедов С.Ф. // Заявка № 2009615789; дата поступления 20.10.2009 г.; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 11.01.2010.

Дробязко О.Н. - АлтГТУ им. И.И. Ползунова, кафедра «Системы автоматизированного проектирования», д.т.н., профессор,

E-mail: drolnik@list.ru,
тел. (385-2)36-71-29.

Нефедов С.Ф., АлтГТУ им. И.И. Ползунова, кафедра «Электрификация производства и быта», к.т.н., ст. преподаватель,
E-mail: nfdv@inbox.ru,
тел. (3852)36-71-29.