

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

О.Н. Дробязко, С.Ф. Нефедов

*В статье рассмотрена система показателей эффективности однофункциональных систем безопасности электроустановок, а также технология их моделирования с учетом неопределенности части исходных данных. Разработаны методы оптимального выбора систем безопасности электроустановок на основе сравнения функций принадлежности, описывающих показатели эффективности различных вариантов систем.*

*Ключевые слова: электробезопасность, пожарная безопасность электроустановок, системы безопасности электроустановок, неопределенность исходных данных, оптимальный выбор.*

В настоящее время продолжается развитие теории систем безопасности электроустановок зданий (СБЭ), включающей методологию описания таких систем, их математические модели и методы их оптимального выбора (методы оптимизации). В рамках такой теории СБЭ рассматривается как многофункциональная (комплексная) система, обеспечивающая одновременно как электробезопасность человека в некотором помещении (здании), так и пожарную безопасность электроустановок в том же помещении [1,2].

Выделяются две относительно самостоятельные “ветви” такой теории, каждая из которых изучает отдельный аспект обеспечения безопасности: ветвь технических систем обеспечения электробезопасности (СОЭБ) и ветвь систем обеспечения пожарной безопасности электроустановок (СОПБ). В каждой из таких ветвей разработаны своя методология, математические модели и методы оптимизации (по одному аспекту безопасности). Выделяется также отдельная “часть” этой теории, изучающая вопросы оптимизации СБЭ одновременно по двум аспектам безопасности электроустановок.

Построенные математические модели позволяют по заданным исходным данным произвести расчет различных показателей, оценивающих опасность взаимодействия группы людей с группой электроустановок в некотором помещении или пожарную опасность электроустановок помещения при учете действия в нем СБЭ.

Так, выделяются показатели, оценивающие уровень опасности электропоражений (уровень электробезопасности), и показатели, оценивающие уровень пожарной опас-

ности (уровень пожаробезопасности) электроустановок в помещениях. Показатели указанных двух видов одновременно являются и показателями эффективности “однофункциональных” систем безопасности (СОЭБ и СОПБ), поскольку они количественно оценивают “остаточные” опасности, имеющие место и при функционировании этих систем.

В рамках показателей каждого из двух указанных видов выделяются показатели двух уровней. Для СОЭБ показатели первого уровня описывают индивидуальные риски каждого человека, взаимодействующего с электроустановками помещения, оцениваемые вероятностями электропоражений людей за некоторый период времени  $T$ . Обозначим их символами  $P(\text{ЭП})_i$ ,  $i=1, \dots, N$ , ( $N$ -число людей в помещении). Совокупность показателей описывается вектором вероятностей электропоражений  $\mathbf{P}(\text{ЭП})$ . Для СОПБ показатели первого уровня представляют собой вероятность пожара. Обозначим их символами  $P(\text{П})_s$ ,  $s=1, \dots, S$ , ( $S$  - число участков сети в помещении). Совокупность таких показателей описывается вектором  $\mathbf{P}(\text{П})$ . Будем называть такие показатели также векторными показателями электроопасности/эффективности.

Показатели второго уровня описывают состояние безопасности или эффективность “однофункциональных” систем безопасности по помещению (по объекту) в целом. Они представляют собой скалярные величины. Будем называть такие показатели интегральными однофункциональными. Они формируются на основе векторных показателей и имеют три разновидности.

Первая разновидность интегральных показателей количественно оценивает некото-

рую “среднюю опасность” в помещении или среднюю эффективность системы безопасности. Такими показателями являются средняя вероятность электропоражения  $P(\text{ЭП})_{\text{ср}}$  или средняя вероятность пожара  $P(\text{П})_{\text{ср}}$ . Они вычисляются как среднее арифметическое по совокупности компонент соответствующего векторного показателя.

Вторая разновидность показателей оценивает ожидаемое количество опасных событий (электропоражений или электропожаров) в помещении за период времени  $T$ . Математически оно описывается как математическое ожидание соответствующей случайной величины ( $M[n_{\text{эл}}]$  или  $M[n_{\text{п}}]$ ). При принятии определенных допущений они вычисляются как сумма компонент соответствующих векторов  $P(\text{ЭП})$  или  $P(\text{П})$ .

Третья разновидность показателей учитывает наихудшее состояние безопасности в помещении. Значение такого показателя численно равно значению наибольшей из вероятностей, содержащейся в соответствующем векторе. Рассматриваемые показатели обозначаются символами  $P(\text{ЭП})_{\text{max}}$  и  $P(\text{П})_{\text{max}}$ .

Таким образом, в настоящее время сформирована система показателей, оценивающих опасность электроустановок и эффективность “однофункциональных” СБЭ.

Продолжая обзор основных результатов разработки методов оптимизации СБЭ следует отметить, что теория систем безопасности электроустановок позволяет решать широкий круг задач по сертификации и оптимальному проектированию СБЭ зданий [3]. Вместе с тем массовое внедрение методов теории в инженерную практику сдерживается рядом обстоятельств. Одним из них является проблема сбора исходной информации, необходимой для проведения расчетов СБЭ на конкретных объектах.

Для решения указанной проблемы информационного обеспечения расчетов нами был проведен анализ степени неопределенности исходных данных, используемых в математических моделях, и выделен перечень таких данных [4]. В пределах перечня были выделены отдельные группы неопределенных величин, для которых был установлен “характер” и причины их неопределенности.

В результате анализа современных математических методов, позволяющих осуществлять учет неопределенности, был сделан вывод о том, что наиболее перспективным для данной прикладной области является использование теории нечетких множеств

[4,5]. В качестве достоинств этой теории следует отметить то, что она позволяет одновременно учитывать как крайние значения величин (интервальную неопределенность), так и дифференциацию уровня неопределенности [6-9].

Для описания части исходных данных признано целесообразным также использование методов, базирующихся на задании интервальной неопределенности.

В рамках теории нечетких множеств нами был использован математический аппарат нечетких чисел. Использование частного вида функций принадлежности, описывающихся как нечеткие числа, имеет дополнительные преимущества [6-9]. Над нечеткими числами достаточно просто могут выполняться арифметические операции (включающие как частный случай операции с четкими числами). В интервале неопределенности так называемых треугольных нечетких чисел выделяется одно “наиболее точное” значение. Задание треугольных нечетких чисел хорошо согласуется с определением человеком наибольшего, наименьшего и наиболее ожидаемого значения некоторой величины.

В пользу применения теории нечетких множеств и нечетких чисел при оценке эффективности систем безопасности электроустановок говорит также удачный опыт ее использования при получении оценок вероятностей возникновения электроопасных ситуаций [10].

Математический аппарат нечетких чисел опирается на сегментный принцип вычислений, реализующийся для каждого из выделенных уровней принадлежности. В рамках каждого уровня принадлежности оперирование с нечеткими числами сводится к выполнению обычных арифметических операций.

Оперирование с нечеткими числами при выполнении расчетов показателей электроопасности/эффективности в рассматриваемой предметной области базируется на использовании имеющихся моделей электробезопасности и пожаробезопасности. Сначала задается некоторый перечень исходных данных, считающихся неопределенными. (Примером таких данных для моделей электробезопасности являются вероятности однофазных замыканий на открытые проводящие части электроустановок). Далее каждое из данных представляется в виде треугольного нечеткого числа. После этого подготавливаются другие исходные данные, используемые в расчете показателей. Такие данные являются четкими (действительными) числами.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Далее осуществляется серия расчетов показателей опасности или показателей эффективности систем безопасности. В каждом расчете серии в качестве исходных данных задаются конкретные значения неопределенных величин, отвечающих определенному уровню принадлежности. По результатам каждого из таких расчетов определяется некоторая точка функции принадлежности, описывающей характер неопределенности некоторого показателя. К ним относятся, в первую очередь, показатели  $P(\text{ЭП})_i$  и  $P(\Pi)_s$ .

После проведения расчетов формируются дискретные представления функций принадлежности показателей. Поскольку при вычислениях по алгоритмам моделирования используются операции умножения и деления, то функции принадлежности показателей могут иметь вид, отличающийся от треугольного [6-9].

Если вид полученных функций принадлежности оказывается близким к треугольному, то рекомендуется аппроксимировать его треугольным видом. В противном случае дальнейшие операции с ним будут осуществляться как с интервальными числами на определенных уровнях принадлежности.

Разработанная технология моделирования в настоящее время реализована с помощью программы для ЭВМ [11-12]. (В рамках такой технологии предусмотрена также работа и с "интервальными" числами).

Таким образом, в настоящее время разработаны методы и средства, позволяющие производить оценку эффективности СБЭ, а также "однофункциональных" систем безопасности. Это создает возможности для дальнейшего развития теории систем безопасности электроустановок в направлении разработки методов оптимального выбора таких систем.

Для решения рассматриваемой задачи, прежде всего, введем специальную символику для обозначения результатов расчетов векторных показателей электроопасности/эффективности  $P(\text{ЭП})$  и  $P(\Pi)$  с учетом нечеткости части исходных данных.

Компонентами нечетких аналогов таких векторных показателей являются функции принадлежности (ФП), описывающие вероятности  $P(\text{ЭП})_i$  или вероятности  $P(\Pi)_s$ . Каждая из таких функций строится по точкам по результатам моделирования.

Рассмотрим описание результатов моделирования эффективности в аспекте электробезопасности (результаты нечеткомножественного моделирования СОЭБ).

Носителем функции принадлежности (областью определения функции принадлежности) для каждого ( $i$ -го) человека является возможное множество значений вероятности его электропоражения  $P(\text{ЭП})_i$ . Будем, в соответствии с символикой, принятой в теории нечетких множеств, обозначать такую ФП символом  $\mu [P(\text{ЭП})_i]$ .

В результате моделирования определяется конечное множество функций принадлежности, каждая из которых отвечает определенному человеку, учитываемому при оценке безопасности электроустановок в помещении. Будем обозначать вектор таких ФП следующим образом:

$$\mu [P(\text{ЭП})] = \{ \mu [P(\text{ЭП})_1], \mu [P(\text{ЭП})_2], \dots, \mu [P(\text{ЭП})_N] \}.$$

Такая запись трактуется как вектор-функция. Каждый компонент вектора представляет собой отдельную функцию принадлежности. Если каждая из ФП  $\mu [P(\text{ЭП})_i]$  может быть описана как нечеткое треугольное число, то результат моделирования может быть представлен в виде матрицы размерностью  $3 \times N$ . Каждый столбец этой матрицы содержит три числа, описывающих три значимые точки соответствующих треугольных нечетких чисел (левое, среднее (мода) и правое значения числа). Будем обозначать такую матрицу символом  $\mu [P(\text{ЭП})]_{\Delta}$ .

Аналогичное представление может быть использовано для описания результатов моделирования СОПБ. Компонентами вектор-функции для этого случая будут являться ФП  $\mu [P(\Pi)_s]$  (количество компонентов вектора равно  $S$ ). Обозначим ее символом  $\mu [P(\Pi)]$ . При использовании треугольных нечетких чисел будем использовать матрицу  $\mu [P(\Pi)]_{\Delta}$ .

Рассмотрим технологию подсчета нечетких интегральных показателей эффективности систем обеспечения безопасности на основе "треугольных" векторных показателей вида  $\mu [P(\text{ЭП})]_{\Delta}$  или  $\mu [P(\Pi)]_{\Delta}$ . Будем использовать те же арифметические и логические операции, что и при построении показателей, выражающихся четкими (действительными) числами. (Перечень таких операций был охарактеризован выше).

Технология получения первой разновидности нечеткого показателя для аспекта электробезопасности предусматривает суммирование треугольных чисел, отвечающих нечетким вероятностям электропоражений  $\mu [P(\text{ЭП})_i]$ , с последующим делением получен-

ной суммы на число людей  $N$ . В результате таких операций будет получено нечеткое треугольное число, являющееся аналогом показателя  $P(\text{ЭП})_{\text{ср}}$ .

Аналогичным образом строится технология получения первой разновидности нечеткого показателя для аспекта пожаробезопасности.

В качестве аналога интегральных показателей, оценивающих ожидаемое количество опасных событий в помещении за период времени  $T$ , предлагается рассматривать сумму треугольных чисел, описывающих ФП соответствующих вероятностей опасных событий. Такие показатели будут представлять собой треугольные числа.

Построение третьей разновидности показателей предполагает выбор из вектора  $\mu [P(\text{ЭП})]_{\Delta}$  или  $\mu [P(\Gamma)]_{\Delta}$  одной из функций принадлежности. Такая функция должна описывать наихудшее состояние безопасности на объекте. Она имеет наибольшее значение правой границы треугольных чисел, составляющих рассматриваемые векторы.

Наличие интегральных показателей, оценивающих состояние безопасности и эффективности СОЭБ, СОПБ и СБЭ, позволило ранее осуществлять постановки и находить решения задач оптимизации таких систем [2]. В настоящее время существует необходимость развития постановок и методов решения таких задач с учетом неопределенности и нечеткости значений показателей эффективности систем безопасности.

Современная теория нечетких множеств предлагает базовую модель принятия решения в так называемых расплывчатых условиях, когда решение достигается слиянием целей и ограничений (принятие решения в нечетких условиях по схеме Беллмана-Заде) [8,9].

Однако в данной предметной области в задачах оптимизации ограничения являются четкими [2]. Кроме того, достаточно сложной является задача формализации целей СОЭБ, СОБЭ и СБЭ. В достаточно общем виде цели могут быть сформулированы как достижение с помощью системы возможно меньшего уровня опасности ("чем меньше, тем лучше").

Наибольшее значение ФП, описывающих нечеткие цели трех систем (равное единице), должно достигаться на нулевом значении всех охарактеризованных ранее показателей эффективности. С ростом значений всех показателей ФП должны убывать.

Следует также отметить, что задача выбора наилучшего варианта систем близка по

постановке к одной из задач нечеткого математического программирования [8]. Их отличие состоит в том, что в рассматриваемой прикладной области множество альтернатив является четким.

Таким образом, в рамках теории нечетких множеств в настоящее время отсутствуют методы, позволяющие решать задачу оптимального выбора систем безопасности электроустановок с учетом неопределенности части исходных данных. Поэтому возникает необходимость в разработке специальных методов оптимального выбора для данной предметной области.

На первом этапе такой разработки выполним классификацию видов и разновидностей оптимизационных задач. Прежде всего, выделяются две группы задач, отличающихся количеством используемых критериев:

- задачи однокритериальной оптимизации однофункциональных систем безопасности электроустановок (СОЭБ, СОПБ) с учетом неопределенности части исходной информации;

- задачи многокритериальной оптимизации СБЭ с учетом неопределенности части исходной информации.

В рамках первой группы задач выделяется две их подгруппы: задачи безусловной и задачи условной оптимизации (задачи без ограничений и с ограничениями).

Рассмотрим подход к решению задачи безусловной оптимизации применительно к СОЭБ.

Пусть сформировано конечное множество различных вариантов СОЭБ. Количество вариантов равно  $Z$ . Варианты пронумерованы индексом  $z$  ( $z=1,2,\dots,Z$ ). Необходимо выбрать из этого множества вариант, обеспечивающий наибольшую эффективность СОЭБ.

Для такого варианта каждый из сформированных выше интегральных показателей эффективности имеет наименьшее значение. Таким образом, формально решение задачи оптимального выбора в условиях определенности состоит в нахождении варианта, обеспечивающего минимальное значение показателя эффективности. Используем общее обозначение такого показателя на основе словосочетания "показатель уровня электробезопасности" - "ПУЭБ".

При проведении расчетов выделим в исходных данных три группы величин: номер СОЭБ ( $z$ ), группу неопределенных величин и оставшуюся группу исходных данных, являющихся определенными величинами. Будем предполагать, что выполнена серия рас-

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

четов эффективности системы по одному из показателей, обозначенных общим символом ПУЭБ.

Предполагается, что расчеты эффективности производятся и для других СОЭБ. При изменении номера системы  $z$  остальные две группы величин остаются неизменными.

В результате описанных процедур вычислений определяется группа (вектор) функций принадлежности  $\mu$  [ПУЭБ] $_z$ , каждая из которых отвечает некоторому варианту СОЭБ  $z$ :

$$\mu \text{ (ПУЭБ)} = \{ \mu \text{ (ПУЭБ)}_1, \mu \text{ (ПУЭБ)}_2, \dots, \mu \text{ (ПУЭБ)}_z \}.$$

Далее возникает задача выбора на основе полученных ФП того варианта системы, который имеет наибольшую электробезопасную эффективность.

Выбор такого варианта в условиях неопределенности сводится к установлению номера той системы, для которой значение показателя эффективности принимает наименьшее значение. При использовании нечетких пока-

зателей, описанных в форме функций принадлежности или нечетких чисел, задача выбора оптимального варианта системы требует разработки специальных методов ее решения.

При решении задачи выбора приходится учитывать взаимное расположение функций принадлежности на множестве значений критерия и их вид ("особенностей нечеткости"). Относительно простым является случай выбора, когда множество-носитель одной из ФП имеет значения, меньшие значений таких множеств у других функций. В общем случае имеют место различные варианты пересечения ФП показателей, отвечающих различным вариантам системы.

Рассмотрим пример, иллюстрирующий идеи выбора наилучшего варианта системы на множестве ФП. На рисунке 1 приведен вид функций принадлежности некоторого показателя ПУЭБ, рассчитанных для четырех вариантов системы.

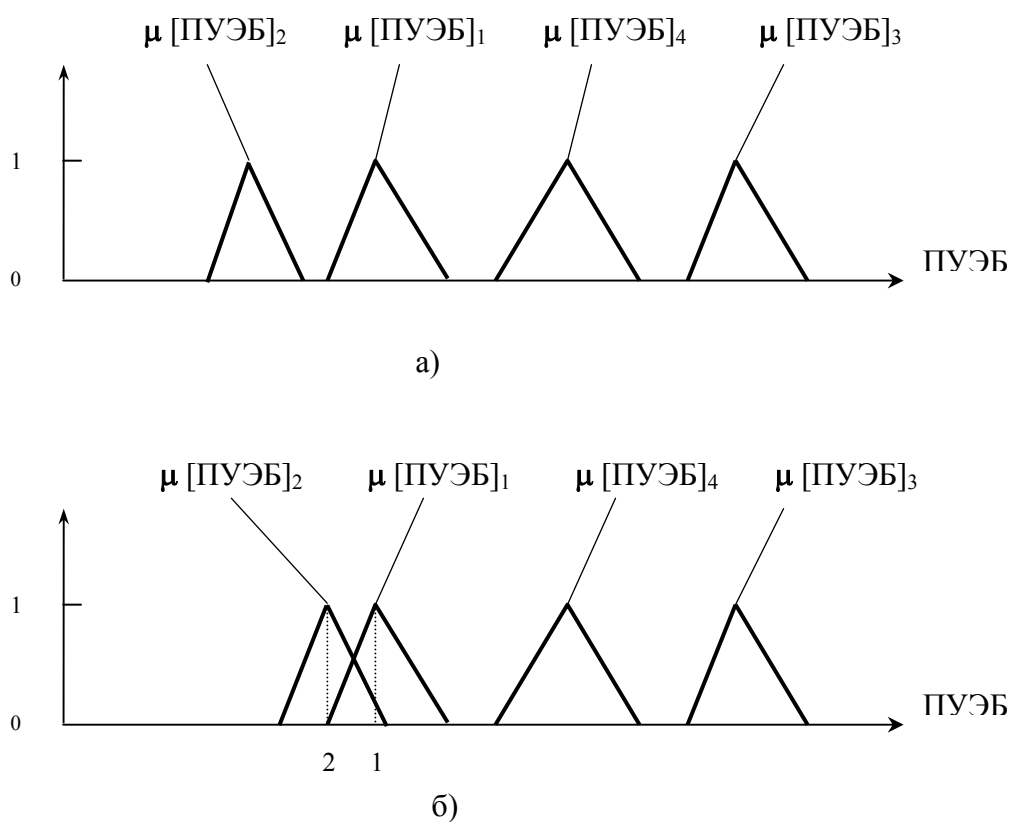


Рисунок 1 - Группа ФП, описывающих интегральный показатель эффективности для различных вариантов СОЭБ

Предположим, что ФП имеют вид, позволяющий приближенно представить их как треугольные нечеткие числа.

На рисунке 1а приведен случай, когда все значения носителя функции принадлежности, отвечающей второму варианту СОЭБ, меньше значений носителей других ФП. В этом случае можно с полной определенностью утверждать, что второй вариант СОЭБ является самым эффективным.

На рисунке 1б приведен случай, когда только часть значений носителя функции принадлежности, отвечающей второму варианту СОЭБ, меньше значений носителей других ФП. Другими словами, имеется пересечение функции  $\mu$  [ПУЭБ]<sub>2</sub> и  $\mu$  [ПУЭБ]<sub>1</sub>.

Таким образом, имеется множество значений показателя ПУЭБ, отвечающих как второму, так и первому варианту системы. В этом случае говорится, что имеется область неразличимости (толерантности) двух вариантов СОЭБ.

Для решения задачи оптимального выбора системы должны быть приняты правила, позволяющие выделить лучший вариант системы из двух возможных. Такие правила носят названия правил предпочтения альтернатив или правил упорядочивания альтернатив.

Характерной точкой треугольного нечеткого числа или (в более общем случае) униmodalной функции распределения является его мода. В такой точке множества значений носителя функции ее значение равно единице. Такая точка достоверно принадлежит нечеткому множеству. В связи с этим естественно различать расположение двух ФП, прежде всего, по положению их мод.

При сравнении вариантов СОЭБ по соответствующим им функциям принадлежности будем считать более эффективным из них тот, который имеет меньшее значение моды.

На рисунке 1б мода ФП второго варианта и мода ФП первого варианта изображены с помощью точек 2 и 1 соответственно. В связи со сформулированным правилом в качестве наиболее эффективного варианта СОЭБ рассматривается второй.

При выделении оптимального варианта в условиях неопределенности желательно дополнительно учитывать “степень пересечения” функции принадлежности оптимального варианта и ФП сравниваемого варианта (таких “пересекающихся” функций может быть больше одной).

В роли показателя, оценивающего такую “степень пересечения”, может выступать уро-

вень принадлежности точки пересечения функций принадлежности, а также соотношение между значимыми (граничными) точками.

Формально предлагаемая процедура нахождения наиболее эффективного варианта СОЭБ состоит в определении значений мод треугольных нечетких чисел (униmodalных ФП) и нахождения наименьшей из них. После этого устанавливается номер системы, связанной с выделенной наименьшей модой. Выбранная таким образом система и считается наиболее эффективной.

При решении задачи условной оптимизации учитываются ограничения, имеющие, как правило, экономический характер. Например, может быть наложено ограничение на приведенные затраты на создание и эксплуатацию системы.

Рассмотрим далее подход к решению задачи многокритериальной оптимизации СБЭ с учетом неопределенности части исходной информации. Будем опираться на подходы к постановке и решению таких задач в условиях определенности [2].

Основным подходом к решению таких задач является построение комплексного критерия оптимальности, учитывающего одновременно два аспекта безопасности электроустановок. При построении такого критерия полагается, что в роли частных критериев оптимальности выступают два показателя эффективности СБЭ, учитывающих аспект электробезопасности и пожаробезопасности. Значимость обоих критериев полагается равной. (Последнее обстоятельство позволяет исключить вопрос об учете предпочтений при выборе критериев, традиционно решаемый в рамках теории нечетких множеств).

При построении комплексного критерия безопасности электроустановок в условиях определенности предварительно выполняется процедура нормирования критериев [2].

Для решения задачи многокритериальной оптимизации СБЭ в условиях неопределенности нами предлагается осуществить нормирование критериев путем нормирования множеств значений носителей функций принадлежности.

Рассмотрим множество функций принадлежности  $\mu$  (ПУЭБ), отвечающих всем вариантам СОЭБ. Определим левые и правые границы ФП для всех систем. Обозначим их следующими символами:

ПУЭБ<sub>л,1</sub>; ПУЭБ<sub>п,1</sub>; ПУЭБ<sub>л,2</sub>; ПУЭБ<sub>п,2</sub>; ...; ПУЭБ<sub>л,z</sub>; ПУЭБ<sub>п,z</sub>.

Определим минимальную из левых границ. Обозначим ее символом ПУЭБ<sub>л, min</sub>. Опре-

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

делим далее наибольшую из правых границ. Обозначим ее символом ПУЭБ<sub>л, max</sub>.

Можно утверждать, что все возможные значения носителей множеств ФП, описывающих эффективности вариантов СОЭБ, ограничены диапазоном значений

$$\Delta_{\text{ПУЭБ}} = [\text{ПУЭБ}_{\text{л, min}} ; \text{ПУЭБ}_{\text{п, max}}].$$

Произведем нормирование множеств носителей всех функций принадлежности, отвечающих рассмотренным вариантам. Для этого по каждому  $z$  вычислим величины

$$R_{x,z} = (\text{ПУЭБ}_{x,z} - \text{ПУЭБ}_{\text{л},z}) / \Delta_{\text{ПУЭБ}}.$$

В последнем выражении символом  $x$  обозначено некоторое значение ПУЭБ, изменяющееся в пределах диапазона носителя множества функции принадлежности, отвечающей  $z$ -ой системе. Указанный диапазон для  $z$ -ой системы определяется точками ПУЭБ<sub>л,z</sub> и ПУЭБ<sub>п,z</sub>.

В результате преобразований каждый диапазон носителя ФП отображается на некоторый поддиапазон  $\Delta_{R,z}$  диапазона  $[0 ; 1]$ . При этом левая граница самой "левой" ФП отобразится в точку 0, а правая граница самой "правой" ФП – в точку 1. Все другие граничные точки функций принадлежности расположатся внутри промежутка  $[0 ; 1]$ .

Функции принадлежности сохранят свои значения, но множества их носителей будут сжаты (растянуты) и "сдвинуты" в диапазон  $[0 ; 1]$ . Обозначим полученное множество нормированных ФП символом

$$\mu(\text{пуэб})_R = \{ \mu(\text{пуэб})_{1,R}, \mu(\text{пуэб})_{2,R}, \dots, \mu(\text{пуэб})_{z,R} \}.$$

Такая же последовательность операций должна быть выполнена и для множества ФП  $\mu(\text{ПУПБ})$ . В результате будет получено множество нормированных ФП вида

$$\mu(\text{пупб})_R = \{ \mu(\text{пупб})_{1,R}, \mu(\text{пупб})_{2,R}, \dots, \mu(\text{пупб})_{z,R} \}.$$

Следует отметить, что после выполнения процедуры нормирования в двух последних векторах будут фигурировать уже другие переменные. Для сохранения их смысловой связи в исходными переменными обозначим их соответствующими строчными буквами.

Как и для случая расчетов эффективности в условиях определенности будем считать значимость каждого из аспектов безопасности одинаковым. Проведенное норми-

рование позволяет произвести сложение нечетких чисел (одномерных функций принадлежности), отвечающих двум аспектам опасности по каждому варианту системы безопасности электроустановок. (При этом предполагается, что для определенного варианта СБЭ выполнены расчеты его эффективности по каждому из аспектов безопасности. Расчет в аспекте электробезопасности считается расчетом эффективности СОЭБ, а расчет в аспекте пожаробезопасности – расчетом эффективности СОПБ).

В результате сложения получается совокупность функций принадлежности, отвечающих различным вариантам СБЭ (число которых также полагается равным  $Z$ ):

$$\mu(\text{пуб})_R = \{ \mu(\text{пуб})_{1,R}, \mu(\text{пуб})_{2,R}, \dots, \mu(\text{пуб})_{z,R} \}.$$

При этом компоненты векторов по каждому  $z$  будут определяться в виде суммы нечетких чисел следующем образом:

$$\mu(\text{пуб})_{z,R} = \mu(\text{пуэб})_{z,R} + \mu(\text{пупб})_{z,R}.$$

Символом "пуб" обозначена переменная, являющаяся показателем уровня безопасности электроустановок. (При этом безопасность рассматривается одновременно в двух аспектах).

Решение задачи двухкритериальной оптимизации далее будет сводиться к решению задачи однокритериальной оптимизации. Как и в ранее рассмотренных задачах оптимальный выбор системы безопасности будет состоять в минимизации значения показателя эффективности системы, выражающегося функцией принадлежности. Предлагается решать эту задачу разработанным выше методом, основывающемся на выборе ФП с минимальной модой.

При решении задачи условной оптимизации, как и в предыдущем случае, учитываются ограничения, имеющие, как правило, экономический характер

Таким образом, нами разработаны основные положения методов оптимального выбора систем безопасности электроустановок с учетом неопределенности части исходных данных.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дробязко, О.Н. Оптимальные стратегии создания систем безопасности электроустановок агропромышленного комплекса [Текст] дис. ... докт.

ДРОБЯЗКО О.Н., НЕФЕДОВ С.Ф.

техн. наук : 05.20.02 : защищена 22.12.06 : утв. 7.09.07 / О.Н. Дробязко. – Барнаул, 2006. – 395 с.

2. 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.

3. 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 научно-центра Сибирской академии наук высшей школы,-2009.-№ 9.-С.82-85.

4. 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.

5. 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.

6. Кофман, А. Введение в теорию нечетких множеств /А. Кофман. - М.: Радио и связь.-1982.

7. Недосекин, А.О. Нечетко-множественный анализ риска фондовых инвестиций [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.mirkin.ru>.

8. Яхьева, Г.Э. Основы теории нечетких множеств [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.intuit.ru/departament/ds/fuzzysets/> .

9. Штовба, С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Электронный ресурс].- Режим доступа: [http://matlab.exponenta.ru / fuzzylogic/ book1/index.php](http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php) .

10. Номоконова, О.В. Применение нечетких множеств в оценке и прогнозировании опасных ситуаций: автореф.дисс.... канд техн.наук / О.В. Номоконова.-Челябинск,-2003.

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

12. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2010610102. Электрожаробезопасность 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., профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования», д.т.н., АлмГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(3852) 29-08-69, E-mail: [drolnik@List.ru](mailto:drolnik@List.ru);*

*Нефедов С.Ф., аспирант, АлмГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: [nfdv@inbox.ru](mailto:nfdv@inbox.ru)*