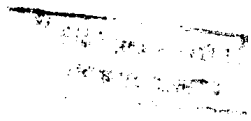


05.26.01

Н 813



На правах рукописи

Номоконова

Номоконова Ольга Валерьевна

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ
В ОЦЕНКЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИИ
ОПАСНЫХ СИТУАЦИЙ**

Специальность 05.26.01 – «Охрана труда (электроэнергетика)»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Челябинск

2003

Работа выполнена в Южно-Уральском государственном университете.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук,
профессор Антонов В.А.;

Научный консультант – кандидат технических наук,
доцент Украинская И.С.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Черчинцев В.Д.;

доктор физико-математических наук,
доцент Прокудина Л.А.

Ведущее предприятие – Федеральное государственное унитарное
предприятие “НИИТБЧермет”, г. Челябинск.

Защита состоится 24 апреля 2003 г. в 10-00 часов, в ауд.380 на заседании
диссертационного совета Д 212.298.05 при Южно-Уральском государственном
университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. Ленина, 76, ЮУрГУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан “ ____ ” _____ 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор



Ю.С.Усынин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Статистика травматизма в любой отрасли экономики, в том числе и электроэнергетике, показывает необходимость совершенствования методов оценки и прогнозирования опасных ситуаций. В условиях декларирования опасных участков и производств требования к точности оценок и прогнозов резко возрастают.

Учитывая, что по большинству показателей, определяющих вероятность возникновения опасных ситуаций, статистическая информация либо отсутствует, либо весьма ограничена, появляется необходимость совершенствования существующих методов и методик оценки и прогноза показателей производственного травматизма. Общеизвестно, что до 90 и более процентов несчастных случаев связаны с так называемым “человеческим фактором”.

Статистика в данной области практически отсутствует. Для управления безопасностью в этой области необходима разработка новых подходов, позволяющих определять вероятности тех или иных ошибочных действий персонала.

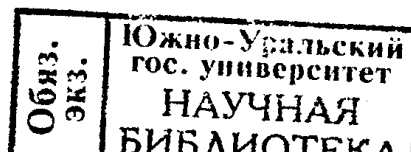
Повышение точности прогноза, оценок вероятностей возникновения электроопасных ситуаций позволит наиболее рационально распорядиться средствами, направляемыми на повышение безопасности труда.

Принятые в последнее время Федеральный закон о техническом регулировании и ГОСТ Р 12.0.006-2002 “Общие требования к управлению охраной труда в организации” также свидетельствуют об актуальности данной работы.

Работа выполнена в соответствии с перечнем приоритетных направлений развития науки, технологий и техники на период до 2010 года.

Цель работы – создание методики прогнозирования показателей производственного травматизма.

Идея работы – использование нечетких множеств при прогнозировании показателей производственного травматизма в условиях неопределенности, обусловленной недостаточностью или отсутствием статистического материала.



Научные положения, выносимые на защиту

1. Для снижения уровня неопределенности при моделировании опасных ситуаций в действующих электроустановках должны использоваться нечеткие вероятности структурных элементов, задаваемые в виде нечетких чисел $\tilde{p}_i \in [0; 1]$ с треугольным представлением функции принадлежности.

2. Нечеткие вероятности структурных элементов логической модели электропоражения, отражающие ошибочные действия персонала, при отсутствии соответствующих статистических данных, целесообразно определять на основе лингвистического подхода, позволяющего наиболее полно учитывать наличие расхождений в экспертных оценках.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается корректным использованием основных положений теории нечетких множеств, удовлетворительным совпадением результатов аналитических исследований со статистическими данными производственного травматизма.

Значение работы. Научное значение работы заключается в обосновании: возможности применения теории нечетких множеств для определения вероятностей событий при моделировании электроопасных ситуаций; вычисления вероятностей ошибочных действий электротехнического персонала с помощью лингвистического подхода; приложения нечетких множеств и нечетких отношений к прогнозированию показателей производственного травматизма.

Практическое значение работы заключается в разработке методики прогнозирования показателей травматизма.

Реализация работы. Научные положения, выводы и рекомендации использованы:

- ФГУП “НИИТБЧермет” – методика прогнозирования показателей травматизма;
- Южно-Уральским государственным университетом в курсе “Основы электробезопасности” – методика оценки эффективности средств обеспечения безопасности.

Апробация работы. Основные материалы и результаты диссертационной работы были доложены, рассмотрены и одобрены на Первой Всероссийской научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности на пороге третьего тысячелетия» (Челябинск – 2000 г.), на Всероссийской научно-технической конференции «Наука – Производство – Технологии – Экология» (Киров – 2002 г.), научно-технических конференциях Южно-Уральского государственного университета (2000 – 2003 г.г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано девять печатных работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 94 страницах машинописного текста, содержит 13 рисунков, 16 таблиц, список использованной литературы из 147 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Анализ математических методов, применяемых для оценки и прогнозирования ситуаций в сложных системах, включающих человека, показал, что каждому из них наряду с имеющимися достоинствами, присущи определенные недостатки, обусловленные необходимостью наличия достоверной информации по ряду показателей, получение которой либо требует больших трудозатрат, либо значительного времени, необходимого для накопления данных.

С помощью моделей, основанных на тех или иных вариантах вероятностного аппарата, пытаются свести к минимуму неопределенности, которые препятствуют организации безопасного функционирования сложных систем. Однако отправной точкой при формировании математических моделей является требование их строгого соответствия уровню неопределенности используемой информации. Наилучшим образом позволяет строить адекватные математические модели для распознавания и предупреждения опасных ситуаций теория нечетких множеств, предложенная Л.А.Заде и получившая свое развитие в работах А.Кофмана, М.Мизумото, К.Танака, В.Е.Жуковина, Д.А.Поспелова, С.А.Орловского и других. Причем следует подчеркнуть, что аппарат теории нечетких множеств призван не конкурировать с вероятностно-статистическими методами, а обеспечивать возможность заполнения пробела в области учета неопределенности там, где указанные методы нельзя корректно применять.

На основании вышеуказанного, для определения новых путей прогнозирования и предупреждения опасных ситуаций, предполагается решить следующие задачи:

1. Исследовать возможность применения аппарата теории нечетких множеств для определения исходных составляющих, необходимых в реализации логико-вероятностного метода в случае ограниченного объема информации.

2. Учитывая наглядность, удобство практического применения логико-вероятностного метода, исследовать целесообразность применения понятий теории нечетких множеств при построении структурных моделей.

3. Исходя из особой роли человека-оператора в обеспечении безопасного функционирования сложных систем разработать основанную на применении лингвистической переменной схему оценки значимости ошибки человека-оператора.

4. Разработать методику для практического применения аппарата теории нечетких множеств службами и отделами, занятыми оценкой возможности возникновения опасных ситуаций и прогнозированием опасных явлений в сложных системах.

Введение понятий нечеткой и лингвистической переменных, нечеткого множества и отношения обеспечивает формализацию многих качественных и количественных нечетких понятий, объектов, событий и отношений профессионального языка и позволяет моделировать возникновение опасных ситуаций в различных сферах деятельности при отсутствии четкой информации, в частности, в энергосистемах.

Использование данных, выраженных с помощью нечетких чисел $\tilde{A} = \int \mu_{\tilde{A}}(x) / x$, в моделировании электроопасных ситуаций может дать больше информации, чем "точная" детерминированная или интервальная оценка. Нечеткое число $(L - R)$ -типа (рис.1) показывает одновременно "пессимистическое" и "оптимистическое" представление о диапазоне изменения рассматриваемой величины, а вершина нечеткого числа содержит наиболее точное значение.

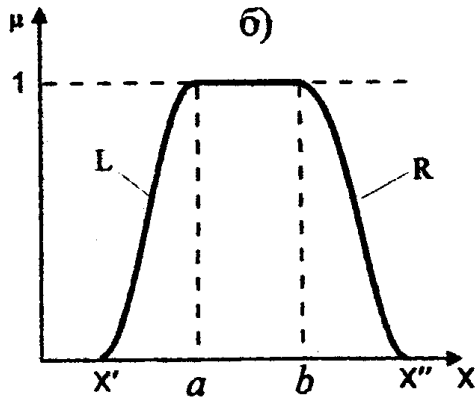
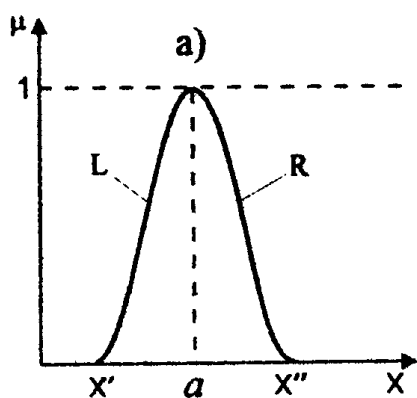


Рис. 1. Функция принадлежности нечеткого числа (L - R)-типа, соответствующего: а) приближенной точечной оценке (уни模альное нечеткое число); б) приближенной интервальной оценке (толерантное нечеткое число)

Согласно принципу обобщения, если \tilde{A} и \tilde{B} – нечеткие числа с носителями $Supp\tilde{A} = (a_1, a_2)$ и $Supp\tilde{B} = (b_1, b_2)$ соответственно; $a_2 > a_1$, $b_2 > b_1$ и $g : R \times R \rightarrow R$ – некоторая функция, тогда $\tilde{D} = g(\tilde{A}, \tilde{B})$ – нечеткое число, определяемое функцией принадлежности

$$\mu_{\tilde{D}}(x) = \sup_{\substack{g(a,b)=x \\ a \in Supp\tilde{A} \\ b \in Supp\tilde{B}}} \min\{\mu_{\tilde{A}}(a), \mu_{\tilde{B}}(b)\}. \quad (1)$$

Приведенная формула определяет результат любой из четырех арифметических операций над нечеткими числами \tilde{A} и \tilde{B} , выполнение которых можно значительно упростить, используя треугольное представление функции принадлежности:

$$\mu_{\tilde{X}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x < X', \\ \frac{x - X'}{\beta(x)}, & \text{при } X' \leq x \leq X, \\ \frac{X'' - x}{\beta(x)}, & \text{при } X \leq x \leq X'', \\ 0, & \text{при } x > X'', \end{cases} \quad (2)$$

а унимодальное нечеткое число \tilde{X} определяя тройкой (X', X, X'') (рис.2).

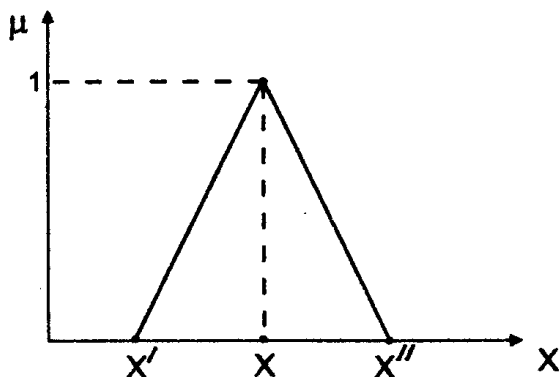


Рис.2. Нечеткое число \tilde{X} с треугольным заданием функции принадлежности

При построении структурной логической модели электропоражения вероятности ее элементов, с учетом нечеткости, неопределенности имеющихся данных, необходимо определять как нечеткие числа \tilde{p} с треугольным представлением функции принадлежности $\mu_{\tilde{p}} : [0,1] \rightarrow [0,1]$.

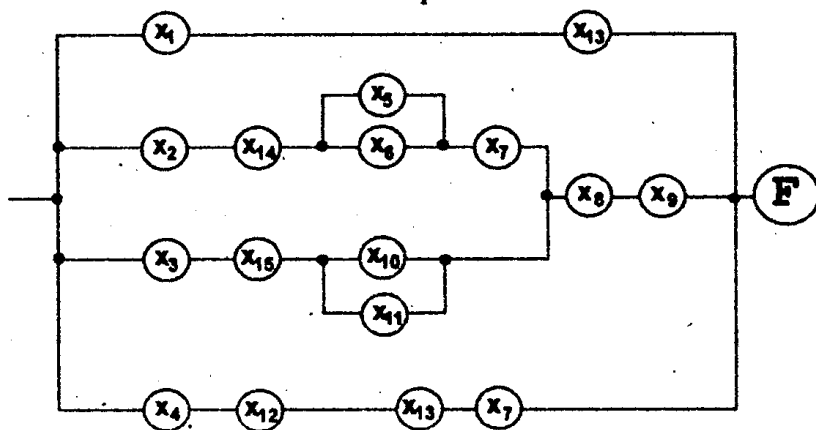


Рис.3. Логическая схема электропоражения при эксплуатации электроустановок напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью:

- | | |
|---|---|
| x_1 — конструктивное несовершенство оборудования; | x_9 — отказ устройства контроля цепи заземления; |
| x_2 — однофазное замыкание на землю (ОЗЗ); | x_{10} — отказ блока, реагирующего на ДЗЗ; |
| x_3 — двойное замыкание на землю (ДЗЗ); | x_{11} — отказ максимальной токовой защиты; |
| x_4 — недостаточный уровень изоляции фаз; | x_{12} — отказ устройства контроля уровня изоляции фаз; |
| x_5 — отказ первой ступени защиты от ОЗЗ; | x_{13} — прикосновение к токоведущим частям оборудования; |
| x_6 — отказ второй ступени защиты от ОЗЗ; | x_{14} — прикосновение к нетоковедущим частям оборудования; |
| x_7 — отказ системы компенсации токов ОЗЗ; | x_{15} — приближение к корпусу электроустановки; |
| x_8 — наличие дефектов цепи заземления; | F — электропоражение |

Использование в логической схеме возникновения электропоражения при эксплуатации электроустановок напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью (рис.3) нечетких вероятностей структурных элементов \tilde{p}_i позволяет определить вероятность электропоражения –

$$\tilde{P}(F) = 1 - (1 - \tilde{p}_1 \tilde{p}_{13}) (1 - \tilde{p}_4 \tilde{p}_{12} \tilde{p}_{13} \tilde{p}_7) \cdot (1 - \tilde{p}_8 \tilde{p}_9 \cdot (1 - [1 - \tilde{p}_2 \tilde{p}_7 \tilde{p}_{14} (1 - (1 - \tilde{p}_5)(1 - \tilde{p}_6))]) \cdot [1 - \tilde{p}_3 \tilde{p}_{15} \cdot (1 - (1 - \tilde{p}_{10})(1 - \tilde{p}_{11}))])), \quad (3)$$

которая представляет собой нечеткое множество чисел, приближенно равных $2,33 \cdot 10^{-5}$, или $(4,08 \cdot 10^{-8}; 2,33 \cdot 10^{-5}; 6,98 \cdot 10^{-5})$ с функцией принадлежности (рис.4).

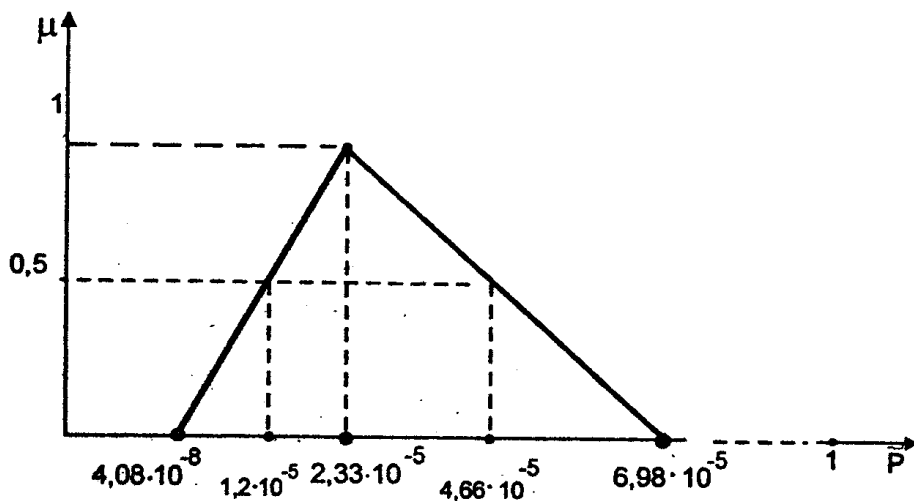


Рис.4. Вероятность электропоражения в сети с изолированной нейтралью, представляющая собой нечеткое число $(4,08 \cdot 10^{-8}; 2,33 \cdot 10^{-5}; 6,98 \cdot 10^{-5})$

Асимметрия функции принадлежности относительно вершины позволяет утверждать, что вероятность электропоражения при эксплуатации электроустановок напряжением выше 1000 В приближенно равна или несколько больше, чем $2,33 \cdot 10^{-5}$. При этом наиболее адекватная оценка указанной вероятности – интервал $(1,2 \cdot 10^{-5}; 4,66 \cdot 10^{-5})$, представляющий собой подмножество α -уровня ($\alpha = 0,5$) множества $(4,08 \cdot 10^{-8}; 2,33 \cdot 10^{-5}; 6,98 \cdot 10^{-5})$.

Для сети с заземленной нейтралью напряжением до 1000 В вероятность возникновения электропоражения представляет собой нечеткое множество чис-

ле, приближенно равных $5,7 \cdot 10^{-4}$, причем ее наиболее адекватная оценка лежит в интервале $(3,45 \cdot 10^{-4}; 8,05 \cdot 10^{-4})$.

Одной из обязательных задач при моделировании электроопасных ситуаций является учет наличия в модели зависимых событий, так как анализ показывает, что неучет взаимовлияния событий при логико-вероятностном моделировании приводит к ошибке, изменяющейся от 21 до 40% даже для весьма малых участков модели.

Согласно статистике электротравматизма, большая часть электропоражений обусловлена ошибочными действиями электротехнического персонала.

Для определения вероятностей совершения ошибочных действий персоналом, являющихся причиной несчастных случаев, может быть использован только метод экспертных оценок, поскольку наличие подобной статистики нам неизвестно.

Полученная экспертным путем информация является неопределенной, нечеткой и может быть формализована применением лингвистического подхода, позволяющего использовать приближенные субъективные оценки и оперировать формализованными объектами посредством аппарата теории нечетких множеств.

В рамках указанного выше подхода оценка вероятностей ошибочных действий персонала обеспечивается понятием лингвистического критерия

$$\langle K, T(K), U_K, G_K, M_K \rangle,$$

где K – наименование лингвистического критерия;

$T(K)$ – терм-множество K ;

U_K – универсальное множество K с базовой переменной u_k ;

G_K – синтаксическое правило, порождающее название T_i лингвистических значений критерия;

M_K – синтаксическое правило, которое каждому лингвистическому значению T_i в конкретном контексте ставит в соответствие его смысл $M(T_i)$.

Причем $M(T_i) = \bigcup_{u_k \in U_K} \mu_{T_i}(u_k) / u_k$ – нечеткое множество, обеспечивающее переход от словесного к численному описанию объектов.

Задача выбора из m полученных оценок вероятности (m альтернатив) наилучшей оценки может быть решена путем ранжирования их по векторному лингвистическому критерию адекватности.

Пусть $K = (K_1, K_2 \dots K_n)$ – векторный критерий, представляющий собой отображение $K: A \rightarrow R$, $K(a)$ – векторная оценка альтернативы. Тогда задача $k(a) \rightarrow \text{extr}$, где $k(a)$ – скалярный критерий, представляющий собой неко-

торую функцию от значений компонентов векторного критерия $k(a) = f(K_1(a), K_2(a) \dots K_n(a))$, решается с учетом приоритетов критерия путем задания вектора коэффициентов относительной важности $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$.

Коэффициенты относительной важности w_i определяются на основе процедуры парного сравнения критериев, с использованием оценок, приведенных в табл.1 с выполнением условия нормировки $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

Таблица 1

Шкала оценок важности

Относительная важность критериев K_i и K_j	Элемент a_{ij}
Равная важность	1
Немного важнее	3
Важнее	5
Заметно важнее	7
Намного важнее	9
Промежуточные значения	2, 4, 6, 8

В задаче упорядочения m альтернатив, оцениваемых по n критериям, соответствующая взвешенная оценка i -ой альтернативы определяется по формуле

$$R_i = \sum_{j=1}^n w_j R_{ij}, \quad (4)$$

где w_j – коэффициент относительной важности критерия K_j ;

R_{ij} – оценка i -ой альтернативы по критерию K_j .

Для сравнения альтернатив на основе взвешенных оценок R_i вводится множество I , заданное на множестве индексов альтернатив $\{1, 2, \dots, m\}$ и значение соответствующей функции принадлежности интерпретируется как характеристика степени того, насколько альтернатива A_i является лучшей. Значение $\mu_I(i)$ вычисляется по формуле

$$\mu_I(i) = \sup_{r_1, r_2, \dots, r_m: r_i \geq r_j} \min_{j=1, n} \mu_{R_j}(r_j) \quad (5)$$

в равно ординате точки пересечения взвешенной оценки альтернативы A_i и оценки лучшей альтернативы (рис.5).

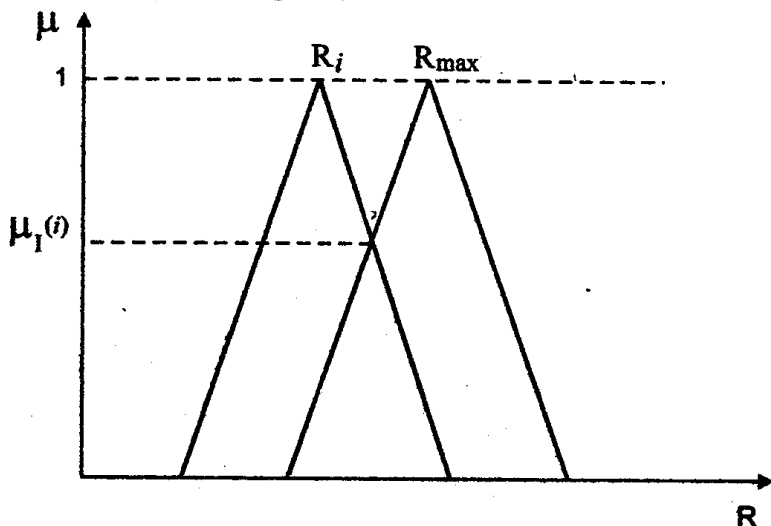


Рис.5. Функции принадлежности взвешенных оценок R_i

Нечеткость описания экспертами вероятности ошибочного действия персонала определяется посредством универсального множества I и задания функции $F: I \rightarrow I$.

Полагая, что A – нечеткое подмножество I , выделяются его уровневые подмножества $A_\alpha = \{x / x \in I, \mu_A(x) \geq \alpha\}$, где значение функции принадлежности $\mu_A(x)$ вычисляется по формуле

$$\mu_A(x) = \frac{n_i}{n_{\max}}, \quad (6)$$

где n_i – частота оценки x_i ,

n_{\max} – наибольшая частота.

В каждом из A_α определяется

$$M(A_\alpha) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (7)$$

Тогда функция

$$F(A) = \int_0^{\alpha_{\max}} M(A_\alpha) d\alpha \quad (8)$$

является точечной оценкой нечеткого множества $A \subset I$.

В силу неопределенности полученной оценки, она должна выражаться унимодальным нечетким числом

$$\tilde{A} = \int \mu_{\tilde{A}}(x)/x. \quad (9)$$

Подобная оценка экспертных данных способна наиболее полно отразить наличие расхождений в мнениях экспертов и позволяет получить более точную информацию при определении вероятности конечного события.

Возникновение электропоражения при ведении ремонтных работ в электроустановках напряжением выше 1000 В обусловлено, как правило, ошибочными действиями персонала и, с учетом логических связей между причинами электроопасной ситуации может быть представлено моделью (рис.6, табл.2).

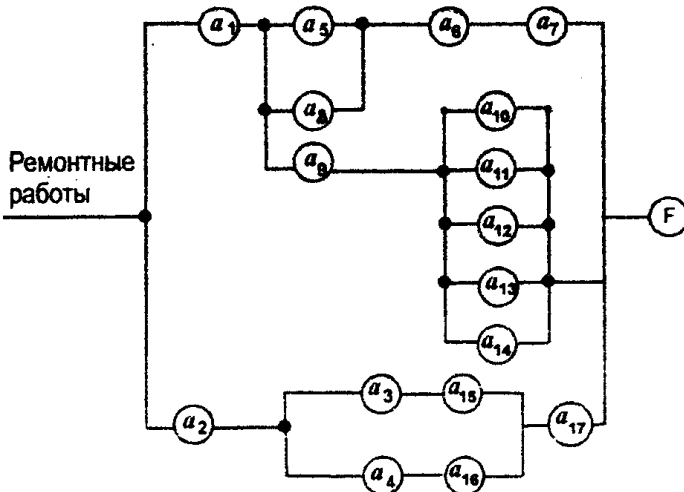


Рис.6. Логико-вероятностная модель электропоражения при ведении ремонтных работ

**Элементы логико-вероятностной модели электропоражения
при ведении ремонтных работ**

Группа событий	Обозначение события	Содержание события
События, связанные с организацией работ в электроустановках	a_1	работа со снятием напряжения
	a_2	работа без снятия напряжения
	a_3	работа на токоведущих частях оборудования и вблизи них
	a_4	работа вдали от токоведущих частей оборудования, находящихся под напряжением
События, отражающие ошибочные действия персонала	a_5	не выполнено отключение напряжения на токоведущих частях
	a_6	не выполнена проверка отсутствия напряжения
	a_7	не выполнено наложение заземления
	a_8	ошибочное включение напряжения
	a_9	нет оформления работ нарядом-допуском
	a_{10}	не выполнен (полностью или частично) допуск к работе
	a_{11}	отсутствует наблюдение за ведением работ
	a_{12}	нарушение порядка оформления перехода
	a_{13}	нарушение порядка оформления перерыва
	a_{14}	нарушение порядка оформления окончания работ
	a_{15}	неиспользование средств индивидуальной защиты
События, характеризующее состояние оборудования	a_{16}	конструктивное несовершенство электрооборудования
События, связанные с действиями человека	a_{17}	прикосновение человека к токоведущим частям оборудования

Условие возникновения электропоражения в соответствии с правилами алгебры логики может быть записано как функция элементов структурной модели:

$$F(a_1, \dots, a_{17}) = (a_1 \wedge a_5 \wedge a_6 \wedge a_7) \vee (a_1 \wedge a_8 \wedge a_6 \wedge a_7) \vee (a_1 \wedge a_9 \wedge a_{10}) \vee (a_1 \wedge a_9 \wedge a_{11}) \vee (a_1 \wedge a_9 \wedge a_{12}) \vee (a_1 \wedge a_9 \wedge a_{13}) \vee (a_1 \wedge a_9 \wedge a_{14}) \vee (a_2 \wedge a_3 \wedge a_{15} \wedge a_{17}) \vee (a_2 \wedge a_4 \wedge a_{16} \wedge a_{17}). \quad (10)$$

При переходе от логических переменных к их вероятностным значениям вероятность электропоражения $\tilde{P}(F)$ рассчитывается по формуле:

$$\tilde{P}(F) = 1 - (1 - \tilde{P}_1) \cdot (1 - \tilde{P}_2), \quad (11)$$

где $\tilde{P}_1 = \tilde{p}_1 \cdot (1 - [1 - \tilde{p}_6 \cdot \tilde{p}_7 \cdot (1 - (1 - \tilde{p}_5) \cdot (1 - \tilde{p}_8))]) \times$
 $\times [1 - \tilde{p}_9 \cdot (1 - (1 - \tilde{p}_{10}) \cdot (1 - \tilde{p}_{11}) \cdot (1 - \tilde{p}_{12}) \cdot (1 - \tilde{p}_{13}) \cdot (1 - \tilde{p}_{14}))]);$

$$\tilde{P}_2 = \tilde{p}_2 \cdot \tilde{p}_{17} \cdot [1 - (1 - \tilde{p}_3 \tilde{p}_{15})(1 - \tilde{p}_4 \tilde{p}_{16})],$$

\tilde{p}_i – нечеткие вероятности элементов a_i логико-вероятностной модели электропоражения (табл.3)

и приближенно равна $1,13 \cdot 10^{-5}$ или представляет собой нечеткое число $(3,1 \cdot 10^{-6}; 1,13 \cdot 10^{-5}; 1,93 \cdot 10^{-5})$ с функцией принадлежности (рис.7).

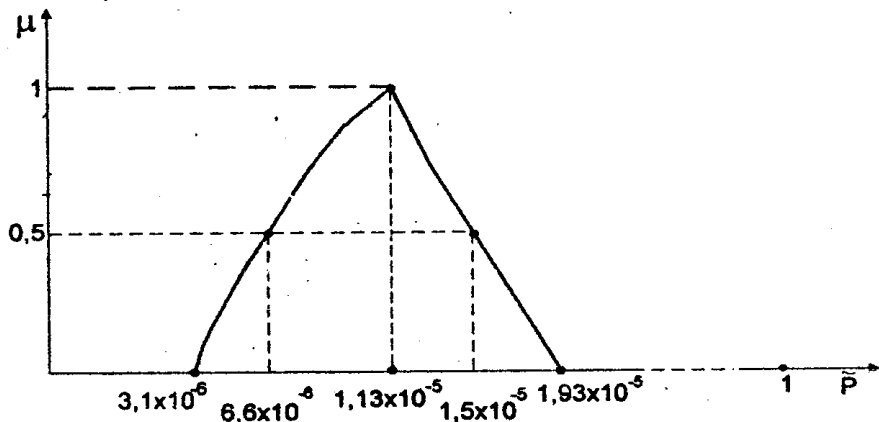


Рис.7. График функции принадлежности нечеткой вероятности электропоражения при ведении ремонтных работ

**Вероятности структурных элементов логико-вероятностной модели
электропоражения при ведении ремонтных работ
в действующих электроустановках**

Элемент модели	Нечеткая вероятность \tilde{p}_i
a_1	$(0,90 \cdot 10^{-1}; 1,40 \cdot 10^{-1}; 1,81 \cdot 10^{-1})$
a_2	$(5,05 \cdot 10^{-2}; 5,70 \cdot 10^{-2}; 6,35 \cdot 10^{-2})$
a_3	$(1,14 \cdot 10^{-2}; 1,60 \cdot 10^{-2}; 2,06 \cdot 10^{-2})$
a_4	$(1,29 \cdot 10^{-2}; 1,80 \cdot 10^{-2}; 2,31 \cdot 10^{-2})$
a_5	$(7,50 \cdot 10^{-5}; 1,10 \cdot 10^{-4}; 1,45 \cdot 10^{-4})$
a_6	$(1,08 \cdot 10^{-3}; 2,00 \cdot 10^{-3}; 2,92 \cdot 10^{-3})$
a_7	$(7,64 \cdot 10^{-3}; 8,40 \cdot 10^{-3}; 9,16 \cdot 10^{-3})$
a_8	$(8,44 \cdot 10^{-4}; 9,20 \cdot 10^{-4}; 9,94 \cdot 10^{-4})$
a_9	$(1,97 \cdot 10^{-3}; 2,40 \cdot 10^{-3}; 2,83 \cdot 10^{-3})$
a_{10}	$(3,90 \cdot 10^{-3}; 4,40 \cdot 10^{-3}; 4,90 \cdot 10^{-3})$
a_{11}	$(7,17 \cdot 10^{-3}; 8,50 \cdot 10^{-3}; 9,83 \cdot 10^{-3})$
a_{12}	$(5,60 \cdot 10^{-3}; 6,20 \cdot 10^{-3}; 6,80 \cdot 10^{-3})$
a_{13}	$(7,49 \cdot 10^{-4}; 8,20 \cdot 10^{-4}; 7,91 \cdot 10^{-4})$
a_{14}	$(0,90 \cdot 10^{-2}; 1,40 \cdot 10^{-2}; 1,81 \cdot 10^{-2})$
a_{15}	$(5,60 \cdot 10^{-3}; 6,20 \cdot 10^{-3}; 6,80 \cdot 10^{-3})$
a_{16}	$(1,62 \cdot 10^{-4}; 3,00 \cdot 10^{-4}; 4,38 \cdot 10^{-4})$
a_{17}	$(1,08 \cdot 10^{-3}; 2,00 \cdot 10^{-3}; 2,92 \cdot 10^{-3})$

Вероятность электропоражения при ведении ремонтных работ, вычисленная с использованием четких данных ($1,5 \cdot 10^{-5}$) входит в нечеткое множество чисел, приближенно равных $1,13 \cdot 10^{-5}$, но является верхней границей его подмножества α -уровня ($\alpha = 0,5$) и поэтому может быть определена как несколько завышенная.

Аппарат ТНМ может быть использован не только для оценки вероятностей возникновения электроопасных ситуаций, но и для определения возможного числа электропоражений и эффективности применяемой в настоящее время системы средств обеспечения электробезопасности, а также для форми-

рования требований к защитным свойствам устройств, образующих эту систему.

В четвертой главе на основании статистических материалов, представленных службой надежности и охраны труда РАО "ЕЭС России" методически обосновано и практически показано, каким образом это может быть осуществлено.

Полагая S_1 и S_2 – состояния травматизма в предшествующий и последующий моменты времени, определяем связь между S_1 и S_2 с помощью нечеткого отношения $R = A \times B + \bar{A} \times C$, где A , B и C – нечеткие подмножества универсальных множеств U и V .

Нечеткое отношение R может быть использовано для вычисления каждого последующего состояния. Согласно композиционному правилу вывода

$$B^* = A^* \circ R,$$

где A^* и B^* – нечеткие подмножества, характеризующие предшествующее и последующее состояния соответственно.

Точность прогноза при применении метода нечетких множеств оказывается достаточно высокой, что не всегда может быть достигнуто при малом ретроспективном периоде другими методами прогнозирования. Применительно к задачам охраны труда это обеспечивает снижение затрат на обеспечение безопасности труда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе дано новое решение актуальной научной задачи прогнозирования показателей травматизма и оценки эффективности средств безопасности, обеспечивающее рациональное распределение ресурсов, направляемых на повышение безопасности труда. На основании выполненных теоретических и статистических исследований можно отметить следующие основные результаты и сделать выводы:

1. Обоснована возможность применения теории нечетких множеств для определения вероятностей тех или иных событий при моделировании электроопасных ситуаций. Показано, что нечеткие вероятности событий целесообразно представлять как непрерывные нечеткие числа (L - R -типа). Доказано, что арифметические операции над нечеткими числами (L - R -типа) существенно упрощаются при треугольном задании функции принадлежности.

2. Оценка вероятности возникновения электроопасной ситуации в сети с изолированной нейтралью показала, что использование нечетких чисел позволяет получить диапазон наиболее адекватной оценки вероятности конечного события путем выделения подмножества α -уровня ($\alpha = 0,5$), при этом для сети напряжением выше 1000 В – это интервал $(1,2 \cdot 10^{-5}; 4,66 \cdot 10^{-5})$. Для сети с заземленной нейтралью напряжением до 1000 В вероятность возникновения электропоражения представляет собой нечеткое множество чисел, приближенно равных $5,7 \cdot 10^{-4}$, причем ее наиболее адекватная оценка представляет собой интервал $(3,45 \cdot 10^{-4}; 8,05 \cdot 10^{-4})$.

3. Определение вероятностей ошибочных действий персонала наиболее целесообразно осуществлять с помощью лингвистического подхода, позволяющего в условиях практического отсутствия статистических данных находить интересующие вероятности. При этом расчет вероятностей тех или иных событий, характеризующихся только наличием субъективной лингвистической информации, значительно упрощается при использовании функции нечеткой точечной оценки данных, представляющих собой интеграл объединения уровней подмножеств нечеткого множества субъективных оценок.

4. Определение вероятности электропоражения при ведении ремонтных работ показало, что она имеет значение приближенно равное $1,13 \cdot 10^{-5}$ или несколько меньше и при этом не превышает $1,93 \cdot 10^{-5}$ и не менее $3,1 \cdot 10^{-6}$. Ликвидация аварий в действующих электроустановках характеризуется малым значением вероятности возникновения электропоражения $-2,53 \cdot 10^{-9}$.

5. Прогнозирование показателей производственного травматизма с применением метода нечетких множеств имеет более высокую точность при малом ретроспективном периоде, что не всегда может быть достигнуто при использовании других методов.

6. На основе обобщения собственных результатов исследований динамики электротравматизма, причин электротравм, смертельного травматизма на линиях электропередачи различного напряжения разработана методика прогнозирования показателей травматизма, основанная на применении аппарата теории нечетких множеств.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Краинская И.С., Номоконова О.В. О некоторых возможностях использования нечетких множеств для оценки возникновения опасных ситуаций // Безопасность жизнедеятельности на пороге третьего тысячелетия: Сборник материалов Первой Всероссийской научно-практической конференции. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ. – 2000. – С.6 – 8.
2. Краинская И.С., Номоконова О.В. Применение лингвистических переменных для моделирования деятельности человека-оператора // Безопасность жизнедеятельности на пороге третьего тысячелетия: Сборник материалов Первой Всероссийской научно-практической конференции. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ. – 2000. – С.14 – 15.
3. Номоконова О.В., Краинская И.С. Применение теории нечетких множеств при моделировании электроопасных ситуаций в сети с заземленной нейтралью // Электробезопасность. – 2000. – № 2-3. – С.24 – 29.
4. Номоконова О.В. Определение вероятностей ошибочных действий персонала с помощью аппарата теории нечетких множеств // Электробезопасность. – 2000. – № 4. – С.31-36.
5. Номоконова О.В. Об одном подходе к построению функции принадлежности нечетких чисел // Известия Челябинского научного центра УрОРАН. – 2000. – № 4. – С.93-97.
6. Номоконова О.В. Моделирование ошибочных действий персонала при ведении ремонтных работ в действующих электроустановках // Электробезопасность. – 2001. – № 1. – С.31-36.
7. Номоконова О.В. Применение нечетких множеств для прогнозирования электротравматизма // Электробезопасность. – 2001. – № 2-3. – С.49-58.
8. Номоконова О.В. Оценка эффективности средств безопасности с помощью аппарата теории нечетких множеств // Электробезопасность. – 2001. – № 4. – С.19-21.
9. Номоконова О.В., Краинская И.С. Применение нечетких множеств для определения экспертных оценок при анализе условий электробезопасности // Наука – производство – технологии – экология: Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции. – Киров: Изд-во ВятГУ. – 2002. – С.33 – 35.

Издательство Южно-Уральского государственного университета

ИД № 00200 от 28.09.99. Подписано в печать 13.03.2003. Формат 60x84 1/16.
Печать офсетная. Усл.печ.л. 0,93. Уч.-изд.л. 1. Тираж 80 экз. Заказ 38/96.

УОП Издательства. 454080, г.Челябинск, пр.им.В.И.Ленина, 76.