

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В ЗАДАЧАХ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Доктор техн. наук *Р.С. Ахметханов, Е.Ф. Дубинин*,
кандидат эконом. наук *В.И. Куксова*
Институт машиноведения им. А.А.Благонравова РАН (ИМАШ РАН)

Предложены основные этапы формирования системы технической диагностики, основанной на применении нечетких методов, приведены примеры использования методов нечеткой логики в комбинированных методиках оценки динамического отклика этих систем на силовые воздействия.

Отмечено, что нечеткие методы позволяют представить риск как функцию нечетких переменных, что позволяет оценить влияние на общий уровень риска таких слабо формализуемых факторов, как надежность, защищенность, квалификация и психологические особенности человека-оператора. В качестве примера приведены процедуры оценки риска для персонала технической системы в случае возникшего отказа (аварии), а также оценки влияния состояния защищенности объекта на уровень объектового риска.

Хорошие результаты дает применение нечетких методов для учета социально-психологической составляющей террористического риска при разработке когнитивных моделей для различных социальных групп.

Ключевые слова: нечеткие методы, система технической диагностики, риск, безопасность.

THE USE OF FUZZY LOGIC METHODS IN THE TASKS OF TECHNICAL DIAGNOSTICS AND ENSURING THE SAFETY OF TECHNICAL SYSTEMS

Dr. (Tech.) R.S. Akhmetkhanov, E.F. Dubinin, Ph.D. (Econ.) V.I. Kuksova
The A.A. Blagonravov Institute of Machines Science
of the Russian Academy of Sciences

The article proposes the main stages of formation of a system of technical diagnostics based on application of fuzzy methods, examples of use of fuzzy logic methods in combined methods of estimation of dynamic response of these systems to force effects are given. It is noted that fuzzy methods make it possible to represent risk as a function of fuzzy variables, which allows estimating the impact on the risk level of such poorly formalized factors as reliability, security, qualification and psychological characteristics of the human operator. As an example, the procedures of risk assessment for the personnel of the technical system in case of its failure (accident), as well as the impact of object security on the level of object risk are given.

Good results are obtained using fuzzy methods to take into account the socio-psychological component of terrorist risk in developing cognitive models for various social groups.

Keywords: Fuzzy methods, technical diagnostics system, risk, safety.

Введение

При информационном описании сложных технических систем возникает необходимость одновременно использовать разнородную информацию: точечные замеры значе- ний параметров; допустимые интервалы их изменения; статистические законы распреде- ления; лингвистические критерии и ограничения, полученные на основе методов экспертных оценок и т.д. Традиционные подходы, основанные на аппарате математической статистики или имитационном моделировании, не позволяют строить адекватные модели таких объектов. Поэтому в последние десятилетия при решении практических задач, связан- ных с управлением производственными процессами, распознаванием образов, диагностикой и классификацией, все чаще используются методы и модели, базирующиеся на применении элементов теории нечетких множеств (НМ) и методов, позволяющих проводить анализ в ус- ловиях неопределенности на основе нечетких рассуждений и правил логического вывода.

Применение НМ открывает возможность одновременного использования при модели- ровании четких и нечетких оценок. Наличие неопределенности может быть учтено с по- мощью представления недетерминированных параметров как случайных величин с из- вестными вероятностными характеристиками, нечетких величин с заданными функциями принадлежности или интервальных величин с фиксированными интервалами изменения. Соответственно решение задачи может осуществляться с помощью методов стохастиче- ского, нечеткого или интервального программирования.

В настоящее время методы формализации нечеткости реализуются в двух взаимосвя- занных направлениях. Первое базируется на обобщении понятия принадлежности эле- мента множеству, приводящем к размыванию границ множества, а в предельном случае, – к появлению объекта с неопределенными границами, – полумножества. Второй подход предполагает описание нечеткости с помощью иерархии – семейства упорядоченных четких множеств.

В целом алгоритмы на базе нечетких множеств хорошо зарекомендовали себя на практи- ке при решении различных задач, связанных с диагностированием и анализом безопасности сложных технических систем и объектов, управлением нестационарными процессами дви- жения, оценкой качества программных средств, управлением работой технологического оборудования, анализом работы персонала и др.

Использование методов нечеткой логики в задачах технической диагностики

Развитие методов нечеткой логики, создание на этой основе экспертных систем ин- теллектуального анализа данных для решения задач технической диагностики обеспечи- вает возможность получения количественных оценок состояния оборудования в много- мерном пространстве переменных, в том числе нечетких. Это, в свою очередь, позволяет проводить постоянный мониторинг оборудования и вырабатывать гибкую стратегию его эксплуатации в зависимости от технического состояния [1,2].

В качестве основных этапов формирования системы технической диагностики, осно- ванной на применении нечетких методов, можно выделить следующие [3].

1. Создание информационной модели объекта диагностирования (ОД).

Модель диагностируемого объекта создается на основе изучения его устройства и функционирования, статистического анализа показателей надежности и диагностических параметров. Она должна давать наглядное представление о наиболее уязвимых и ответ- ственных элементах, а также о связи структурных параметров с диагностическими при- знаками. В качестве диагностических моделей обычно используют дифференциальные и

алгебраические уравнения, логические соотношения, матрицы узловых проводимостей, функциональные, структурные, регрессионные и другие модели, позволяющие связать параметры технического состояния с общим состоянием объекта [4].

1.1. Обследование и анализ объекта диагностики для информационного описания множества функциональных и тестовых параметров контроля ОД.

Информационно состояние сложного объекта может быть охарактеризовано множеством переменных (параметров) различной природы: аналоговых, дискретных и вычисляемых, а также временными интервалами проведения измерений. Частота сбора информации и проведения расчетов зависит от динамики поведения объекта контроля и управления.

1.2. Выделение из сформированного множества параметров подмножества, имеющего существенное значение для безаварийного (безотказного) функционирования ОД.

Выбор указанного подмножества (совокупности) диагностических параметров (ДП) представляет собой многоальтернативную задачу и определяется такими факторами как целевая функция объекта диагностирования, стратегия его технического обслуживания, используемые средства и методы технического диагностирования, время диагностирования, стоимость средств диагностирования и самого процесса диагностирования.

Выбранные ДП должны быть достаточно информативны, чтобы процесс распознавания состояния объекта диагностики мог быть осуществлен. Вопрос определения информативности диагностических параметров тесно связан с мерами ценности информации. Если синтаксическая информативность параметра, определяемая количеством полученной информации без учета ее содержательной ценности, может быть определена относительно легко, то оценка семантической и прагматической ценности того или иного ДП является достаточно слабо формализуемой задачей. Одним из возможных путей ее решения является использование аппарата теории нечетких множеств.

1.3. Создание информационной модели объекта диагностики, описывающей его поведение и режимы функционирования с учетом выбранных на предыдущем этапе параметров.

Основная задача информационной модели – описание и распознавание фактического состояния объекта диагностирования на основе совокупности параметров, характеризующих изменение свойств объекта в процессе эксплуатации, и его отнесение к одному из возможных классов (диагнозов). Число диагнозов зависит от особенностей задачи и целей исследования [5,6]. Точность постановки диагноза определяет качество полученной модели.

В качестве модельных ограничений могут выступать требования минимизации количества операций контроля, либо количественно определяемые для рассматриваемого объекта диагностирования такие показатели и характеристики технического диагностирования, как продолжительность, достоверность, полнота контроля технического состояния объекта диагностирования, глубина поиска места отказа (неисправности), а также условные вероятности необнаруженного и ложного отказа (неисправности) [7].

2. Создание на базе информационной модели ОД нечеткой модели, описывающей его поведение.

2.1. Формирование факторного пространства нечеткой модели. Включает в себя приведение всех выбранных параметров к условиям нечеткости, что обеспечивает возможность использования разнотипных входных и выходных параметров, а также выбор функций принадлежности.

Для построения функций принадлежности, как правило, применяются методы, основанные на статистической обработке мнений экспертов.

Входные и выходные переменные нечеткой модели считаются определенными, если для них заданы функции принадлежности.

Одним из наиболее часто встречающихся видов функций принадлежности является треугольная.

2.2. Формирование правил нечеткого вывода.

Выбор функций принадлежности и формирование правил нечеткого вывода являются в определенной степени субъективными процедурами, поскольку, как правило, определяются экспертно. Это дает основания относить методы нечеткого вывода к эвристическим.

Наиболее распространенной моделью представления знаний в нечетких моделях и построенных на их основе экспертных системах являются продукционные правила.

Как правило, формирование продукционных правил осуществляется с помощью матриц экспертного опроса, обладающих свойствами ортогональности и рототабельности, что дает возможность формализовать экспертные оценки в виде продукционных правил [8].

В классическом механизме нечеткого вывода предполагается, что входные переменные (исходные условия) равнозначны для следствия (получаемого результата). В действительности различные условные характерные признаки могут оказывать очень разное влияние на вывод заключения (следствия, получаемого результата). Поэтому в продукционное правило типа IF «...» AND «...» THEN «...» в ряде случаев вводится весовой компонент, отражающий относительную значимость различных исходных условий по отношению к одной и той же возможной причине [9]. Методика учета весов исходных условий зависит от конкретных условий применения механизма нечеткого вывода, и нуждается в практической проверке на значимость, состоятельность и эффективность.

Возможны два варианта формирования правил нечеткого вывода и получаемой нечеткой модели:

2.2.1. Правила нечеткого вывода, предусматривающие создание модели без обобщающего параметра (показателя).

В этом случае в зависимости от целей и задач диагностики правила нечеткого вывода должны предусматривать процедуру, позволяющую все возможные состояния ОД приводить к нескольким, например к стабильному, достаточно стабильному, нестабильному, аварийному.

Если состояние объекта диагностики $Y_i (i=1, n)$ функционально характеризуется множеством значений используемых диагностических параметров $X_j (j=1, m)$: $Y_i = F(X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_m)$, то в рассматриваемом примере необходимо:

- сформулировать правила разбиения множества Y на n подмножеств состояний – Y_1, Y_2, \dots, Y_n ;
- определить критерии для оценки стабильности работы объекта и его принадлежности к указанным подмножествам;
- установить признаки возникших отказов (различить состояния в подмножествах Y_2, Y_3, \dots, Y_n).

2.2.2. Правила нечеткого вывода, предусматривающие создание модели с обобщающим параметром (показателем).

В качестве обобщающего параметра может, например, использоваться критериальный (определяющий) параметр, выбранный из множества частных параметров, изменение которого максимально характеризует качество объекта и наступление его критического состояния.

Выбор критериального параметра может быть осуществлен на основе алгоритма, представленного на рис.1.

В качестве обобщающего параметра может также рассчитываться агрегированный безразмерный индекс технического состояния, описываемый одномерной функцией, численные значения которой зависят от контролируемых параметров процесса.

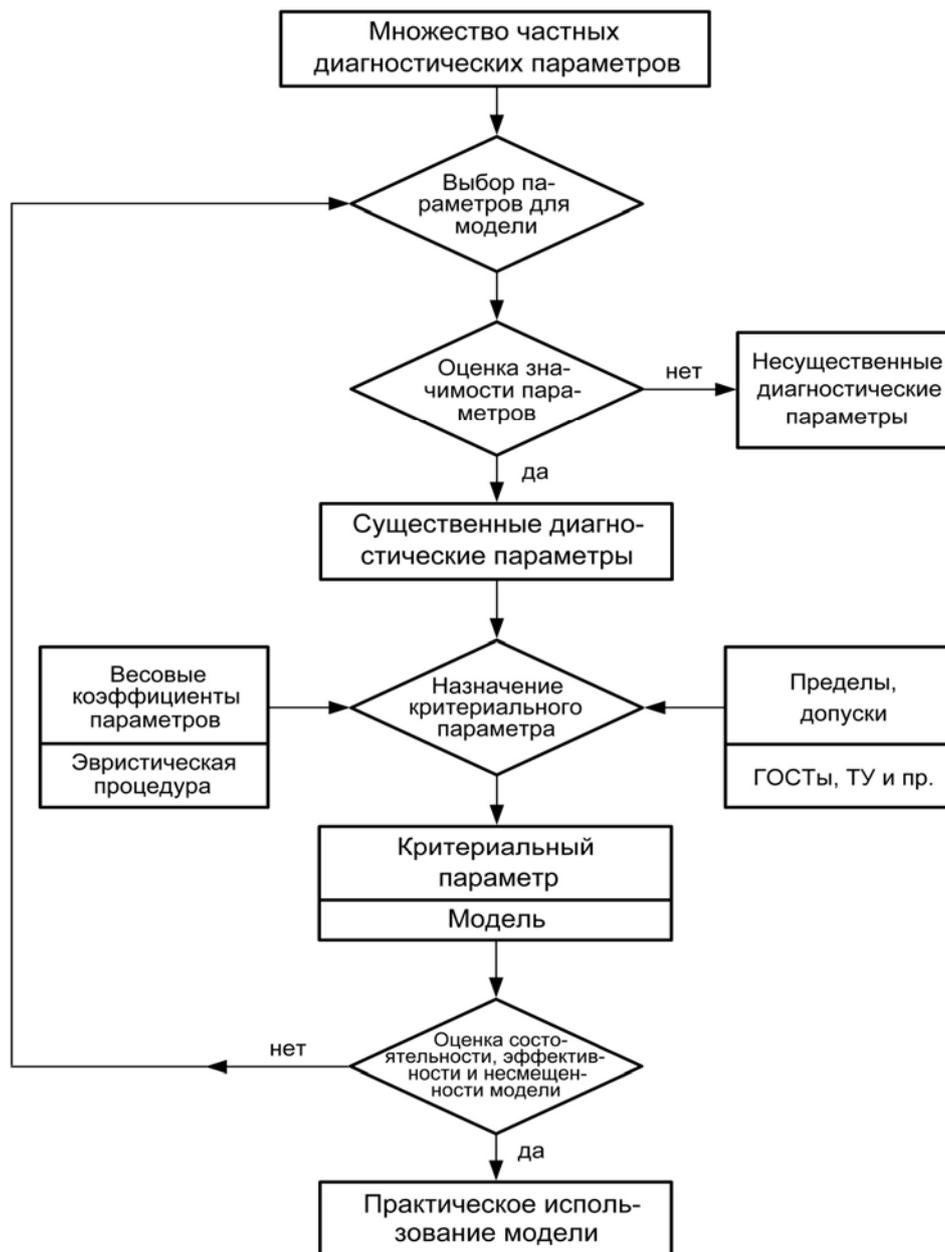


Рис. 1. Алгоритм выбора критериального параметра

В общем случае обобщающий показатель технического состояния объекта диагностики может быть представлен в виде функционала типа свертки: $Y = F(x_i, x_i^{don}, x_i^{onm}, a_i)$, $i = 1, n$; где x_i – текущее значение i -го параметра, характеризующего состояние ОД; x_i^{don} – предельно допустимое значение i -го параметра; x_i^{onm} – оптимальное значение i -го параметра для безаварийного функционирования ОД; a_i – значимость (весовой коэффициент) i -го параметра; n – число параметров, включенных в диагностическую модель.

При свертке частных параметров в обобщающий показатель необходимо определить относительные значения частных параметров; оценить значимость частного параметра

ра для оценки состояния объекта; построить математическое выражение для обобщенного параметра [4].

3. Формирование блока принятия решения и выдачи рекомендаций (управляющих воздействий).

Использование нечетких множеств во многом изменяет процедуру принятия решения по результатам моделирования: меняется принцип представления исходных данных и параметров модели, становятся неоднозначными понятия решения задачи и оптимальности решения.

В общем виде система принятия решения, основанная на механизме нечеткого вывода, представлена на рис. 2.

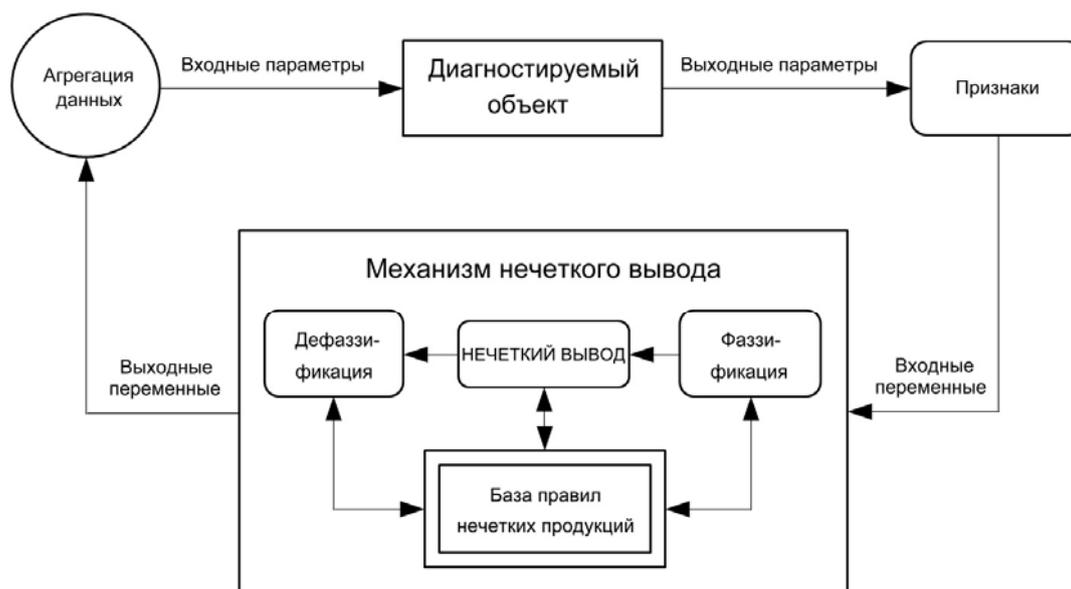


Рис. 2. Система принятия решения, основанная на механизме нечеткого вывода

Примеры использования НМ в задачах технической диагностики

Примером использования нечетких множеств в диагностических моделях технических объектов является определение вероятности их отказа $P(t)$ по данным об имеющихся нагрузках и уровню накопленных повреждений (рис. 2). Для характеристики нагрузок вводится лингвистическая переменная $Q(t)$ с соответствующей функцией принадлежности μ , оценивающая уровни нагружения от незначительных до высоких, включающая выбранное число уровней градации. Аналогичная переменная вводится для оценки уровней накопленных повреждений $d(t)$. Соответствие указанных лингвистических переменных может быть взаимно однозначным либо носить более сложный характер при несопадении числа градаций.

На рис. 3 показано правило оценки риска при высоком уровне нагружения и высоком уровне накопленных повреждений в конструкции рассматриваемого объекта.

В приведенном примере результат логического вывода получен из условия $\min \{ \mu(Q(t)), \mu(d(t)) \}$. Численное значение уровня вероятности отказа $P(t)$ определяется по центру фигуры (в) (использован алгоритм Мамдани).

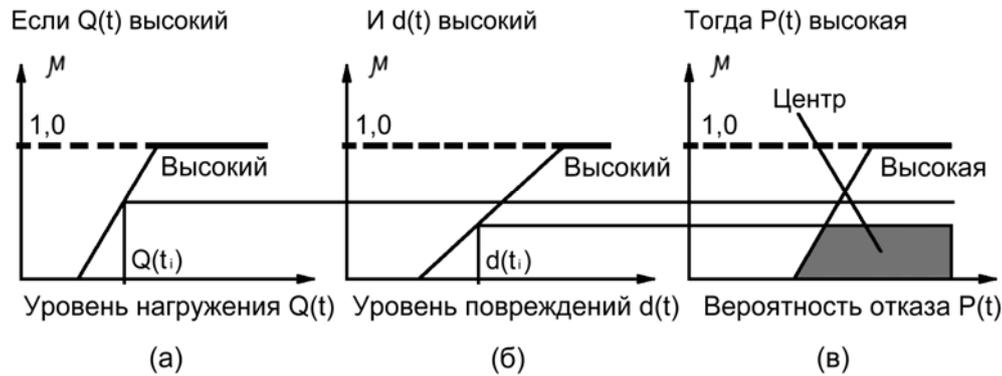


Рис. 3. Алгоритм определения нечеткого вывода при наличии комплекса логических условий

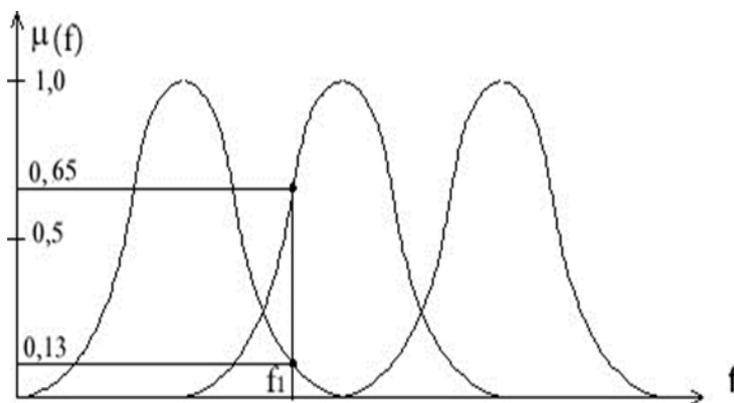


Рис. 4. Нечеткое (интервальное) представление частотных уровней f

При разработке программного обеспечения диагностических комплексов методы НМ могут использоваться в комбинированных методиках оценки динамического отклика этих систем на силовые воздействия. В частности, особенности и возможности анализа, обеспечиваемые применением методов нечеткого вывода, позволяют предложить их использование для кластеризации данных о состоянии технической системы в случае, когда основными анализируемыми параметрами являются частота и энергия соответствующих сигналов. Пример получения результата логического вывода по частотным данным (f) для одной из функций, используемых при этой процедуре, приведен на рис. 4.

Для анализа частотных составляющих диагностируемого сигнала предлагается применить вейвлет-анализ соответствующего временного ряда [2].

После получения множества, состоящего из вейвлет-преобразований диагностируемого сигнала, оценивается глобальная, локальная энергия или энергии его частотных составляющих. Выбор числа кластеров проводится методом фрактального анализа путем определения размерности фазового пространства. Оценка размерности пространства позволяет определить минимальное число параметров порядка (число дифференциальных уравнений, размерность системы), которое должна содержать реальная модель.

В качестве определяющего параметра состояния системы может быть использован критерий, определенный по результатам анализа кластеров. Например, сравнение векторов из компонент, состоящих из значений центров кластеров начального и текущего состояния, определяющих расстояние между ними.

Применение нечетких множеств для оценки риска и безопасности

Развитие основных направлений анализа и моделирования безопасности во многом определяется существующей риск-ориентированной концепцией в этой области. При этом, в частности, реализуется гибкий подход к обеспечению безопасности, при котором не регламентируются жестко все необходимые защитные мероприятия для определенного класса объектов, а обосновываются критерии безопасности и в самом общем виде пути их достижения. В качестве критериев безопасности чаще всего используются величины технического, индивидуального, потенциального, коллективного и социального рисков возникновения чрезвычайной ситуации, а также ожидаемого ущерба на территориях размещения объектов, представляющих потенциальную опасность.

При анализе показателей, характеризующих уровень рисков в техногенной сфере и состоянии безопасности технических объектов, как правило, используются дискретные модели, однако неопределенность, нечеткость либо недостаток информации затрудняют принятие решений в условиях недетерминированных параметров.

Использование НМ позволяет представить риск R , определяемый как сочетание величины события (либо его последствий) U и меры возможности его наступления P , в виде произведения нечетких множеств $\mu(U)$ и $\mu(P)$ [10].

Возможными вариантами обобщения для подобной модели являются:

1. Использование T -норм для оценки степени уверенности в истинности формулы.
2. Замена значений U и P на нечеткие числа (лингвистические переменные), а произведения – на расширенное (по принципу обобщения) произведение нечетких чисел.
3. Замена значений P и U на нечеткие отношения, а произведения – на композицию этих отношений.
4. Обобщение формулы с использованием нечетких интегралов.

Функция принадлежности риска $\mu(R)$ обеспечивает возможность рассмотрения риска как нечеткой величины, определив которую, можно получить дефазифицированное значение риска, например, наиболее возможное его значение, а также разброс значений [11].

С помощью НМ можно также оценить влияние на общий уровень риска таких характеристик системы, как надежность, защищенность, влияние человеческого фактора и пр. В качестве примера приведем процедуру оценки риска для жизни и здоровья обслуживающего персонала технической системы в случае отказа (аварии), в которой при формировании факторного пространства, состоящего из двух нечетких входных лингвистических переменных, используются показатели, полученные методом экспертных оценок. В качестве входных переменных выбраны (см. табл. 1 и 2):

- уровень надежности системы (в примере оценивается вероятностью возникновения отказа системы);
- балльная оценка ущерба (оценка последствий отказа либо аварии системы).

Характеристики выходной переменной «риск для жизни и здоровья обслуживающего персонала» представлены в табл. 3.

При использовании классического метода нечеткого логического вывода Мамдани база нечетких продукционных правил в рассмотренном примере должна содержать 15 правил.

Для оценки влияния состояния защищенности объекта на уровень объектового риска может быть предложена следующая процедура.

Пусть существует множество показателей $\{X\}$, с помощью процедуры Ψ_1 (функции или алгоритма) описывающих состояние его защищенности комплексным показателем A . После формирования полного множества состояний A защищенности объекта можно ввести лингвистическую переменную Z , разделяющую множество A , например, на пять в общем случае пересекающихся подмножеств Z_1, \dots, Z_5 , которым соответствуют следующие значения нечеткой лингвистической переменной: {Необеспеченная, Низкая, Недостаточная, Достаточная, Приемлемая}.

Таблица 1

Оценка надежности объекта

Характеристика состояния надежности системы	Экспертная оценка вероятности отказа	Уровень надежности системы
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Надежность системы не отвечает необходимым техническим требованиям и условиям для персонала	0,00 – 0,33	Низкий
Надежность системы в целом отвечает необходимым техническим требованиям и условиям для персонала	0,34 – 0,66	Средний
Система полностью отвечает необходимым техническим требованиям и условиям для персонала	0,67 – 1,00	Высокий

Таблица 2

Оценка уровня ущерба

Балльная оценка уровня ущерба (максимальный ущерб соответствует 100 баллам)	Уровень ущерба
<i>1</i>	<i>2</i>
0 – 12	Незначительный
13 – 37	Умеренный
38 – 62	Средний
63 – 87	Значительный
88 – 100	Высокий (большой)

Таблица 3

Уровень риска для жизни и здоровья обслуживающего персонала

Характеристика риска для персонала	Балльная оценка риска (максимальный риск соответствует 100 баллам)	Уровень риска
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Высока вероятность смертельных исходов на объекте и прилегающей территории	0 – 12	Очень высокий
Низкая вероятность смертельных исходов, но высокая вероятность серьезного вреда для здоровья	13 – 37	Высокий
Наличие вероятности легкого вреда для здоровья	38 – 62	Средний
Нет риска смерти или вреда для здоровья	63 – 87	Низкий
Полное отсутствие риска для персонала	88 – 100	Очень низкий

Каждому из подмножеств Z_1, \dots, Z_5 соответствуют свои функции принадлежности $\mu_1(Z), \dots, \mu_5(Z)$.

Аналогичная процедура может быть реализована для формирования лингвистической переменной R «Уровень риска» со значениями {Наивысший, Высокий, Средний, Низкий, Незначительный}. Для формирования этой переменной используется процедура Ψ_2 , приводящая множество показателей $\{Y\}$, характеризующих уровень риска, к комплексному показателю B .

Нечеткое факторное пространство лингвистической переменной R также состоит из пяти подмножеств R_1, \dots, R_5 которым соответствуют свои функции принадлежности $\mu_1(R), \dots, \mu_5(R)$.

Для простоты установим, что между лингвистическими переменными «Уровень защищенности» и «Уровень риска» существует взаимно однозначное соответствие (см. табл. 4).

Таблица 4

Соответствие лингвистических переменных

Состояние защищенности объекта	Уровень объектового риска
1	2
Необеспеченная	Наивысший
Низкая	Высокий
Недостаточная	Средний
Достаточная	Низкий
Приемлемая	Незначительный

Наличие взаимно однозначного соответствия между указанными лингвистическими переменными позволяет получить два связанных нечетких множества, характеризующих защищенность объекта и уровень объектового риска, что открывает возможность их совместного использования в системе интеллектуального анализа данных. В общем случае процедура может быть усложнена, поскольку множества показателей $\{X\}$ и $\{Y\}$ могут включать как количественные, так и качественные (нечеткие) показатели, а соответствие выходных лингвистических переменных может не являться взаимно однозначным.

При оценке влияния человеческого фактора на уровень риска важное значение имеет учет в формируемой модели риска факторов, определяющих надежность человека-оператора.

В самом общем виде факторы, определяющие надежность конкретного оператора, могут быть разделены на три основные группы [12,13]: квалификация, наличие практического опыта работы, индивидуальные психологические особенности. Анализ указанных групп факторов показывает, что использование методов НМ является достаточно эффективным способом оценки надежности оператора, поскольку некоторые показатели надежности человека-оператора могут быть формализованы только с помощью лингвистических переменных. Так, зависимость объектового риска от уровня квалификации оператора может быть представлена в виде соответствия лингвистических переменных и оценена из соответствия по табл. 5:

При решении конкретной задачи возможна детализация указанной входной переменной (рассмотрение основных составляющих уровня квалификации оператора, таких как базовое образование, знакомство с современным программным обеспечением, степень

тренированности и т.д.), обеспечивающая построение дерева целей и формирование соответствующей процедуры нечеткого вывода.

Наличие практического опыта работы оператора может быть оценено, например, как с помощью использования лингвистической переменной со значениями «Отсутствует», «Недостаточен», «Достаточен», так и с помощью временной шкалы, учитывающей стаж работы оператора (см. табл. 6).

Таблица 5

Соответствие лингвистических переменных

Значение переменной «Уровень квалификации оператора»	Значение переменной «Уровень риска»
<i>1</i>	<i>2</i>
Недостаточный	Высокий
Подходящий	Средний
Полностью соответствует	Низкий

Таблица 6

Характеристика стажа оператора

Значение переменной «Стаж оператора»	Временная шкала (годы)	Значение переменной «Уровень риска»
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Недостаточный	1 – 3 года	Высокий
Приемлемый	3 – 5 лет	Средний
Достаточный	Более 5 лет	Низкий

В зависимости от конкретной задачи (например, для КВО и СВО) временная шкала для характеристики стажа оператора может предусматривать большее число интервалов.

К индивидуальным психологическим особенностям оператора, как правило, относятся долговременная выносливость, выносливость к экстремному напряжению и перенапряжению, помехоустойчивость, спонтанная отвлекаемость, реакция на непредвиденные раздражители, переключаемость, устойчивость к действию факторов среды. Изучение этой группы факторов предполагает их формализацию, исследование корреляции между ними, а также взаимосвязь с характеристиками, определяющими общую эффективность выполнения работы. Поэтому использование нечетких подмножеств в этой области исследования представляется весьма перспективным.

Применение нечетких методов в оценке рисков при наличии террористических угроз

Развитие риск-ориентированного подхода тесно связано с использованием нечетких методов при моделировании анализируемых процессов и явлений, а также принятии управленческих решений в условиях наличия угроз террористического характера.

В самом общем виде уровень объектового риска R с учетом возможной террористической угрозы можно, например, определить, введя в рассмотрение понятие уязвимости объекта атаки. В этом случае R определяется следующим выражением:

$$R = P \cdot V \cdot U, \quad (1)$$

где P – вероятность (уровень) угрозы; V – уязвимость объекта; U – размер возможного ущерба. Компоненты формулы (1) могут быть представлены в виде многомерных векторов, включающих нечеткие оценки, к которым может быть применен тот или иной механизм нечеткого логического вывода [14].

На рис.5 приведен пример функций принадлежности переменной «Уровень угрозы», для построения которых применялся метод, основанный на статистической обработке мнений экспертов.

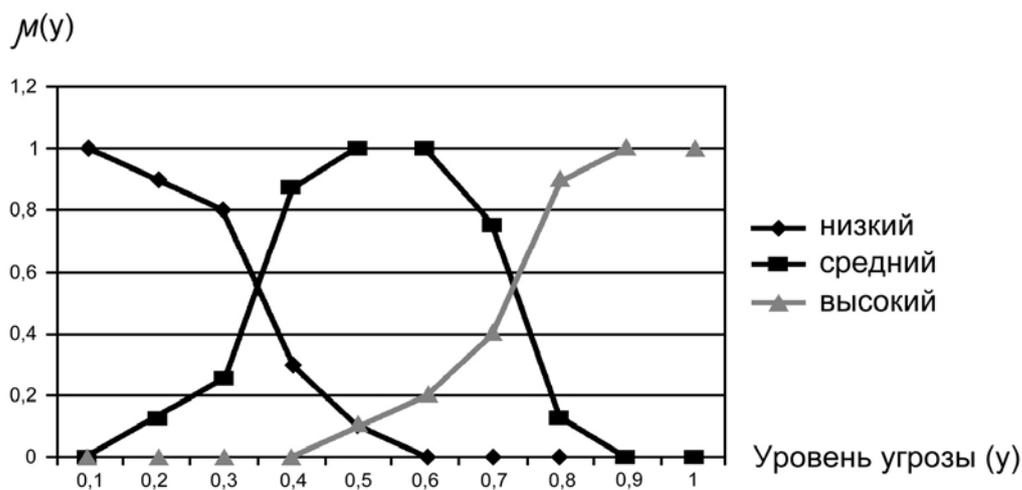


Рис. 5. График функций принадлежности переменной «Уровень угрозы»

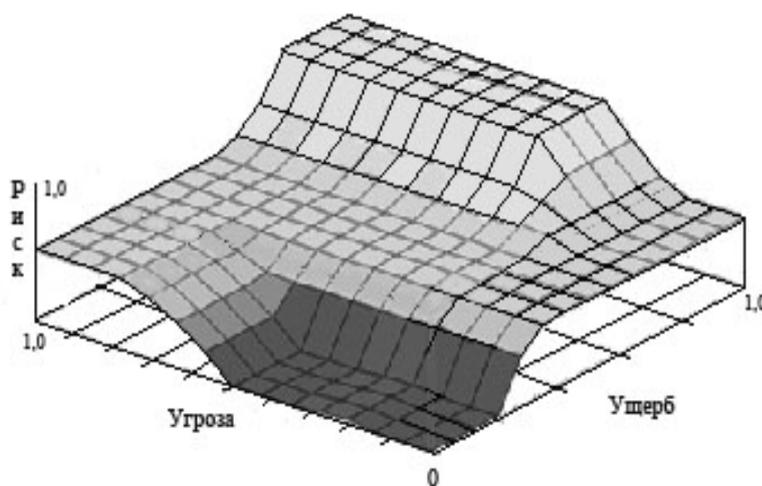


Рис. 6. Поверхность нечеткого вывода риска террористической атаки

На рис. 6 показан пример поверхности риска террористической атаки на объект при учете переменной «вероятность угрозы» и «уровень ущерба» (определяемый как отношение U/U_{max}) без рассмотрения переменной «уровень уязвимости». Из рисунка видно, что при низких значениях уровней угрозы и ущерба риск террористической атаки ничтожно мал, поэтому при данных значениях входных переменных уровень риска можно считать ничтожно малым.

Для оценки основных составляющих риска террористической угрозы по каждому из приведенных в формуле (1) факторов необходимо использование различных методов расчета с использованием соответствующих физико-математических и социально-экономических моделей. Характер используемых моделей определяется задачами и спецификой рассматриваемой сферы.

Хорошие результаты дает применение нечетких методов при моделировании социально-психологической составляющей террористического риска для формализованного учета социально-психологических аспектов поведения отдельных людей и различных социальных групп.

Моделирование социальной составляющей террористического риска существенно отличается от информационного описания и моделирования технических объектов и систем. Как правило, описание социальных явлений осуществляется посредством когнитивных моделей; обычно выделяют пять моделей социальных явлений: схоластическую, механистическую, статистическую, системную, диатропическую. При этом каждый социум может описываться тремя субстанциональными уровнями: вещественно-энергетическим, функционально-организационным, информационным. Первый представляется социальными общностями, второй – социальными институтами и организациями, третий – системами культуры. При моделировании на каждом из уровней выделяют полярные элементы – подсистемы с противоположными функциями: развития, адаптации к изменяющимся условиям (инструментальные) и сохранения, поддержания внутреннего равновесия системы (экспрессивные), а затем исследуют варианты их развития, оценивают сходство, различия и их возможные причины.

По мнению авторов работы [15], при анализе общих вопросов безопасности социально-экономических систем в условиях террористических угроз и моделировании соответствующих процессов, необходимо сформировать агрегированную когнитивную модель, состоящую из семи основных подсистем, характеризующих: общественные отношения; деятельность государства; позитивные факторы; социальное спокойствие; негативные факторы; социальную конфликтность; терроризм. Результатом является комплекс иерархических моделей (обычно более низким уровням иерархии соответствует более высокая степень детализации описания моделируемых подсистем) или горизонтальные цепочки, в каждом элементе которых степень детализации примерно одинакова.

Информационно когнитивная модель может быть представлена и математически описана в виде сложной иерархической структуры нечетких множеств. Это позволяет, определив начальные условия, ограничения, входные и выходные переменные, сформировать факторное пространство с соответствующими функциями принадлежности, базу продукционных правил, и на основе результатов выбранного механизма нечеткого вывода принять то или иное решение по управлению исследуемым процессом.

Выводы

Алгоритмы и программы, использующие методы и модели нечетких множеств, успешно применяются при решении различных задач, связанных с диагностированием и анализом безопасности технических объектов и систем. Для формализации процедуры формирования системы технической диагностики, основанной на применении НМ,

в статье выделены возможные основные этапы этой процедуры, которые в дальнейшем могут быть использованы при моделировании и составлении соответствующих методических рекомендаций.

При разработке программного обеспечения диагностических комплексов методы НМ могут использоваться в комбинированных методиках оценки динамического отклика этих систем на силовые воздействия. В частности, особенности и возможности анализа, обеспечиваемые применением методов нечеткого вывода, позволяют предложить их использование для кластеризации данных о состоянии технической системы в случае, когда основными анализируемыми параметрами являются частота и энергия соответствующих сигналов.

При моделировании риска и анализе безопасности технических объектов и систем использование НМ позволяет представить риск R , определяемый как сочетание величины события (либо его последствий) U и меры возможности его наступления P , в виде произведения нечетких множеств $\mu(U)$ и $\mu(P)$ с дальнейшей детализацией указанных множеств в зависимости от целей и задач исследования. С помощью НМ можно также оценить влияние на общий уровень риска таких характеристик системы, как надежность, защищенность, влияние человеческого фактора и пр.

Использование НМ является эффективным способом оценки надежности оператора, поскольку некоторые показатели надежности человека-оператора могут быть формализованы только с помощью нечетких методов. В статье приводятся возможные лингвистические переменные, определяющие надежность конкретного оператора (квалификация, наличие практического опыта работы, индивидуальные психологические особенности), которые при решении конкретных задач могут быть детализированы для формирования соответствующей процедуры нечеткого вывода.

Хорошие результаты дает применение НМ при моделировании социально-психологической составляющей террористического риска для формализованного учета социально-психологических аспектов поведения отдельных людей и различных социальных групп посредством когнитивных моделей, представленных и математически описанных в виде сложной иерархической структуры нечетких множеств.

Литература

1. Махутов Н.А., Ахметханов Р.С., Дубинин Е.Ф., Куксова В.И. Информационные аспекты безопасности в техногенной сфере // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2015. №6. С. 136-151.
2. Ахметханов Р.С., Дубинин Е.Ф., Куксова В.И. Метод кластеризации диагностических данных при вибродиагностике технических систем // Вестник научно-технического развития. - 2017. №5 (117). С. 3-16.
3. Ахметханов Р.С., Дубинин Е.Ф., Куксова В.И. Использование методов и моделей нечеткой логики в системах технической диагностики // Приводы и компоненты машин. - 2018. №1-2 (27). С.6-11.
4. Машошин О.Ф. Диагностика авиационной техники. Учебное пособие. - М.: МГТУ ГА. - 2007. - 141 с.
5. Ионов М.В., Краснянский М.Н. Автоматизированные системы технической диагностики химико-технологического оборудования // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И.Вернадского. - 2012. №2 (40). С. 66-73.
6. Романов Р.А., Севастьянов В.В., Дорофеев Д.А. Руководство по подготовке и внедрению этапов для перехода на обслуживание по фактическому техническому состоянию оборудования. 4.5. Этап №5. Оценка эффективности мероприятий [Электронный ресурс] // ООО «БАЛТЕХ» [сайт]. [2011]. URL: <http://www.baltech.ru/catalog.php?catalog=176> (дата обращения 21.03.2016).

7. Техническая диагностика. Термины и определения [Электронный ресурс]: ГОСТ 20911-89.- Введ.1991-01-01. Доступ с портала gostinform.ru (дата обращения 22.03.2016).
8. Лоскутов А.И., Петраков С.С., Шестопалова О.Л. Интеллектуальная информационно-диагностическая система оценивания технического состояния бортовой аппаратуры космических аппаратов при подготовке их к запуску // Информационно-управляющие системы. - 2014. №2. С.18-24.
9. Yang M., Shen Q. Fuzzy Diagnosis of Turbomachines // International Journal of Knowledge-Based and Intelligent Engineering Systems. - 2008. Vol. 12 . № 2. P. 137-146.
10. Ахметханов Р.С., Дубинин Е.Ф., Куксова В.И. Применение нечетких множеств при оценке и управлении рисками // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2015. №4. С.56-71.
11. Mahant, Narendra. Risk Assessment is Fuzzy Business – Fuzzy Logic Provides the Way to Assess Off-site Risk from Industrial Installations. Risk 2004. 2004. №. 206.
12. Абрамова Н.А, Ахметханов Р.С., Гаденин М.М., Махутов Н.А., Резников Д.О., Шойгу С.К. и др., Безопасность России. Человеческий фактор в проблемах безопасности.- М.: МГФ «Знание». - 2008, - 688 с.
13. Махутов Н.А., Ахметханов Р.С., Дубинин Е.Ф., Куксова В.И. Влияние человеческого фактора на безопасность технических систем. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. №3, 2014. - С. 80-98
14. Ахметханов Р.С., Дубинин Е.Ф., Куксова В.И. Применение нечетких методов в оценке рисков при наличии террористических угроз // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2018. №1. С.38-55.
15. Оценка кризисных ситуаций и террористических угроз национальной безопасности: в 2 кн. / под.ред. В.Л. Шульца; Центр исслед. проблем безопасности РАН. – М.: Наука. - 2012, кн. 1 – 414 с.; кн. 2 – 141 с.

Сведения об авторах

Ахметханов Расим Султанович., заведующий лабораторией «Перспектив развития безопасных машин и процессов» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова (ИМАШ РАН). E-mail: mibsts@mail.ru, тел. +7 (495) 623-57-55.

Дубинин Евгений Федорович, научный сотрудник лаборатории «Перспектив развития безопасных машин и процессов» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт машиноведения им. А.А.Благонравова (ИМАШ РАН).E-mail: mibsts@mail.ru, тел.+7(495) 623-57-55.

Куксова Варвара Игоревна, старший научный сотрудник лаборатории «Перспектив развития безопасных машин и процессов» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова (ИМАШ РАН). E-mail: mibsts@mail.ru., тел. +7 (495) 624-91-54.