

1565295

На правах рукописи

Румбешт Вадим Валерьевич

**ДИАГНОСТИКА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ
НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИИ ПОВРЕЖДЕНИЙ**

Специальности: 05.11.16 – Информационно-измерительные системы

05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция,
кондиционирование воздуха,
газоснабжение и освещение

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Румбешт В.В.

Москва - 1999

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ - д.т.н., профессор

Девятков Владимир Валентинович

НАУЧНЫЙ КОНСУЛЬТАНТ - к.т.н., доцент

Константинов Игорь Сергеевич

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ: - д.т.н., профессор

Пупырев Евгений Иванович,

- к.т.н., доцент

Тарасов Валерий Борисович

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

- Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова

Российской академии наук (ИПУ РАН)

12

в 14³⁰ часов на заседании
им. Н.Э. Баумана по адресу:

в библиотеке МГТУ

1565295

ту (в двух экземплярах),
адресу: 107005, г. Москва,
нного совета.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1565295

Румбешт В.В. Диагностика т

Иванов С.Р.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Важную роль в жизнедеятельности любого цивилизованного общества играют системы централизованного теплоснабжения, а существенной составляющей, обеспечивающей их надежную работу, является безаварийная работа тепловых сетей (ТС). Для обеспечения этой надежной работы важно вовремя обнаружить и локализовать место повреждения. От того, насколько эффективно решается эта задача, зависит величина ущерба, связанная с материальными затратами на устранение повреждения, с нарушением хода технологических процессов, с заболеваемостью людей и нарушением экологического состояния окружающей среды.

1565295
Над решением задачи оперативного обнаружения повреждений работало многие специалисты, как в нашей стране, так и за рубежом. В ходе этих работ сложилось мнение, что для ее успешного решения необходим метод, имеющий свойства оперативности, точности, массовости, реальности и системности. Однако существующие методы обнаружения повреждений в ТС не обладают всеми перечисленными свойствами в совокупности и оказываются недостаточно эффективными при их использовании для организации контроля и диагностирования реально функционирующих ТС.

Обслуживающие предприятия находят выход из сложившейся ситуации в привлечении к решению задачи обнаружения повреждений экспертов, опыт и знания которых способствуют эффективному ее решению. Однако при таком подходе результативность диагностики сильно зависит от конкретной личности. Для того чтобы повысить результативность и уменьшить влияние субъективных факторов, в диссертационной работе предлагается использовать современный подход, базирующийся на использовании так называемых онтологий, являющихся средством представления экспертных знаний.

Знания о повреждениях ТС и их конкретных проявлениях, выраженные средствами естественного языка, представляют собой содержательную модель предметной области - неформальную онтологию повреждений. Онтологический подход предполагает, что онтология и описание текущего состояния функционирования ТС являются исходными данными задачи обнаружения повреждений, которая формулируется в виде прямых или обратных компетентных вопросов. Решение задачи находится как результат выполнения следующих этапов: 1) исходные данные погружаются в качестве аксиом в среду какой-

им. Н. О. Баулина

Б-1565295

либо формальной системы; 2) то, о чем спрашивается в компетентных вопросах, оформляется в виде теорем формальной системы; 3) выполняется вывод или доказательство теорем.

Очевидно, что онтологический подход возможно реализовать средствами вычислительной техники в виде метода обнаружения повреждений, и использовать в комплексе с существующей системой оперативного сбора информации в ТС. Это придаст онтологическому методу обнаружения повреждений свойства оперативности и системности. Точность онтологического метода зависит от того, в каких терминах описана онтология. Тщательно подобрав термины, в которых описываются места повреждений, можно достичь любой необходимой нам точности. Массовость онтологического метода обнаружения повреждений достигается за счет того, что онтология создается для каждой конкретной ТС и содержит в себе знания эксперта об особенностях ее функционирования. Свойство реальности достигается за счет того, что знания эксперта, выраженные онтологией, как раз и относятся к уже эксплуатирующимся тепловым сетям с учетом их реальной технической оснащенности.

Цель диссертационной работы заключается в разработке, реализации и исследовании метода обнаружения повреждений в ТС, основанного на онтологическом подходе.

Задачи исследования.

1. Разработать математический аппарат, предоставляющий вычислительную среду для реализации онтологического подхода.
2. Разработать формализованный язык для описания онтологии повреждений.
3. Разработать средства перевода с языка онтологии в среду математического аппарата.
4. На основании разработанного математического аппарата, создать онтологический метод решения задачи диагностики.
5. Осуществить программную реализацию онтологического метода обнаружения повреждений.
6. Разработать методику и провести экспериментальные исследования процесса диагностики на модели конкретной ТС.

Методы исследований: теория нечетких множеств; теория нечетких реляционных баз данных; методы многомерной геометрии; теория гидравлических цепей.

Научная новизна.

Развит применительно к решению задачи обнаружения повреждений в ТС онтологический подход, основанный на аксиоматизации и формализации знаний эксперта в этой области. В рамках этого подхода выполнено следующее.

1. Разработан математический аппарат (варианты алгебры и исчисления для нечетких реляционных БД). В частности получены следующие новые результаты в области представления и обработки нечеткости данных:

а) предложена параметризованная операция над нечеткими отношениями, позволяющая единообразно представлять различные по смысловому содержанию нечеткие лингвистические модификаторы и модальности;

б) предложена нечеткая мера для оценки степени неопределенности нечетких отношений;

в) предложен вариант исчисления для нечетких реляционных баз данных (исчисление нечетких отношений), ориентированный на решение задач диагностики с помощью онтологического подхода;

г) исследованы свойства исчисления нечетких отношений и разработана стратегия вывода и доказательства приводящая к эффективному решению задач диагностики;

д) предложен и развит подход к лингвистическому моделированию модальных понятий естественного языка, выражающих субъективную оценку эксперта.

2. Разработан формализованный язык для записи онтологии повреждений и правила трансляции текста онтологии в нечеткие отношения.

3. Получено решение задачи лингвистической аппроксимации.

4. Разработан онтологический метод обнаружения повреждений в ТС.

Практическая значимость работы.

1. Выполнено проектирование диагностической советующей системы, реализующей онтологический метод обнаружения повреждений в ТС.

2. Предложена методика и проведены экспериментальные исследования процесса диагностики с использованием математической модели ТС.

3. Осуществлено внедрение диагностической советующей системы на Муниципальном унитарном предприятии Гортеплосети г. Белгорода, что позволило сократить величину материального ущерба от возникновения повреждений в целом на 3%.

Достоверность результатов диссертационных исследований обоснована математическими выводами и подтверждается экспериментами с математической моделью ТС и результатами опытно-промышленной эксплуатации диагностической советующей системы.

Реализация работы. Основные результаты работы использовались:

1) при выполнении хоздоговора № 36/96 от 1 ноября 1996г. - Автоматизация процессов контроля и прогнозирования функционирования оборудования тепловых пунктов, заказчик: МУП Гортеплосети, г. Белгород, исполнитель: Белгородская технологическая академия строительных материалов (БелГТАСМ);

2) при выполнении НИР Разработка теоретических основ и методики создания интегрированных АСУ в производстве строительных материалов и конструкций (Отчет о НИР, № госрегистрации 01.95.0000245, г. Белгород, БелГТАСМ);

3) в учебном процессе на кафедре Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем (ПОВТиАС) БелГТАСМ в курсах дисциплин Технология разработки программного обеспечения и Системы искусственного интеллекта, а также при проведении курсового и дипломного проектирования.

Основные положения, выносимые на защиту:

1) онтологический подход к решению задачи обнаружения повреждений в ТС;

2) математический аппарат для реализации онтологического подхода;

3) формализованный язык для описания онтологии повреждений и правила трансляции конструкций языка в нечеткие отношения;

4) онтологический метод обнаружения повреждений в ТС;

5) структура диагностической советующей системы;

6) методика и результаты экспериментальных исследований процесса диагностики, осуществляемого диагностической советующей системой для конкретной ТС.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научно-технических конференциях

• Научно-техническая конференция, посвященная 165-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана (Москва, 1995).

• Математическое моделирование и информационные технологии (Белгород, 1997).

Публикации. Основные положения изложены в четырех печатных работах.

• **Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, изложенных на 146 страницах машинописного текста, списка используемой литературы (123 наименования) - на 11 страницах и пяти приложений на 57 страницах. В работе содержится 34 рисунка и 12 таблиц на 30 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы работы, формулируется основная цель, новизна и практическая значимость. Указывается, что выносятся на защиту.

В первой главе рассмотрены ТС как объект контроля и диагностирования, выделены их особенности и детально рассмотрены задачи их эксплуатации; проведен анализ существующих методов обнаружения повреждений в ТС; предложено применение онтологического подхода к решению задачи обнаружения повреждений в ТС; сформулированы задачи исследования в рамках онтологического подхода.

Во второй главе рассмотрен математический аппарат для реализации онтологического подхода: нечеткие отношения (НО); алгебра нечетких отношений; исчисление нечетких отношений (ИНО).

Понятие НО заимствованно из теории нечетких реляционных баз данных. В нашем случае, n -арное НО есть пара, состоящая из списка атрибутов (схемы НО) и не обязательно конечного нечеткого подмножества универсума, представляющего собой декартово произведение множеств допустимых значений n атрибутов.

Пусть имеется множество атрибутов, состоящее из n элементов. Алгебра нечетких отношений есть пара $\langle \Omega, \Delta \rangle$, где Ω - носитель алгебры, Δ - множество операций.

Множество Ω включает все возможные НО - с любой арностью от унарных до n -арных, с любой возможной схемой, в соответствии с арностью, с любым нечетким множеством, в соответствии со схемой.

Множество Δ содержит следующие частичные операции на Ω : теоретико-множественные операции дополнения, объединения, пересечения и следования: $\{\neg, \cup, \cap, \Rightarrow\}$; операции цилиндрического продолжения: $\{C_i^{(i)} \mid i \in N, I^{(i)} \in J_i^{(N)}\}$; операции проекции: $\{Proj_i^{(i)} \mid i \in N, I^{(i)} \in J_i^{(N)}\}$; операции линейного преобразования: $\{\Lambda_{(k,b)} \mid k \geq 0, (-k) \leq b \leq 1\}$.

Здесь и далее символ $I^{(i)}$ обозначает i элементное подмножество множества индексов атрибутов N ; $J_i^{(N)}$ - множество всех i элементных подмножеств N ; $Sh(I^{(i)})$ - множество атрибутов, индексы которых принадлежат $I^{(i)}$ (схема НО); $R[Sh(I^{(i)})]$ - НО со схемой $Sh(I^{(i)})$, где R - нечеткое подмножество в $\text{dom}(Sh(I^{(i)}))$ - декартовом произведении доменов тех атрибутов, которые входят в $Sh(I^{(i)})$; $\Omega(I^{(i)})$ - множество всех НО со схемой $Sh(I^{(i)})$.

Теоретико-множественные операции, операции цилиндрического продолжения и проекции заимствованы из нечеткой реляционной алгебры и описаны в многочисленной литературе. Отметим только, что операция следования основана на импликации Геделя.

В главе 2 предложена оригинальная операция линейного преобразования нечетких отношений, которая определена для: $(\forall i \in N) (\forall I^{(i)} \in J_i^{(N)}) (\forall \Omega(I^{(i)}) \subseteq \Omega)$ как $\Lambda_{(k,b)}: \Omega(I^{(i)}) \rightarrow \Omega(I^{(i)})$, где $\forall R[Sh(I^{(i)})] \in \Omega(I^{(i)}) \Lambda_{(k,b)} R[Sh(I^{(i)})] = \langle Sh(I^{(i)}), R' \rangle$; R' - нечеткое множество в $\text{dom}(Sh(I^{(i)}))$ с функцией принадлежности:

$$\forall u \in \text{dom}(Sh(I^{(i)})), \mu_{R'}(u) = \max[0, \min(1, k \cdot \mu_R(u) + b)].$$

Операция $\Lambda_{(k,b)}$ является унарной параметризованной операцией и принимает в качестве аргумента НО $R[Sh(I^{(i)})]$ с заданной схемой $Sh(I^{(i)})$ и возвращающей в качестве результата, в общем случае, другое НО $R'[Sh(I^{(i)})]$ с той же самой схемой. Преобразование, выполняемое этой операцией, зависит от соотношения параметров k и b . Причем результат операции зависит от соотношения параметров не только количественно, но и качественно. Это позволяет получить большую гибкость в манипулировании НО.

Показано, что операция линейного преобразования покрывает классы операций концентрирования, растяжения и контрастной интенсификации, и, даже, оказывается "шире". В частности, операции концентрирования, растяжения и контрастной интенсификации могут быть определены через операцию

линейного преобразования следующим образом: $CON = \Lambda_{(2,-1)}$; $DIL = \Lambda_{(2,0)}$; $INT = \Lambda_{(4,-2,5)}$.

Операция линейного преобразования может применяться при моделировании лингвистических модификаторов "очень", "примерно" и "более-менее", а также некоторых модальных понятий.

Исчисление нечетких отношений определяется следующим образом. Во множестве всех НО выделено подмножество нормальных НО - язык исчисления. В языке выделено подмножество теорем исчисления и явно определено правило, позволяющее определить, является ли нечеткое отношение теоремой. В основу этого правила положено предположение о существовании некоторого нормального и абсолютно сепарабельного НО, которое исчерпывающим образом определяет множество теорем. Но, поскольку это исчисление образующее НО может оказаться неизвестным, введены следующие четыре правила вывода.

1. **Правило следования.** Если известно нечеткое отношение $R[Sh(I^0)]$ и известно, что $R'[Sh(I^0)] \supseteq R[Sh(I^0)]$, то из этих условий можно вывести нечеткое отношение $R'[Sh(I^0)]$.

2. **Правило обобщения.** Если известно нечеткое отношение $R[Sh(I^0)]$, то из него можно вывести нечеткое отношение $R'[Sh(K^0)]$ такое, что $R'[Sh(K^0)] = C_{K^0 \Lambda I^0} R[Sh(I^0)]$, где $K^0 \supset I^0$.

3. **Правило проекции.** Если известно нечеткое отношение $R[Sh(I^0)]$, то из него можно вывести нечеткое отношение $R'[Sh(K^0)]$ такое, что $R'[Sh(K^0)] = Proj_{K^0} R[Sh(I^0)]$, где $K^0 \subset I^0$.

4. **Правило пересечения.** Если известны два нечетких отношения $R[Sh(I^0)]$ и $P[Sh(I^0)]$, то из них можно вывести третье нечеткое отношение $Q[Sh(I^0)]$ такое, что

$$Q[Sh(I^0)] = R[Sh(I^0)] \cap P[Sh(I^0)].$$

Доказано, что применение правил вывода к НО, о которых априорно известно, что они являются теоремами, позволяет порождать только теоремы исчисления.

Дана содержательная интерпретация теорем ИНО, при которой теоремы рассматриваются как модели объекта контроля и диагностирования.

Для оценки степени неопределенности теорем ИНО в главе 2 предложен частный случай меры неточности. Эта нечеткая мера определяется как функция $G: \mathcal{Z} \rightarrow [0,1]$, где $\mathcal{Z}$ - множество всех нормальных нечетких подмножеств всех

возможных декартовых произведений доменов. Функция G имеет свойства $G1$ - $G5$, первые три из которых совпадают с аксиомами обычной меры неточности, а остальные выражают специфические особенности ИО как объектов оценки.

Свойство $G1$ выражает тот факт, что степень неопределенности точной модели равна 0, а любой другой модели - больше 0. Свойство $G2$ постулирует, что в ситуации полной неопределенности мера максимальна и равна 1. Свойство $G3$ означает, что из двух моделей, одна из которых является частным случаем другой, большую степень неопределенности имеет более общая модель. Свойство $G4$ означает, что при расширении множества признаков объекта некоторым количеством признаков, о значениях которых ничего не известно, степень неопределенности его модели не изменится, так как мы не получаем новой информации. Свойство $G5$ означает, что при абстрагировании от некоторых признаков объекта возможна потеря информации, которая приводит к увеличению степени неопределенности суженной модели.

В главе 2 введено понятие ядра ИНО и разработан алгоритм его вывода (рис. 1). С помощью понятия ядра ИНО были осуществлены следующие исследования.

1. Доказано, что из ядра могут быть выведены те, и только те теоремы, которые выводятся из множества аксиом.

2. Разработан алгоритм проверки согласованности множества аксиом исчисления нечетких отношений (рис. 2).

3. Сформулировано условие полноты ИНО. Показано, что полнота зависит от множества аксиом и, в общем случае, исчисление не полно. Определены "границы выводимости" - теоремы ИНО, имеющие минимальную степень неопределенности при заданном множестве аксиом. Доказано, что к таким теоремам относятся ядро ИНО и все его проекции.

4. Рассмотрено применение ядра ИНО для решения задач доказательства и вывода, что в рамках онтологического подхода дает эффективную стратегию и позволяет ответить на прямые и обратные компетентные вопросы соответственно.

В третьей главе рассмотрена возможность формализации неформальной онтологии повреждений, которая появляется при выделении в тексте онтологии лингвистических переменных (ЛП), модальностей и логических связок. Это

позволяет перейти к логико-лингвистической модели, которая способна учесть присущую естественному языку лингвистическую неопределенность.

В данной главе конкретизированы синтаксическое и семантическое правила ЛП. Это позволило выработать для различных ЛП, применяемых в логико-лингвистических моделях повреждений единообразные синтаксические и семантические правила для построения вербальных значений и их смыслового содержания.

Были рассмотрены средства представления модальностей, такие, как модальные логики и модальные понятия, основанные на мерах возможности и необходимости. Анализ этих средств показал, что модальные логики не способны учитывать нечеткость, а модальные понятия, основанные на мерах возможности и необходимости, хотя и представляют собой обобщение на нечеткий случай алетических модальностей, но являются скорее оценками, чем полноценными модальными операторами.

В главе 3 предложен и развит подход, при котором модальные понятия рассматриваются как вербальные значения лингвистической переменной $\langle \text{уверенность}, \text{Mod}, [0,1], G, M \rangle$, где Mod базовое терм-множество ЛП "уверенность"; G и M - синтаксическое и семантическое правила.

Базовое терм-множество содержит символы модальностей, учитывающие как различные виды модальных понятий, так и их возможные градации, что позволило определить 400 модальных понятий. Структурно символ модальности представляет собой префикс, определяющий вид модального понятия, и следующее за ним натуральное число, выражающее градацию. Рассматривались алетические модальности: "невозможность", "случайность", "возможность" и "необходимость". При этом были приняты следующие соглашения: указанным видам модальных понятий соответствуют префиксы {Imp_, Prob_, Poss_, Nec_}; число, следующее за префиксом не должно превосходить сотни. Построенные таким образом символы модальности читаются так: Imp_N - "с N процентной невозможностью"; Prob_N - "с N процентной случайностью"; Poss_N - "с N процентной возможностью"; Nec_N - "с N процентной необходимостью", где N - выраженное в процентах значение градации.

С помощью семантического правила лингвистической переменной "уверенность" в главе 3 было определено смысловое содержание для любого допустимого модального понятия. При этом применялась методика построения трапецевидных функций принадлежности.

Получены следующие результаты, записанные в параметрическом виде:

$$M(\text{Imp_N}) = (0, 0, 0, 1 - 0.01 \cdot N); \quad M(\text{Prob_N}) = (0, 0, 1 - 0.01 \cdot N, 1);$$

$$M(\text{Poss_N}) = (0, 0.01 \cdot N, 1, 1); \quad M(\text{Nec_N}) = (0.01 \cdot N, 1, 1, 1),$$

где $N = 1, 2, \dots, 100$.

Был выполнен анализ модальной семантики, определенной семантическим правилом ЛП "уверенность". Для этого введено отображение S из множества всех возможных модальных суждений на множество НО, называемое семантической трансляцией. Было установлено, что смысловое содержание модальных понятий находит свое выражение в операции линейного преобразования с соответствующими параметрами, или в композиции дополнения и операции линейного преобразования.

Анализ показал, что модальная семантика, определенная семантическим правилом ЛП "уверенность" согласуется с обычной модальной семантикой, но при этом учтена нечеткость и возможные градации модальностей.

В четвертой главе рассмотрен онтологический метод обнаружения повреждений (рис. 3). Решение задачи обнаружения повреждений в ТС онтологическим методом заключается в описании онтологии повреждений, состояния функционирования ТС и компетентных вопросов на формализованном языке; семантической трансляции этого описания в нечеткие отношения, которые рассматриваются как аксиомы (результаты семантической трансляции онтологии и описания состояния функционирования ТС) и теоремы ИНО; в доказательстве или выводе теорем с последующей лингвистической аппроксимацией результатов доказательства или вывода формулами формализованного языка.

Был разработан формализованный язык L для описания онтологии повреждений, состояния функционирования ТС и компетентных вопросов.

Алфавит A_L языка L составляют следующие группы символов: 1) имена ЛП: $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$; 2) термы ЛП: $\theta = \bigcup_{i=1}^n \theta(X_i)$; 3) модальности: $\text{Mod} = \{m\}$, где m - символ модальности; 4) логические символы: $\{\neg, \&, \vee, ->\}$; 5) связка "is" и скобки "(", ")". Здесь символы, принадлежащие множествам $\theta(X_i)$, $i=1 \dots n$ и Mod , порождаются синтаксическими правилами ЛП X_i и ЛП "уверенность".

Любое правильно построенное выражение (формула) языка L представляет собой цепочку символов алфавита A_L , удовлетворяющую следующей БНФ.

атом::= Y is T

формула::= <атом> | ¬<формула> | (<формула> & <формула>) |

(<формула> ∨ <формула>) | (<формула> → <формула>) | m<формула>

где $Y \in X$ - имя ЛП; $T \in \theta(Y)$ - терм этой ЛП; $m \in \text{Mod}$ - модальность.

Компетентные вопросы рассматриваются как цепочка символов алфавита $A_L \cup \{ "?", " ", " \}$, удовлетворяющая следующей БНФ.

список_имен::= Y {, Y}

прямой_вопрос::= ? <формула>

обратный_вопрос::= ? <список_имен>

компетентный_вопрос::= <прямой_вопрос> | <обратный_вопрос>

где $Y \in X$ - имя лингвистической переменной; выражение, взятое в фигурные скобки, означает свое повторение произвольное число раз (включая нуль раз); <формула> - формула формализованного языка L .

Детально разработано правило семантической трансляции, позволяющее погрузить любое описание на формализованном языке в среду ИНО. Пусть p и q - формулы языка L ; S - отображение из языка L на множество всех НО; $S(p) = P[\text{Sh}(I^{\text{ш}})]$, $S(q) = Q[\text{Sh}(K^{\text{ш}})]$ - образы формул p и q . Тогда правило семантической трансляции определяется по индукции с помощью следующих частных правил.

$$S(X \text{ is } T) = \langle \{X\}, M(T) \rangle.$$

$$S(\neg p) = \neg P[\text{Sh}(I^{\text{ш}})].$$

$$S(\text{Poss}_N p) = \Lambda_{(k,b)} P[\text{Sh}(I^{\text{ш}})], \text{ где } k=1/n; b=0; n=N/100.$$

$$S(\text{Nec}_N p) = \Lambda_{(k,b)} P[\text{Sh}(I^{\text{ш}})], \text{ где } k=1/(1-n); b=-n/(1-n); n=N/100.$$

$$S(\text{Imp}_N p) = \neg \Lambda_{(k,b)} P[\text{Sh}(I^{\text{ш}})], \text{ где } k=1/(1-n); b=0; n=N/100.$$

$$S(\text{Prob}_N p) = \neg \Lambda_{(k,b)} P[\text{Sh}(I^{\text{ш}})], \text{ где } k=1/n; b=-(1-n)/n; n=N/100.$$

$$S(p \& q) = C_{K^{\text{ш}}} P[\text{Sh}(I^{\text{ш}})] \cap C_{I^{\text{ш}}} Q[\text{Sh}(K^{\text{ш}})].$$

$$S(p \vee q) = C_{K^{\text{ш}}} P[\text{Sh}(I^{\text{ш}})] \cup C_{I^{\text{ш}}} Q[\text{Sh}(K^{\text{ш}})].$$

$$S(p \rightarrow q) = \underset{g}{C_{K^{\text{ш}}}} P[\text{Sh}(I^{\text{ш}})] \Rightarrow C_{I^{\text{ш}}} Q[\text{Sh}(K^{\text{ш}})].$$

В качестве ответа на прямой компетентный вопрос в главе 4 предлагается давать модальное понятие, выражающее уверенность в истинности того, о

чем говорится в прямом вопросе. В качестве ответа на обратный компетентный вопрос предлагается давать формулу формализованного языка близкую по смысловому содержанию к результатам вывода. Для нахождения ответов в этих формах осуществлена формальная постановка задачи лингвистической аппроксимации в терминах предложенного формализованного языка, семантической трансляции и нечеткой меры G . Был предложен и реализован подход к нахождению ее приближенного решения.

Все это позволило осуществить реализацию онтологического подхода в виде соответствующего метода.

В пятой главе выполнено проектирование диагностической советующей системы (ДСС); предложена методика экспериментального исследования процесса диагностики, осуществляемого ДСС; проведены экспериментальные исследования и проанализированы их результаты.

Результаты экспериментальных исследований показали, что:

- 1) онтологический метод и его реализация в виде ДСС являются работоспособными;
- 2) ответы на прямые и обратные компетентные вопросы, выдаваемые ДСС, согласуются с априорной информацией о повреждениях и не противоречат соображениям здравого смысла;
- 3) ДСС хорошо классифицирует аварийные и безаварийные режимы функционирования ТС;
- 4) ответы ДСС громоздки, трудны в восприятии и требуют дополнительной интерпретации. Этот результат выявляет серьезный недостаток онтологического метода, который нельзя устранить из-за невозможности выразить бесконечное многообразие смыслов конечным числом слов и ограниченным числом структур фраз.

В заключении приведены основные выводы и результаты работы.

В приложениях приведены: определения операций над нечеткими отношениями; доказательства утверждений; аппроксимация степеней совместимости нечетких множеств модальными понятиями; пример вывода в исчислении нечетких отношений; математическая модель ТС.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертационной работе разработан, реализован и исследован онтологический метод обнаружения повреждений в тепловых сетях.

Основные результаты работы.

1. Развита применительно к решению задачи обнаружения повреждений в ТС онтологический подход.

2. Разработан математический аппарат, в среду которого погружается исходное описание задачи обнаружения повреждений. Этот аппарат представляет собой вариант нечеткой реляционной алгебры и исчисления, и предоставляет формальные объекты - нечеткие отношения, которые используются для представления семантической информации, содержащейся в предложениях онтологии; операции над нечеткими отношениями, которые используются для представления лингвистических модификаторов, связей и модальностей, встречающихся в тексте онтологии; правила вывода. Предложенное исчисление нечетких отношений позволяет интерпретировать свои теоремы как модели объекта контроля и диагностирования, имеющие различные степени неопределенности. Аксиомы исчисления позволяют задавать априорную информацию об объекте, а четыре правила вывода - выводить или доказывать нечеткие отношения, являющиеся моделями объекта контроля и диагностирования.

3. Разработан формализованный язык описания онтологий. Особенностью языка является наличие лингвистических переменных и модальностей, что позволяет формально выразить присущую естественным языкам лингвистическую неопределенность типа нечеткость и недоверность.

4. Разработана процедура семантической трансляции, позволяющее погрузить любое описание на формализованном языке в среду исчисления нечетких отношений.

5. Разработан метод обнаружения повреждений в ТС, основанный на онтологическом подходе. Решение задачи обнаружения повреждений в ТС онтологическим методом заключается в описании онтологии повреждений, состояния функционирования ТС и компетентных вопросов на формализованном языке; семантической трансляции этого описания в нечеткие отношения, которые рассматриваются как аксиомы (результаты семантической трансляции онтологии и описания состояния функционирования ТС) и теоремы ИНО; в доказательстве или выводе теорем. В качестве ответа на прямой компетентный

вопрос предлагается давать модальное понятие, выражающее уверенность в истинности того, о чем говорится в прямом вопросе. В качестве ответа на обратный компетентный вопрос предлагается давать формулу формализованного языка близкую по смысловому содержанию к результатам вывода.

6. Выполнено проектирование диагностической советующей системы, реализующей онтологический метод обнаружения повреждений в ТС.

7. Проведены экспериментальные исследования процесса диагностики с использованием математической модели ТС. Результаты исследований подтвердили работоспособность онтологического метода.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах.

1. Румбешт В.В. Задачи предупреждения и оперативного устранения повреждений в тепловых сетях: подход основанный на знаниях // Математическое моделирование и информационные технологии: Сборник материалов международной конференции. - Белгород, 1997. - С.108-113.

2. Румбешт В.В. Методология проектирования нечетких систем, основанная на алгоритмическом подходе // Тезисы докладов научно-технической конференции, посвященной 165-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана, В 2 ч. – М., 1995. - Ч. 2. - С.59-60.

3. Девятков В.В., Румбешт В.В. Динамическое прогнозирование и распознавание ситуаций на основе аппарата нечеткой логики и конечно-автоматной модели представления временных последовательностей // Вестник МГТУ. Приборостроение. - 1995. - №1. - С.74-83.

4. Система оперативного контроля распределенных объектов / О.О. Баутин, А.В. Ильвовский, В.В. Румбешт и др. // Приборы и системы управления. - 1994. - № 11. - С.46-49.

Дано:

α - множество аксиом исчисления нечетких отношений

Пусть $Я[Sh(N)] := \text{dom}(Sh(N))$ - универсальное нечеткое отношение, схема которого содержит все возможные атрибуты;	
Для всех аксиом, принадлежащих α	
Выбрать очередную аксиому; Пусть выбрана $\alpha[Sh(I^{(i)})]$;	
Применяя правило обобщения получить следствие: $\alpha'[Sh(N)] := C_{-1}^{(i)} \alpha[Sh(I^{(i)})]$;	
Применяя правило пересечения получить следствие: $Я[Sh(N)] := Я[Sh(N)] \cap \alpha'[Sh(N)]$;	
$Я[Sh(N)]$ - искомое ядро исчисления нечетких отношений.	

Рис. 1. Алгоритм порождения ядра ИНО с множеством аксиом α

Дано: α - множество аксиом ИНО.

Вывести ядро ИНО с множеством аксиом α ; Пусть $Я[Sh(N)]$ - ядро ИНО;	
$Я[Sh(N)]$ - нормальное нечеткое отношение?	
да	нет
Множество аксиом α согласованно.	Множество аксиом α противоречиво.

Рис. 2. Алгоритм проверки согласованности множества аксиом ИНО



Рис. 3. Структурная схема онтологического метода

Подписано в печать "11" ноября 1999г.

Объем 1 п.л. Тир. 100 экз. Зак. 505

Типография БелГТАСМ Россия, Белгород,
ул. Костюкова, 46