

14 ОСНОВЫ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Теория нечетких множеств, основные идеи которой были предложены американским математиком Лотфи Заде (Lotfi Zadeh) более 35 лет назад, позволяет описывать качественные, неточные понятия и наши знания об окружающем мире, а также оперировать этими знаниями с целью получения новой информации. Основанные на этой теории методы построения информационных моделей существенно расширяют традиционные области применения компьютеров и образуют самостоятельное направление научно-прикладных исследований, которое получило специальное название – нечеткое моделирование.

В последнее время нечеткое моделирование является одной из наиболее активных и перспективных направлений прикладных исследований в области управления и принятия решений. Нечеткое моделирование оказывается особенно полезным, когда в описании технических систем и бизнес-процессов присутствует неопределенность, которая затрудняет или даже исключает применение точных количественных методов и подходов.

В области управления техническими системами нечеткое моделирование позволяет получать более адекватные результаты по сравнению с результатами, которые основываются на использовании традиционных аналитических моделей и алгоритмов управления. Диапазон применения нечетких методов с каждым годом расширяется, охватывая такие области, как проектирование промышленных роботов и бытовых электроприборов, управление доменными печами и движением поездов метро, автоматическое распознавание речи и изображений.

Нечеткая логика, которая служит основой для реализации методов нечеткого управления, более естественно описывает характер человеческого мышления и ход его рассуждений, чем традиционные формально-логические

системы. Именно поэтому изучение и использование математических средств для представления нечеткой исходной информации позволяет строить модели, которые наиболее адекватно отражают различные аспекты неопределенности, постоянно присутствующей в окружающей нас реальности.

14.1 История развития теории и приложений нечетких множеств и нечеткой логики

Первой публикацией по теории нечетких множеств принято считать работу профессора из Университета Беркли (шт. Калифорния, США) Лотфи Заде, которая относится к 1965 г. Понятие нечеткого множества в смысле Л. Заде положило начало новому импульсу в области математических и прикладных исследований, в рамках которых за короткий срок были предложены нечеткие обобщения всех основных теоретико-множественных и формально-логических понятий.

Наиболее значимыми из работ в этой области следует отметить публикации Л. Заде, Д. Дюбуа (D. Dubois) и А. Прада (H. Prade) по теории нечеткой меры и меры возможности, М.Сугено (M. Sugeno) по нечеткому выводу и нечеткому интегралу, Дж. Беждска (J. Bezdek) по нечеткой кластеризации и распознаванию образов, Р. Ягера (R. R. Yager) по нечеткой логике.

Однако, несмотря на большое количество теоретических работ, прикладное значение нечетких моделей долгое время ставилось под сомнение. Даже сегодня, когда имеется информация о многих десятках успешных применений нечетких моделей, некоторые ученые все еще скептически относятся к возможностям нечеткого моделирования.

14.1.1 Первые промышленные приложения в Европе

Первые реализации нечетких моделей в промышленности относятся к середине 1970-х гг. Именно в этот период в Великобритании Эбрахим Мамдани

(Ebrahim Mamdani) использовал нечеткую логику для управления парогенератором. Решение этой задачи обычными методами было сопряжено с целым рядом трудностей вычислительного характера. Предложенный Э. Мамдани алгоритм, основанный на нечетком логическом выводе, позволил избежать чрезмерно большого объема вычислений и был по достоинству оценен специалистами. В этот же период нечеткие модели были применены при управлении печью для обжига цемента. Тем не менее, эти немногие приложения, использовавшие нечеткую логику, по существу скрывали этот факт, поскольку в них нечеткая логика называлась "многозначной логикой" или "непрерывной логикой".

В начале 1980-х гг. нечеткая логика и теория нечетких множеств получили свое дальнейшее развитие в целом ряде программных средств поддержки принятия решений и в экспертных системах анализа данных. Хотя многие из этих программных инструментариев так и не вышли за пределы научно-исследовательских лабораторий и институтов, в ходе их разработки были получены важные эмпирические результаты по моделированию с помощью нечеткой логики процессов человеческих рассуждений и принятия решений.

14.1.2 Япония – лидер в области промышленных приложений

После первых промышленных приложений в Европе Япония за короткий период времени вышла на первое место в мире по количеству устройств и механизмов, в которых были реализованы нечеткие технологии. Появление микропроцессоров и микроконтроллеров инициировало резкое увеличение бытовых приборов и промышленных установок с алгоритмами управления на основе нечеткой логики. В настоящее время в Японии запатентовано более чем 3000 соответствующих устройств в этой области. Слово "фаззи" (fuzzy) стало символом популярности и коммерческого успеха новых промышленных изделий в этой стране.

Имеется целый ряд обстоятельств, которые объясняют причины столь впечатляющей популярности нечеткой логики в Японии. Во-первых, нечеткая

логика поддерживает разработку быстрого прототипа технического устройства с последующим усложнением его функциональности, что характерно для стиля работы японских инженеров. Во-вторых, нечеткая логическая модель более проста для понимания, чем аналогичная математическая модель на основе дифференциальных или разностных уравнений. В-третьих, нечеткие модели оказываются более простыми для своей аппаратной реализации по сравнению с классическими алгоритмами управления техническими системами.

В результате этого нечеткие технологии нашли свое применение в самых различных технических устройствах и бытовых приборах, выпускаемых японскими фирмами. Фотоаппараты и видеокамеры используют нечеткую логику, чтобы реализовать опыт фотографа в управлении этими устройствами. Например, компании Fisher и Sanyo производят нечеткие логические видеокамеры, в которых применяется нечеткая фокусировка и стабилизация изображения.

Компания Matsushita выпускает стиральную машину, в которой используются датчики и микропроцессоры с нечеткими алгоритмами управления. Датчики определяют цвет и вид одежды, количество твердых частиц, степень загрязнения, а нечеткий микропроцессор выбирает наиболее подходящую программу стирки из 600 доступных комбинаций температуры воды, количества стирального порошка и времени производственного цикла быстрого или медленного вращения и промывки.

Компания Mitsubishi объявила о выпуске первого в мире автомобиля, где управление каждой системой основано на нечеткой логике. При этом Mitsubishi также производит "нечеткий" кондиционер, который управляет изменением температуры и влажности в помещении согласно человеческому восприятию степени комфорта. Компания Nissan разработала "нечеткую" автоматическую трансмиссию и "нечеткую" противоскользкую тормозную систему и реализовала их в одном из своих последних автомобилей повышенной комфортности.

Японский город Сендай имеет метрополитен с 16 станциями, который управляется нечетким компьютером. При этом нечеткий компьютер регулирует

процессы ускорения и торможения поездов метро, делая на 70% меньше ошибок, чем соответствующий человек-оператор.

На фондовом рынке Токио используется несколько трейдерских систем, основанных на нечеткой логике, которые превосходят по скоростным и динамическим характеристикам традиционные информационные системы. В Японии имеются также "нечеткие" системы управления уличным движением, "нечеткие" тостеры, "нечеткие" рисовые печи, "нечеткие" пылесосы и многие другие бытовые и технические устройства.

14.1.3 Европа и США преследуют Японию

Только в начале 1990-х гг. ведущие европейские корпорации поняли, что они практически уступили Японии одну из ключевых современных технологий. С этого времени были предприняты серьезные усилия наверстать упущенные возможности в этой области. Именно в этот период в Европе появилось более 200 видов промышленных изделий и устройств, в которых были реализованы нечеткие модели. Это были, главным образом, бытовые приборы, которые характеризовались более эффективной экономией электроэнергии и водопотребления без дополнительного увеличения цены изделия. Другие промышленные приложения относились к автоматизации производства, включая управление химическими и биологическими процессами, управление станками и сборочными конвейерами, а также различные интеллектуальные датчики.

Поскольку этим приложениям сопутствовал коммерческий успех, в настоящее время нечеткая логика рассматривается как стандартный метод проектирования и получила широкое признание среди инженеров и проектировщиков. К нечетким технологиям проявляют все больший интерес компании из США, особенно те из них, кто испытывает жесткую конкуренцию со стороны фирм из Азии и Европы. Тем не менее, для американских корпораций остались открытыми целые сегменты потребительского рынка.

Например, нечеткая логика оказалась превосходным инструментом для

разработки систем управления внутренними компонентами персональных компьютеров, а также алгоритмов компрессии речи и видео. Так, например, в системной плате MSI K7T Pro 266 Master-R используется система интеллектуального разгона микропроцессора Fuzzy Logic™3, которая автоматически выбирает частоту системной шины и процессора в зависимости от температуры и рабочей нагрузки базовых компонентов персонального компьютера.

Известны приложения из области теле- и радиосвязи, направленные на устранение влияния отраженных ТВ-сигналов и радиосигналов. Предложены и реализованы программные алгоритмы для сетевой маршрутизации и распознавания речи на основе нечеткой логики. Следует учитывать и другое важное обстоятельство – в настоящее время в США развернуты серьезные исследования по нейро-сетевым технологиям. Все эксперты соглашаются с тем, что комбинация нейронных сетей и нечеткой логики будет следующим серьезным шагом в дальнейшем прогрессе высоких технологий.

Сегодня количество технических изделий и программных средств, включая новые патенты, продолжает быстро расти. Поэтому, чтобы остаться конкурентоспособными, многие американские компании начинают свои собственные внутренние нечеткие проекты. Хотя информации о подобных проектах недостаточно, можно отметить ассигнования Министерства обороны США на исследования в области построения систем управления вооружением и тренажеров для обучения пилотов истребителей на основе нечетких технологий. Национальное управление по аэронавтике и космонавтике (NASA) предполагает использовать нечеткие модели для решения специальных задач в космосе.

Таким образом, можно сделать вывод, что область приложений теории нечетких множеств и нечеткой логики с каждым годом продолжает неуклонно расширяться. При этом процесс разработки и применения нечетких моделей тесно взаимосвязан с концепцией системного моделирования как наиболее общей методологией построения и использования информационных моделей сложных систем различной физической природы. Именно поэтому изложению методов нечеткого моделирования предшествует рассмотрение основных осо-

бенностей методологии системного моделирования, в контексте которой возможна разработка наиболее адекватных и эффективных информационных моделей сложных систем.

14.2 Методология нечеткого моделирования

Прежде всего, следует заметить, что методология нечеткого моделирования не заменяет и не исключает методологию системного моделирования, а конкретизирует последнюю применительно к процессу построения и использования нечетких моделей сложных систем. Процесс нечеткого моделирования представляет аналогичную последовательность взаимосвязанных этапов, как и процесс системного моделирования (см. рисунок 14.1). При этом каждый из этапов выполняется с целью построения и использования нечеткой модели системы для решения исходной проблемы.

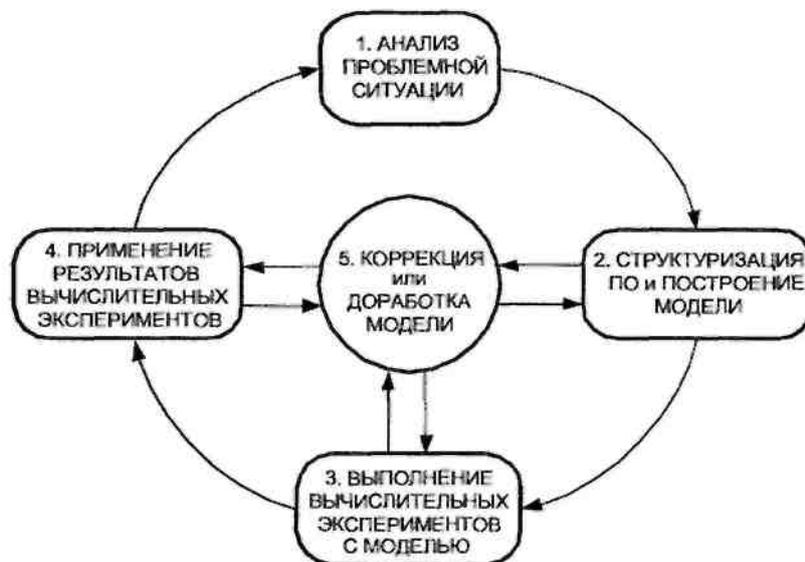


Рисунок 14.1 – Общая концептуальная схема процесса системного моделирования

В общем случае под нечеткой моделью понимается информационно-логическая модель системы, построенная на основе теории нечетких множеств и нечеткой логики.

Таким образом, отдельными этапами процесса нечеткого моделирования

являются:

1. Анализ проблемной ситуации.
2. Структуризация предметной области и построение нечеткой модели.
3. Выполнение вычислительных экспериментов с нечеткой моделью.
4. Применение результатов вычислительных экспериментов.
5. Коррекция или доработка нечеткой модели.

Одним из характерных признаков сложности построения модели является неопределенность в представлении структуры или поведения системы-оригинала. При этом сама категория неопределенности может быть рассмотрена с различных точек зрения. В рамках современной методологии системного моделирования неопределенность может характеризовать следующие аспекты модельных представлений.

1. Неясность или нечеткость границы системы. Так, например, использование дихотомических признаков "высокий-низкий", "большой-маленький", "дорогой-дешевый", "молодой-старый", "опытный-неопытный", "быстрый-медленный" и подобных им для определения состава элементов системы сталкивается с принципиальной трудностью представления структуры модели системы. Характерный пример этого аспекта неопределенности – собственно класс сложных систем в контексте ответа на вопрос: "Какие системы следует считать сложными?" Другим примером может служить проблема распознавания рукописного текста компьютером, которая и сейчас не решена в полном объеме.

2. Неоднозначность семантики отдельных терминов, которые используются при построении концептуальных моделей систем. Речь идет о присущей естественным языкам полисемии или неоднозначности смысла понятий {модель прически и математическая модель, игровой автомат и автомат как стрелковое оружие, географическая карта местности и игральная карта, стрела башенного крана и стрела, пущенная из лука, замок двери и средневековый замок).

3. Неполнота модельных представлений о некоторой сложной системе,

особенно в связи с решением слабо формализуемых проблем. В этом случае сама попытка построить адекватную модель сложной системы или предметной области сталкивается с принципиальной невозможностью учесть все релевантные особенности решаемой проблемы.

4. Противоречивость отдельных компонентов модельных представлений или требований, которым должна удовлетворять модель сложной системы. Так, например, требование решить проблему за минимальное время и с минимальными финансовыми затратами содержит в себе элемент противоречия. Элементы противоречий содержатся в законодательных актах и являются предметом юридической практики.

5. Неопределенность наступления тех или иных событий, относящихся к возможности нахождения системы-оригинала в том или ином состоянии в будущем. Речь идет о том, что анализ процесса поведения системы не дает оснований для однозначного ответа на вопрос: "Будет ли находиться система-оригинал в некотором состоянии в момент времени, который относится к ее будущему?" Этот аспект неопределенности часто называют стохастическим, поскольку он традиционно исследовался средствами теории вероятностей и математической статистики.

Возвращаясь к характеристике методологии нечеткого моделирования, следует отметить, что исходной предпосылкой ее развития являлась разработка адекватных модельных средств для представления первого аспекта неопределенности, связанного, прежде всего, с неясностью или нечеткостью описания границы системы или отдельных ее состояний. Тем не менее, появление и последующее развитие концепции нечеткой меры и теории возможностей позволяет утверждать то, что и другие аспекты неопределенности могут быть подвергнуты нечеткому анализу.

Таким образом, нечеткая модель системы-оригинала, или нечеткая система в первую очередь характеризуется неопределенностью типа неясности (нечеткости) границы системы, а также, возможно, отдельных ее состояний, входных и выходных воздействий. Традиционно одним из принципов систем-

ного анализа являлось предположение о том, что граница системы четко разделяет элементы системы и ее внешнюю среду (рисунок 14.2).

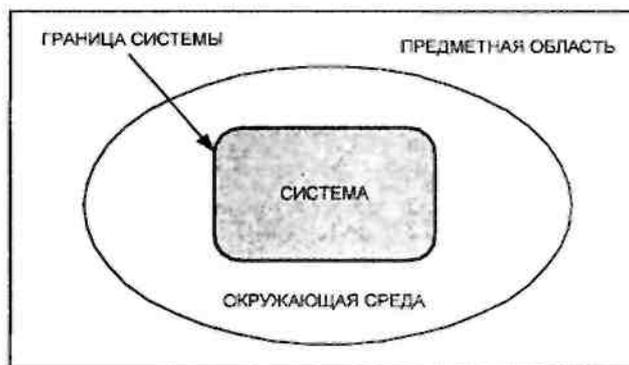


Рисунок 14.2 – Общее представление системы и окружающей среды в контексте традиционного системного анализа

С использованием нечеткой логики исходная структуризация нечеткой системы может быть изображена графически в виде фигуры с расплывчатыми границами (рисунок 14.3).



Рисунок 14.3 – Графическая иллюстрация нечеткой системы как системы с нечеткой границей

Базовой методологией построения нечетких моделей являются собственно теория нечетких множеств и нечеткая логика, которые, в свою очередь, являются обобщением классической теории множеств и классической фор-

мальной логики.

14.3 Анализ нечеткого и вероятностного подходов к моделированию неопределенности

В связи с рассмотренными выше различными аспектами неопределенности, перечень которых, в свою очередь, не претендует на полноту, следует отметить дискуссию, которая возникла по вопросу: "Является ли нечеткость разновидностью вероятности или она имеет некое самостоятельное содержание?" Эта дискуссия была инициирована адептами стохастического подхода к анализу неопределенности и время от времени дополняется новой аргументацией в пользу того, что по их мнению, нечеткость не вносит ничего нового в процесс анализа неопределенности. Хотя дальше будет строго математически показано, что концепция нечеткой меры включает как частный случай вероятностную меру, уже сейчас можно увидеть качественное отличие в рассмотренных выше аспектах неопределенности.

Исторически изучением и разработкой моделей, учитывающих неопределенность того или иного вида, занимаются многие математические дисциплины, такие как теория вероятностей, теория информации, математическая статистика, теория игр, теория массового обслуживания и теория нечетких множеств. Один из способов показать различия нечеткого и стохастического подходов – классифицировать тип неопределенности, которая изучается этими дисциплинами. С этой целью рассмотрим два наиболее характерных типа неопределенности – стохастическую и лингвистическую неопределенности.

14.3.1 Стохастическая неопределенность

Стохастическая неопределенность имеет место в ситуациях, когда некоторое хорошо описанное событие может произойти, а может не произойти. При этом с течением времени степень неопределенности, связанная с этим событи-

ем, может измениться. Дополнительно необходимо принять некоторые предположения относительно условий, при которых рассматривается данное событие. Эти условия, как правило, характеризуют так называемый идеальный эксперимент.

Рассмотрим следующее высказывание: "Вероятность того, что при бросании монеты выпадет орел (герб), равна 0.5".

В этом высказывании неявно предполагается, что монета и поверхность идеально правильной формы, процесс бросания идеален с точки зрения субъектов эксперимента, а потенциальная возможность того, что монета окажется в вертикальном положении, исключается полностью. По прошествии некоторого времени неопределенность исчезает, поскольку после подбрасывания монеты она окажется в одном из двух возможных состояний: либо орлом сверху, либо решкой.

Таким образом, рассматриваемое высказывание имеет смысл только по отношению к событию в будущем. Изменение условий эксперимента может привести к изменению содержания этого высказывания. Поскольку обеспечить идеальные условия на практике не всегда возможно, вольно или невольно мы вынуждены считаться с некоторой потенциально присутствующей ошибкой в количественной оценке вероятности событий. Предельные теоремы теории вероятностей как раз и предназначены для оценки этой погрешности при частотной интерпретации вероятности события в длинной серии испытаний.

Исторически теория вероятностей была первой математической дисциплиной для представления неопределенности в математических моделях. По этой причине любая неопределенность долгое время считалась стохастической по своей природе и наделялась, иногда искусственно, свойствами случайной неопределенности. Что касается вероятностного процесса, результат любой частной реализации которого является исключительно вопросом случая, предсказать последовательность событий просто невозможно. Для вероятностных процессов оказывается возможным лишь точное описание статистических оценок некоторых усредненных характеристик этого процесса.

Рассмотрим другое высказывание: "Вероятность того, что завтра пойдет дождь, равна 0.8".

В этом высказывании неявно предполагается, что событие "пойдет дождь" хорошо описано. Тем не менее, совершенно очевидно, что это событие недостаточно хорошо определено: не ясно, то ли дождь будет идти целый день, или дождь будет идти 80% от следующих по времени суток? Более того, следует ли считать дождем мелкий дождь или только ливень? Таким образом, при кажущейся очевидности этого высказывания при более детальном его анализе мы обнаруживаем некоторый другой тип неопределенности, который содержательно отличается от стохастического. Эта неопределенность скорее относится к лингвистическому описанию ситуации или события, а не к количественной оценке того, произойдет это событие в будущем или не произойдет.

14.3.2 Лингвистическая неопределенность

Реальный мир сложен, причем эта сложность зачастую проявляется как неопределенность в форме неоднозначности или неточности.

Этот тип неопределенности связан с неточностью обычного человеческого языка, с ним мы постоянно сталкиваемся в повседневной жизни. Достаточно рассмотреть фразы типа "высокие люди", "горячие пирожки", "красивое лицо", "хороший автомобиль", "устойчивая валюта", "дождливый день", "неважное самочувствие", "трудный день", чтобы понять, что вряд ли возможно дать им точные количественные определения.

Действительно, высокие и низкие люди будут иметь свои собственные представления о том, каких людей следует считать высокими. Более того, если мы формально установим считать высокими всех людей выше 180 см, будет ли человек с ростом 179.999 см высоким или нет? Контекст фраз тоже имеет значение, поскольку оценка высоких людей, находящихся на сцене театра и в зрительном зале, будет различной.

Для изучения подобных субъективных оценок предназначена отдельная

наука – психолингвистика. В рамках этой науки принято считать, что в рассмотренных фразах люди используют слова в качестве некоторых субъективных категорий. Эти субъективные категории дают нам возможность классифицировать объекты, которые характеризуются такими свойствами, как "высота", "длина", "вес", "температура", "цвет". Даже при том, что большинство используемых категорий точно не определено, люди могут использовать их для весьма комплексных оценок и решений, которые основаны на учете многих различных факторов.

Рассмотрим высказывание: "Вероятно, мы будем иметь успешный финансовый год".

Это высказывание имеет существенные отличия от рассмотренных ранее высказываний. Во-первых, само событие точно не определено. Для некоторых компаний успешный финансовый год может означать, что им удастся избежать банкротства. Для других это может означать превышение прибыли за предшествующий год. Даже для отдельно взятой компании трудно предложить некоторое количественное значение прибыли, чтобы определить, будет ли для нее бюджетный год, как рассматривается, успешным или нет. Следовательно, понятие "успешный финансовый год" является субъективной категорией.

Другая особенность последнего высказывания заключается в определении выражения вероятности. В то время как в предыдущих двух высказываниях вероятность была выражена количественно, данное высказывание не определяет количество вероятности. Следовательно, выражение вероятности в последнем высказывании также является субъективной категорией так же, как "высокие люди" и "горячие пирожки".

14.3.3 Моделирование лингвистической неопределенности

Высказывания, аналогичные последнему высказыванию и использующие субъективные категории людей, играют важную роль в процессе повседневного принятия решения. Даже при том, что эти высказывания не имеют ко-

личественного содержания, люди успешно используют их для комплексных оценок. В некоторых случаях неопределенность, которая присутствует в значении тех или иных слов, сознательно используется нами в разговоре для придания ему дополнительной гибкости. Достаточно представить себе диалоги в ситуациях с поиском высокооплачиваемой работы или приобретением недвижимости.

Чтобы адекватно использовать логику, присутствующую в человеческих рассуждениях, для решения технических проблем необходимо разработать соответствующую математическую модель. Именно с этой целью была разработана нечеткая логика, которая позволяет представить процессы принятия решений и оценки ситуаций человеком в некоторой алгоритмической форме. Хотя возможности человеческого мышления и фантазии безграничны, пределы того, что позволяет моделировать нечеткая логика, существуют.

Каким образом люди могут рассуждать относительно реальных систем, когда законченное описание реальной системы часто требует более детальных данных, чем человек в состоянии получить и интерпретировать? Ответ состоит в том, что люди имеют способность рассуждать приблизительно, возможность, которой компьютеры в настоящее время не обладают. При общении людей использование фраз типа "высокий человек" и "высокооплачиваемая работа" не приводит к возникновению концептуальных проблем, поскольку передает семантически понятную информацию участвующим в разговоре личностям. При необходимости всегда можно уточнить используемые субъективные категории.

В то же время компьютеры или микропроцессоры используют в своей работе исключительно бинарную логику. Для понимания соответствующих фраз компьютером необходимо, чтобы конкретное значение высоты или заработной платы сравнилось с заданным пороговым значением для рассматриваемых формальных категорий "высокий человек" и "высокооплачиваемая работа". Основное достоинство теории нечетких множеств заключается в возможности использовать лингвистические переменные вместо количественных, нечеткую логику вместо бинарной логики для формального представления по-

добных неточных субъективных категорий.

При рассмотрении сложной системы люди рассуждают относительно ее структуры и поведения приблизительно или неточно. Тем самым достигается некоторое универсальное понимание содержания проблемы. К счастью, эта общность и неточность, приобретаемая в форме опыта с течением времени, зачастую оказываются достаточными для человеческого понимания сложных явлений и адекватного принятия решений в бытовых ситуациях. Именно в рамках теории нечетких множеств оказывается возможным включить в описание проблемы этот опыт и интуицию отдельного человека.

14.3.4 Нечеткая логика в сравнении с теорией вероятностей

Рассмотренные выше примеры высказываний иллюстрируют тот факт, что стохастическая и лингвистическая неопределенности имеют различный характер. Стохастическая неопределенность имеет дело с неопределенностью того, произойдет ли некоторое хорошо описанное событие в будущем, а теория вероятностей позволяет дать на этот вопрос тот или иной ответ.

Напротив, лингвистическая неопределенность связана с неточностью описания самой ситуации или события независимо от времени их рассмотрения. Теория вероятностей не может использоваться для решения подобных проблем, поскольку представления о субъективных категориях, присутствующих в процессах мышления человека, в полной мере не согласуются с ее аксиомами.

Тем не менее, некоторые из специалистов, интенсивно работающие с теорией вероятностей и математической статистикой, долгое время отрицали саму возможность применения нечеткой логики в приложениях. Эти специалисты зачастую утверждали, что все виды неопределенности могут быть выражены в понятиях теории вероятностей. В то же время даже из рассмотренных выше примеров становится очевидным, что как теорию вероятностей, так и теорию нечетких множеств целесообразно использовать для моделирования раз-

сти равную 1. В то же время в этой бутылке не может находиться ядовитая жидкость, скажем, серная кислота, поскольку в этом случае степень принадлежности содержимого бутылки А к жидкостям, пригодным для питья, была бы равна 0.

Анализируя информацию о содержимом бутылки Б, путник, естественно, будет апеллировать к частотной интерпретации вероятности содержащейся в ней жидкости. В этом случае резонно предположить, что если бы путник имел возможность многократного выбора бутылки Б, то приблизительно в 9 случаях из 10 он смог бы благополучно утолить свою жажду. При этом содержимое бутылки Б должно было бы быть по качеству близким к чистой воде. Что же должно произойти в том единственном случае из рассматриваемых 10 – остается непонятным. Возможно, результатом может оказаться самый печальный исход для путника или его серьезное недомогание. Очевидно, что это не может случиться, если в бутылке Б находится квас. Значит в одном случае из 10 в этой бутылке может находиться нечто совсем неприемлемое для питья, например, соляная кислота.

Вывод для путника напрашивается очевидный – при наличии только указанной информации выбрать содержимое бутылки А. Во всяком случае это позволит избежать серьезного отравления или летального исхода. Но этот выбор может измениться, если изменится информация о содержимом бутылок. Так, совсем не очевидно, какую из бутылок предпочесть, если степень принадлежности для бутылки А и вероятность для бутылки Б станут равными, скажем, 0.5.

Посмотрим, как изменятся эти количественные характеристики после того, как путнику станет известно, что в бутылке А содержится тоник, а в бутылке Б – уксус (рисунок 14.4, б). Очевидно, что обе ситуации возможны при рассмотренных исходных условиях. Степень принадлежности жидкости в бутылке А останется без изменений, если исключить явное предпочтение этого напитка перед всеми остальными. А вот апостериорная вероятность жидкости в бутылке Б станет равной 0, поскольку вряд ли уксус следует считать жидко-

стью, пригодной для питья без опасности печальных последствий. С другой стороны, если бы в бутылке Б оказался тоник, то у нас были бы все основания считать соответствующую апостериорную вероятность равной 1.

Таким образом, понятие нечеткого множества способно обеспечить нас адекватной информацией относительно неточного описания тех или иных ситуаций. По существу, этот подход наиболее применим для решения таких проблем, в которых неопределенность характеризуется отсутствием хорошо определенных критериев, позволяющих однозначно судить о принадлежности элементов тому или иному классу. Именно в этом проявляется различие между нечеткостью и случайностью. В то же время нечеткие модели не являются заменой моделей, разработанных в теории вероятностей. Как будет видно из последующего изложения, каждое четкое множество является нечетким, но обратное утверждение не верно. Поэтому нечеткие модели обобщают традиционные и более знакомые нам математические модели. Иногда они работают лучше, а иногда нет. В конце концов, эффективность модели проявляется в ее способности адекватно решить ту или иную конкретную проблему.

Как правило, сложная проблема в той или иной степени связана с неопределенностью. Искусство и профессионализм системного аналитика как раз и проявляются в том, чтобы предложить для ее решения такую модель, которая наиболее адекватно учитывает тот или иной тип неопределенности. Достигнутые в последнее время впечатляющие успехи в приложении нечетких технологий для решения самых разнообразных практических задач позволяют утверждать, что нечеткое моделирование реальных сложных систем – эффективная альтернатива традиционным математическим моделям и методам.

14.4 Контрольные вопросы

1. Кем и когда были предложены основные идеи теории нечетких множеств?
2. За счет чего использование нечеткой логики позволяет строить моде-

ли, которые наиболее адекватно отражают различные аспекты неопределенности?

3. Укажите наиболее значимыми из работ в области нечеткой логики.

4. В чем заключаются причины популярности нечеткой логики в Японии?

5. Что такое нечеткая модель?

6. Перечислите этапы процесса нечеткого моделирования.

7. Как называются два наиболее характерных типа неопределенности?