

**Серия**

**МАГИСТР  
КОМПЬЮТЕРНОЙ ЛИНГВИСТИКИ И СЕМИОТИКИ**



**Серия**

**МАГИСТР  
КОМПЬЮТЕРНОЙ ЛИНГВИСТИКИ И СЕМИОТИКИ**

Книги серии

«Магистр компьютерной лингвистики и семиотики»

являются учебными пособиями для студентов вузов,  
осваивающих соответствующие образовательные программы подготовки бакалавров и  
магистров по направлениям

230100 — «Информатика и вычислительная техника» и

230200 — «Информационные системы»

Материал учебных пособий ориентирован на дисциплины как базовой, так и вариативной  
частей профессионального цикла

Федеральных государственных образовательных стандартов.

Ю.Н.Филиппович, А.Ю.Филиппович

# СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Рекомендовано УМО вузов  
по университетскому политехническому образованию  
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по направлениям  
230100 — «Информатика и вычислительная техника» и  
230200 — «Информационные системы».

**МАТЕРИАЛЫ РУКОПИСИ,  
ПЕРЕДАННОЙ В ИЗДАТЕЛЬСТВО МГУП  
В ФЕВРАЛЕ 2009 Г.**

Москва, 2009

УДК 007.52

ББК 32.813

Ф 53

Серия:

МАГИСТР

КОМПЬЮТЕРНОЙ ЛИНГВИСТИКИ И СЕМИОТИКИ

Научный редактор серии:  
к.т.н., доц. Ю.Н.Филиппович

Рецензенты: д.т.н., профессор В.В.Сюзев,  
к.т.н., доцент А.А.Башлыков

**Ф 53 Филиппович Ю.Н., Филиппович А.Ю.** Системы искусственного интеллекта.  
. — М.: МГУП, 2009. — XXX с.

**ISBN X-XXXXXX-XXXX-X**

В книге «Системы искусственного интеллекта» рассмотрены: проблемы этого научного направления; представление знаний, рассуждений и задач; формально-логические, продукционные и сетевые модели представления знаний. В главе «Библиотека...» для 20 источников приведены: аннотации, оглавления и краткие сведения из предисловий авторов, редакторов и переводчиков.

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений.

© МГУП, 2009

© Ю.Н.Филиппович, А.Ю.Филиппович, 2009

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Написать это учебное пособие было решено весной 2000 года, что было связано с утверждением тогда новых Государственных образовательных стандартов (ГОС), устанавливающих требования к подготовке инженеров по специальностям направлений 654600 (230100) — «Информатика и вычислительная техника» и 654700 (230200) — «Информационные системы». К этому времени у нас накопился опыт преподавания дисциплин «Экспертные системы», для студентов специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления» в Московском государственном техническом университете им.Н.Э.Баумана и «Системы искусственного интеллекта» в Московском государственном университете печати. Учебное пособие было задумано как серия из нескольких книг, посвященных разным аспектам научного направления «Искусственный интеллект». Первую из них мы планировали посвятить «Началам...», последующие отдельным ветвям научного направления. В электронном виде часть рабочих материалов будущего пособия в течение многих лет уже использовалась студентами в МГТУ им.Н.Э.Баумана и МГУП. Предстояло привести содержание пособия в соответствие с требованиями появившихся ГОС.

К осени 2001 года первый вариант рукописи пособия был почти готов для издания. Но обстоятельства не позволили нам издать его в Московском государственном университете печати в 2001–2002 году. Одной из наших идей тогда было стремление адаптировать этот вариант рукописи пособия к проблематике полиграфической отрасли. Предполагалось включить в пособие результаты наших научных исследований и опытно-конструкторских разработок в области ситуационного (семиотического) и экспертного моделирования применительно к полиграфическим процессам, которые в то время нашли отражение только в ряде научных статей и монографии (см. список авторских работ в литературе). В итоге — начался новый этап работы!

На новом этапе работы над пособием нас воодушевили те изменения, которые были внесены в учебный план студентов кафедры «Системы обработки информации и управления» (ИУ5) МГТУ им.Н.Э.Баумана. Они состояли в том, что с 2003–2004 уч.года вместо дисциплины «Экспертные системы» введена дисциплина «Интеллектуальные системы» с большим количеством часов, отводимых на лекционные и лабораторные занятия. Нами была разработана новая рабочая программа данной дисциплины, а содержание учебного пособия приведено в соответствие ей.

Значительно продвинуло нашу работу над пособием участие в 2007 году в создании учебно-методического обеспечения образовательной программы «Информационные системы управления предприятием» разрабатываемой в Академии народного хозяйства при

Правительстве РФ в рамках Национального проекта «Образование». В числе новаций этого проекта, которые предстояло воплотить в учебном пособии: компетентностный подход; использование тезаурусных и онтологических подходов для построения образовательного контента; активные методы обучения, дистанционные технологии и комбинированный подход при обучении (blending learning); учет требований профессиональных сертификаций и авторизованного обучения в области ИТ; включение в содержание пособия научно-исследовательской компоненты с целью развития дополнительных высокоуровневых компетенций; применение современных образовательных и информационных технологий для кредитования учебных программ, составления моделей компетенций, тюнинга образовательных траекторий.

Очередная возможность издать пособие появилась только в 2008 году, когда был утвержден план изданий МГУП на 2009 год. Нынешняя подготовка пособия к изданию совпала с началом активного реформирования системы высшего образования — переходом с 2009 года на двухуровневую систему подготовки специалистов, завершающим этапом разработки новых Федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС). Наше пособие соответствует требованиям проектов ФГОС по направлениям «Информатика и вычислительная техника» и «Информационные системы», ориентированных на подготовку магистров.

В работе над пособием нам всегда помогали студенты. Благодарим их.

Значительную помощь оказали студенты кафедры «Системы обработки информации и управления» (ИУ5) МГТУ им.Н.Э.Баумана разработчики электронных изданий книг по искусственному интеллекту, материал которых включен в печатное пособие и его электронную версию — .....(1998 г.), .....(1999 г.).....(2000 г.),.....(2001 г.)

Студенты кафедры «Информационные технологии» МГУП помогли подобрать литературу и осуществляли анализ Интернет ресурсов в том числе и на иностранных языках по проблематике ИИ, в рамках дипломного проектирования разработали варианты организации и оформления электронных библиотек по различным областям ИИ.

Благодарим рецензентов д.т.н., профессора, заведующего кафедрой «Электронно-вычислительные машины и системы» (ИУ6) МГТУ им.Н.Э.Баумана В.В.Сюзева и к.т.н., доцента А.А.Башлыкова, за конструктивную критику и полезные рекомендации по содержанию и оформлению учебного пособия.

Благодарим Анну Филиппович за художественное оформление обложек книг этой серии.

*Ю.Н.Филиппович, А.Ю.Филиппович*

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

ГЛАВА 1.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ

1.1. ЧТО ТАКОЕ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ?

1.2. ОБЛАСТЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

1.3. АНТОЛОГИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

1.4. АРХИТЕКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

ГЛАВА 2.

ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ В СИСТЕМАХ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

2.1. ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗНАНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

2.2. ФОРМАЛЬНО-ЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

2.3. ПРОДУКЦИОННЫЕ МОДЕЛИ

2.4. СЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ

ГЛАВА 3.

БИБЛИОТЕКА "НАЧАЛА ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА"

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

*СПРАВОЧНЫЙ АППАРАТ*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

ГЛОССАРИЙ

*ПРИЛОЖЕНИЯ*

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

МОДЕЛЬ КОМПЕТЕНЦИЙ

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

## ВВЕДЕНИЕ

### *Учебно-методические вопросы*

В марте 2000 года для 5-ти летней подготовки дипломированных специалистов с квалификацией — *инженер* по направлениям «Информатика и вычислительная техника» — 654600 (230100) и «Информационные системы» — 654700 (230200) были введены Государственные образовательные стандарты высшего профессионального образования (ГОС), которые сегодня в образовательном сообществе называют стандартами второго поколения [ГОС, 2000]. Их появление совпало с началом активных работ по модернизации и реформированию системы высшего образования в нашей стране. Одной из центральных идей реформ является переход на двухуровневую систему подготовки специалистов в высшей школе — бакалавр–магистр. Одним из первых в ряду наиболее важных результатов этого следует считать появление в рамках ГОС в 2005 году отдельных стандартов по 4-х летней подготовке бакалавров и 2-х летней — магистров. В итоге сегодня по каждому из указанных направлений действуют три стандарта подготовки инженеров, бакалавров и магистров [ГОС, 2005]. Срок действия ГОС не установлен, однако, поправками в «Закон об образовании» принятыми в 2007 году Государственной Думой РФ о переходе с сентября 2009 года на двухуровневую систему подготовки специалистов в высшей школе фактически устанавливается срок истечения их «полномочий». Это потребовало разработки новых Федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС). В настоящее время существуют проекты ФГОС подготовки бакалавров, и магистров, разработанные Учебно-методическим объединением вузов по университетскому политехническому образованию. Наиболее вероятно, что именно они приобретут статус стандарта.

ГОС для инженеров подготавливаемых по направлениям 230100 и 230200 в числе других требований предусматривает, что они *должны знать*: принципы организации и построения баз знаний, экспертных систем, пути, методы и средства интеллектуализации информационных систем, *должен владеть* этими методами и средствами. Характеризуя основные требования к выпускной квалификационной работе, ГОС требует, чтобы выпускник в зависимости от ее тематики показал: модели представления знаний и формализации задач при разработке интеллектуальных компонент автоматизированных систем; основные инструментальные средства разработки экспертных систем.

Такие требования являются неслучайными. Они полностью соответствуют содержанию специальной дисциплины «Системы искусственного интеллекта» (шифр — СД.07), которое в ГОС определено следующим образом:

*Искусственный интеллект как научное направление, представление знаний, рассуждений и задач; эпистемологическая полнота представления знаний и эвристически эффективные стратегии поиска решения задач; модели представления знаний: алгоритмические, логические, сетевые и продукционные модели, сценарии; экспертные системы: классификация и структура; инструментальные средства проектирования, разработки и отладки; этапы разработки; примеры реализации.*

К моменту изучения данной дисциплины студенты должны уже проучиться 7–8 семестров и освоить многие из дисциплин учебного плана. В их числе и непосредственно связанные с дисциплиной «Системы искусственного интеллекта» К ним в первую очередь следует отнести философию и спецглавы математики.

«Философия» (шифр — ГСЭ.Ф.10.) рассматривает фундаментальные с точки зрения теории искусственного интеллекта вопросы, принципы и понятия, в числе которых следующие: сознание и познание; сознание, самосознание и личность; познание, творчество, практика; вера и знание; понимание и объяснение; рациональное и иррациональное в познавательной деятельности; проблема истины; действительность, мышление, логика и язык; структура научного познания, его методы и формы; рост научного знания.

С «Философией» дисциплину «Системы искусственного интеллекта» связывают прежде всего вопросы эпистемологии представления знаний и диалектика соотношения необходимого и случайного, как методологическая основа поиска эвристических решений при моделировании естественного интеллекта человека. Эти вопросы требуют более глубокого рассмотрения, которое должно быть распределено между этими двумя дисциплинами. Примером более сбалансированного распределения «философских тем ИИ» являются предложения представленные в [Филиппович, 2003]. В настоящем учебном пособии философские проблемы ИИ рассмотрены ограничено.

Особенно большое значение для дисциплины «Системы искусственного интеллекта» имеют вопросы, которые рассматриваются в дисциплине «Математическая логика и теория алгоритмов» (шифр — ЕН.Ф.01.04): логика высказываний; логическое следование, принцип дедукции; метод резолюций; аксиоматические системы, формальный вывод; метатеория формальных систем; основы нечеткой логики; элементы алгоритмической логики.

Ранее (до введения ГОС) выше перечисленные «математические» вопросы составляли в большинстве практических случаев преподавания содержание специальных дисциплин, относимых к дисциплинам «искусственного интеллекта». Рассмотрение этих вопросов фактически и составляло математическую основу интеллектуальных систем и технологий их построения и использования.

Это нашло отражение и в вышедших в последнее время учебниках. В качестве примера следует привести учебник д.т.н., профессора, заведующего кафедрой МГТУ им.Н.Э.Баумана В.В.Девяткова [Девятков, 2001]. Данный учебник содержит практически полное описание-обзор математических методов и моделей искусственного интеллекта. В нем приведено множество примеров использования рассмотренных формализмов в инженерной (конструкторской и эксплуатационной) практике. Он является основой для чтения одноименного курса лекций и проведения практических занятий, а также может служить пособием для преподавания аналогичных дисциплин студентам других специальностей.

Настоящее издание представляет собой учебное пособие по дисциплине «Системы искусственного интеллекта» для студентов, осваивающих образовательные программы инженеров различных специальностей и магистров направлений 230100 и 230200. В основу его написания положены следующие принципы, идеи и рассуждения:

1. Основным принципом обучения на старших курсах и тем более при изучении специальных дисциплин инженерной и магистерской программ является *самостоятельность*, который находит свое выражение в преобладании самостоятельной и внеаудиторной форм занятий в учебных программах и планах. Именно это обстоятельство требует обеспечения студентов в первую очередь учебными пособиями, которые разноаспектно раскрывают изучаемый предмет, позволяют сосредоточить внимание студента на тех вопросах, к которым возник интерес и проявились потребности в изучении. В связи с этим, учебник, как более «детерминированное» и концентрированное изложение основ или устоявшихся положений в знаниях предмета является менее предпочтительным.

2. Принципом преподавания специальных дисциплин, несмотря на сужение поля знания в сравнении с общепрофессиональными дисциплинами, все-таки является ориентация на максимально широкий охват научных и инженерных решений. Это находит свое выражение в рассмотрении множества примеров реализации тех или иных «фундаментальных» положений, изучавшихся ранее дисциплин.

3. Преподавание специальных дисциплин, должно базироваться на принципе палеотипности научных суждений и инженерных решений, т.е. непременно включать не только реликты научных и конструкторских идей, но и сами эти идеи в историко-техническом контексте. Нарушение этого принципа ведет к забвению множества несвоевременных или несостоятельных когда-то научно-технических разработок и предложений, но ставших актуальными в современных условиях и как следствие этого к «изобретательству велосипеда». Изучение специальных дисциплин должно строиться на

прочтении первоисточников — научных монографий и первичных или максимально близких к ним технических описаниях спроектированных систем.

4. Авторы разделяют взгляды и суждения об области Искусственного интеллекта как множестве современных и перспективных взаимосвязанных подходов, теорий и технологий моделирования интеллектуальной деятельности человека. В связи с этим учебное пособие представляет собой ретроспективный обзор разработок в этой области, различные их классификации и систематизации.

5. В основе написания пособия положена идея опоры, прежде всего на неформальное описание научного знания, его оценок (метазнания), а также его приложений. Выражаясь метафорически, идеей пособия является не *справочник по формализмам искусственного интеллекта*, а *«человек рассуждающий и говорящий о проблемах искусственного интеллекта»*. Тем не менее, в учебном пособии достаточно полно и подробно представлены основные формальные (математические) аспекты моделирования человеческих знаний и рассуждений.

6. Авторы рассматривают любую из специальных дисциплин ГОС как введение в одно или несколько направлений научных специальностей. Дисциплина «Системы искусственного интеллекта» своим содержанием охватывает несколько направлений таких научных специальностей как [Паспорта, 2002]:

(05.13.01) *«Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)»* — (6) Методы идентификации систем управления на основе ретроспективной, текущей и экспертной информации. (10) Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических, экономических, биологических, медицинских и социальных системах.

(05.13.06) *«Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)»* — (15) Теоретические основы, методы и алгоритмы интеллектуализации решения прикладных задач при построении АСУ широкого назначения (АСУТП, АСУП, АСТПП и др.). (16) Теоретические основы, методы и алгоритмы построения экспертных и диалоговых подсистем, включенных в АСУТП, АСУП и АСТПП и др.

(05.13.10) *«Управление в социальных и экономических системах»* — (10) Разработка методов и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в экономических и социальных системах.

(05.13.11) *«Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей»* — (3) Организация баз данных и знаний, построение систем управления базами данных и знаний. (5) Разработка и исследование человеко-

машинных интерфейсов, программных средств распознавания образов и визуализации, мультимедийного общения.

(05.13.12) *«Системы автоматизации проектирования (по отраслям)»* — (8) Разработка научных основ построения средств компьютерной графики, методов геометрического моделирования проектируемых объектов и синтеза виртуальной реальности.

(05.13.17) *«Теоретические основы информатики»* — (4) Исследование и разработка средств представления знаний. Принципы создания языков представления знаний, в том числе для плохоструктурированных предметных областей и слабоструктурированных задач; разработка интегрированных средств представления знаний, средств представления знаний, отражающих динамику процессов, концептуальных и семиотических моделей предметных областей. (5) Разработка и исследование моделей и алгоритмов анализа данных, обнаружения закономерностей в данных и их извлечения, разработка и исследование методов и алгоритмов анализа текста, устной речи и изображений. (6) Разработка методов, языков и моделей человекомашинного общения; разработка методов и моделей распознавания, понимания и синтеза речи, принципов и методов извлечения данных из текстов на естественном языке. (7) Разработка методов распознавания образов, фильтрации, распознавания и синтеза изображений, решающих правил. Моделирование формирования эмпирического знания. (8) Исследование и когнитивное моделирование интеллекта, включая моделирование поведения, моделирование рассуждений различных типов, моделирование образного мышления. (9) Разработка новых интернет технологий, включая средства поиска, анализа и фильтрации информации, средства приобретения знаний и создания онтологий, средства интеллектуализации бизнес-процессов. (12) Разработка математических, логических, семиотических и лингвистических моделей и методов взаимодействия информационных процессов, в том числе на базе специализированных вычислительных систем. (13) Применение бионических принципов, методов и моделей в информационных технологиях.

7. Написание любого учебного пособия должно базироваться на личном опыте его авторов — опыте теоретических исследований и практических разработок. Необходимой цепочкой понятий, раскрывающей структуру известных нам удачных учебных пособий, является следующая последовательность: научно-исследовательская работа (НИР), опытно-конструкторская разработка (ОКР), проект системы, промышленная система. В данном учебном пособии представлен опыт как исследовательской, так и проектно-конструкторской деятельности его авторов.

8. Выбор способа написания учебного пособия оказывает значительное влияние на его полезность для студентов. В качестве двух противоположных альтернатив следует рассматривать: а) оригинальный авторский текст и б) краткое (реферативное) изложение ранее опубликованных материалов. Настоящее учебное пособие представляет собой некоторый баланс этих двух альтернатив. Пособие содержит оригинальные авторские материалы, компилятивные и модифицированные изложения, объемные цитирования, приближающиеся к антологиям, аннотированные библиографические описания, оглавления, списки источников.

### *Структура учебного пособия*

Учебное пособие задумано авторами как серия книг, а настоящее пособие — первая из них. Содержание пособий в течение нескольких лет представлялось в электронном виде в качестве рабочих материалов лекций и практических занятий студентам МГТУ им.Н.Э.Баумана (кафедра «Систем обработки информации и управления») и МГУП (кафедра «Информационных технологий»).

Книга «Системы искусственного интеллекта» состоит из трех глав, справочного аппарата и приложений.

Первые две главы — это материалы для поддержки самостоятельной проработки студентами тематики лекционных занятий. Третья глава — библиотечный справочный материал, представленный: библиографическими описаниями, аннотациями и оглавлениями книг по Искусственному интеллекту, а также наиболее общими суждениями их авторов, переводчиков или ученых–специалистов, выступавших в качестве рецензентов, которые взяты из предисловий и введений.

Справочный аппарат издания — это общий список литературы, список сокращений, именной указатель, словарь терминов (глоссарий).

В приложении приведена рабочая программа дисциплины «Системы искусственного интеллекта», модель компетенций, методические указания по изучению дисциплины и материалы системы контроля знаний.

### ***Первая глава***

Она посвящена разноаспектному рассмотрению Искусственного интеллекта как научного направления. Читателю предложена почти буквально понимаемая схема раскрытия содержания Искусственного интеллекта как научного направления — от «слова» к «делу». Глава начинается с разъяснений слов «искусственный» и «интеллект», а заканчивается описанием архитектуры «интеллектуальных систем».

*Первый параграф* озаглавлен вопросительным предложением «Что такое искусственный интеллект?» и начинается с небольшого лексикографического исследования — анализа словарных определений. Сначала рассматривается метафоричность термина «Искусственный интеллект», а затем последовательно его определения, толкования, ассоциации и сравнения. В этих разделах первого параграфа приводятся некоторые результаты из опубликованных авторских исследований метафор и ассоциаций информационных технологий.

Основная идея ответа на поставленный в названии параграфа вопрос, неслучайно представлена в самой языковой форме, которую представляет словосочетание «искусственный интеллект» — это стилистическая фигура (речевой оборот) называемая *оксиморон*, переводимая с греческого *oxymoron*, как *остроумно-глупое*, и означающая сочетание противоположных по значению слов, в нашем случае — *искусственно-естественное*.

Приведенные ассоциации и сравнения фактически раскрывают цели и возможности создателей «Искусственного интеллекта» в рамках так называемого информационного подхода — *эффективное моделирование человека, его деятельности (восприятия, мышления, действий) и реализация этих моделей в форме компьютерных систем*.

Завершается параграф анализом основных возражений против возможности создания Искусственного интеллекта, при этом акценты ставятся на противоречивости этих возражений.

*Второй параграф* представляет собой ретроспективный анализ исследований и разработок в области Искусственного интеллекта. Выделены семь этапов — временных периодов, получивших следующие условные названия, соответствующие идеям, получившим в эти периоды наиболее существенное развитие: эвристические программы, интегральные роботы, экспертные системы, нейронные сети, нечеткая логика, эволюционный подход.

В заключении параграфа называются четыре тенденции дальнейшего развития Искусственного интеллекта. Две из них связаны с широким использованием в разработках научных достижений а) биологии и генетики и б) семиотики и лингвистики. Две другие тенденции — это развитие появившихся новых классов интеллектуальных систем: в) интеллектуальных агентов и г) виртуальной реальности.

*Третий параграф* содержит фрагменты вступительных глав книг трех известных отечественных ученых, авторов научных монографий и учебных изданий по проблемам ИИ: Г.С.Поспелова, О.К.Тихомирова, Д.А.Поспелова. Их суждения и научные публикации на протяжении значительного периода развития науки ИИ определяли направления

теоретических исследований и практических разработок систем искусственного интеллекта. Их лекции, статьи и книги были и в настоящее время продолжают являться основой знаний большого числа современных специалистов.

*Четвертый параграф* посвящен рассмотрению архитектуры интеллектуальных систем. Содержание этого параграфа в основном взято из ранее опубликованного в издательстве «Высшая школа» учебного пособия [Ю.Филиппович, 1990а].

Основой современного направления развития автоматизированных систем обработки информации и управления (АСОИУ) является создание персональных информационных систем, архитектура которых рассматривается в трех аспектах: функциональная предназначенность, возможность технической реализации и эстетическая целесообразность.

Функциональная предназначенность раскрывается как соединение двух центральных идей: автоформализации знаний и интеллектуальности взаимодействия. Возможность технической реализации — это объективно необходимые условия существования персональных информационных систем на следующих этапах их жизненного цикла: концептуальном, функциональном, информационно-программном и аппаратном. Эстетическая целесообразность реализуется как удовлетворение потребностей пользователей в интеллектуальном взаимодействии с персональными информационными системами, удовлетворяющем эргономическим требованиям.

### **Третья глава**

Данная глава имеет важнейшее значение для изучения предметной области Искусственного интеллекта!

В начале девяностых многие из нас, тех, кто интересовался, исследовал, разрабатывал и преподавал проблемы искусственного интеллекта, будучи зачарованными происходящими событиями, не написали многого из того, что могли и хотели. Те, кто написали, не смогли издать — научно-учебная литература оказалась "невыгодной". Положение с учебно-научной литературой по проблемам ИИ сегодня требует издания хрестоматий, переиздания ранее написанных мудрых учебников и монографий. В нашем пособии представлены библиографические описания практически малодоступных книг для тех, кто решил посвятить себя науке ИИ. Эти описания ориентированы, прежде всего, на магистрантов и аспирантов, иначе — на "продвинутых" студентов.

Каждое из описаний какой-либо книги содержит точную библиографическую спецификацию в соответствии с требованиями ГОСТ, аннотацию и предисловия редакторов и авторов. Всего в главе пособия описано 20 книг. С учетом списка цитируемой литературы это немалый вклад в студенческие и аспирантские обзоры и рефераты.

### *Литературные источники*

Общий список источников пособия насчитывает **XX** наименований. В основном это книги известных специалистов и ученых в области ИИ. Список источников разделен на несколько рубрик: Документы, Словари и энциклопедии, Цитируемые источники, Интернет-ресурсы, Статьи сборника «Интеллектуальные технологии и системы», Электронный учебный комплекс.

Среди источников только два официальных документа: Государственный образовательный стандарт и Паспорта научных специальностей.

*Словари и энциклопедии* — их **XX**. Использование словарей, вообще лексикографических изданий, в познании какой-либо науки является очень важным, а в организации образования или самообразования представляется необходимым. Наличие словарей в личных и общественных библиотеках является залогом успеха любого учебного процесса. Лексикографическая форма накопления и представления знаний уже с XVII в. считается наиболее эффективной. Среди цитируемых в пособии словарей отметим два, к изданию (переизданию) которых авторы оказались причастными, это — Словарь русского языка XI–XVII вв. и Словарь Академии Российской 1789–1794 гг. В эту рубрику включены и справочники, за исключением Справочника по искусственному интеллекту 1990 г., который представляет собой сборник статей, и отнесен в другую рубрику.

*Цитируемые источники* "размечены", хотя и представлены в списке в алфавитном порядке. Для описания источников, материал которых непосредственно использовался в тексте пособия, применен шрифт основного размера (**10 pt**). Источники, описанные в третьей главе пособия, имеют полужирное начертание. Для описания всех источников, на которые имеются ссылки в заимствованном материале ("вторичное цитирование"), применен шрифт уменьшенного размера (**8 pt**).

*Интернет-ресурсы* — это наименование материала, который был заимствован из сети Internet, с указанием электронного адреса соответствующего сайта. При этом указана дата, когда был прочитан этот материал.

*Статьи сборника «Интеллектуальные технологии и системы»* включены в список источников по двум причинам: во-первых, на некоторые из этих статей есть ссылки; во-вторых, и это основная причина, статьи написаны студентами и аспирантами, начавшими свой научный поиск в предметной области ИИ, и их пример имеет для пособия дидактическое (педагогическое) значение.

*Электронный учебный комплекс* — это собрание учебно-научных материалов на CD ROM, которые можно использовать одновременно с пособием для изучения дисциплины "Системы искусственного интеллекта". В основном это авторские материалы, электронные

конспекты лекций, в которые включены тексты настоящего пособия, программные комплексы для лабораторных работ и домашних заданий, электронные версии книг по ИИ и другие материалы.

В течение нескольких предшествующих лет студентам изучавшим курсы «Экспертные системы» и «Интеллектуальные системы» в МГТУ им.Н.Э.Баумана и курс "Системы искусственного интеллекта" в МГУП данные материалы выдавались для самостоятельной работы, а также для курсового и дипломного проектирования. В последних случаях диск пополнялся их разработками. В 2001 г. в Лаборатории электронных издательских технологий МГУП была предпринята попытка создать электронное издание материала на CD ROM (разработчик В.Р.Хайрутдинова). В это же время были подготовлены макеты электронных изданий книжных сборников по темам ИИ. В соответствующей рубрике источников пособия приведено содержание диска в 2003–2004 и 2008–2009 учебных годов.

### *Контрольные вопросы*

Контрольные вопросы в учебнике или пособии важная составная часть его методического содержания. В нашем случае контрольные вопросы являются материалом для составления экзаменационных вопросов. В экзаменационном билете возможны три вопроса, соответствующие каждой из глав учебного пособия.

Контрольные вопросы к первой и второй главам имеют традиционную для экзаменов форму. Контрольные вопросы и задания к третьей главе — четырех типов. Если учебный курс "Системы искусственного интеллекта" в соответствии с учебным планом завершается экзаменом, то эти вопросы могут быть в экзаменационных билетах третьими или дополнительными. Они сориентированы на выявление знаний студентов или аспирантов литературных источников по проблемам ИИ, знаний имен ученых, исследовавших проблемы ИИ, в целом истории становления этой области информатики.

Первый тип — "изложите содержание книги...". Ответ на данный вопрос можно составить на основе изучения оглавления (содержания) книги. Фактически оглавления книг представляют собой некоторые классификационные схемы представления и систематизации знаний отдельной области ИИ или всего направления в целом.

Второй тип — "изложите суждения..." редактора, переводчика и др. ученых причастных к изданию книги. Целью этих вопросов является акцентировать внимание на позициях ученых, их оценках трудов своих коллег.

Третий тип — "изложите суждения автора книги...". Знание целей и задач, которые ставил перед собой автор книги, прежде всего, важно для понимания ее содержания. Авторы книг, описание которых приведено в пособии, выдающиеся ученые и их метод, приемы и

способы исследования проблем ИИ являются примером для повторения и дальнейшего развития.

Четвертый тип — вопросы контроля запоминания имен ученых, названий организаций и наименований систем, имеющих непосредственное отношение к развитию науки ИИ.

### **Справочный аппарат издания**

Традиционный справочный аппарат издания – это список сокращений, именной и предметный указатели. В пособии эта триада представлена списком аббревиатур, именным указателем и выборочным указателем слов.

*Список аббревиатур* содержит все сокращения данного типа, встретившиеся в пособии, и их расшифровку (полное написание).

*Именной указатель* пособия состоит из подразделов: **ТОПОНИМЫ** (государства, административно-территориальные деления, города и пр.), организации (корпорации, фирмы, университеты и пр.), персоналии (имена людей), системы (информационные, программные, аппаратные).

*Выборочный указатель слов* пособия включает мало- и среднечастотные слова, а также устойчивые словосочетания встретившиеся в тексте.

Часто в учебной литературе встречаются «словари терминов». В нашем пособии такой словарь отсутствует по следующим причинам:

Во-первых, за тот период, который охватывает изложенный материал терминология ИИ не только не «сложилась» («устоялась»), но и динамично изменялась. Количество слов-терминов, с определениями которых согласились бы большинство ученых, исследующих и разрабатывающих системы ИИ, невелико, а их определения столь «очевидны», что выделение их в специальный раздел издания оказывается нецелесообразным.

Во-вторых, значительная часть первой главы пособия представлена почти в лексикографической форме – содержит множество определений, толкований, цитат-иллюстраций, в том числе и из различных словарей.

В-третьих, составление терминологических словарей это серьезная научная работа, тем более для такой науки как информатика и ее отраслей, а наш задел и опыт для этого пока недостаточен.

В связи с этим в книгу включен лишь небольшой глоссарий.

### **Приложение.**

Компонентами приложения являются: программа дисциплины «Системы искусственного интеллекта», модель компетенций дисциплины и материалы для контроля знаний. Им соответствуют подразделы с одноименными названиями.

*Программа дисциплины.*

Для написания программ учебных дисциплин традиционно сложились формы предусматривающие выделение таких разделов как: Организационно-методический, Содержание курса, Учебно-методические материалы по дисциплине, Материально-техническое обеспечение дисциплины.

*Модель компетенций.*

Данная компонента учебного пособия, хотя и отнесена в Приложение, является важной его особенностью. Модель компетенций специалиста, который готовится по некоторой образовательной программе, является обязательной составной частью ФГОС. В связи с этим при разработке программ дисциплин фактически необходимо построить некоторую проекцию компетенций определенных в ФГОС на содержание материала, который предстоит освоить студенту. Компетентностная модель дает ответ на вопрос: «Как данная дисциплина способствует приобретению будущим специалистом установленных в ФГОС компетенций?»

*Материалы для контроля знаний.*

В этом подразделе учебного пособия приведены тестовые задания для студентов, которые могут использоваться ими как для самоконтроля (в этом случае методически они аналогичны вопросам, которые приведены в конце каждого параграфа глав пособия) или самоподготовки, например, к экзамену, так и для текущего и финального контроля знаний студентов преподавателем в форме «рубежного контроля» или экзамена.

## Глава 1. Искусственный интеллект как научное направление

Глава 1. «Искусственный интеллект как научное направление» разделена на три подраздела (параграфа), им соответствуют темы:

Тема 1.1. Что такое Искусственный интеллект?

Тема 1.2. Область Искусственного интеллекта.

Тема 1.3. Антология Искусственного интеллекта.

Каждая из тем может быть раскрыта в одной или нескольких лекциях. В первой теме (*лекции 1-2*) сначала на основе нескольких исторических и современных словарей анализируются слова «Искусственный» и «Интеллект»; затем рассматривается метафора «Искусственный интеллект» на основе экспериментальных наблюдений; далее анализируются различные определения, толкования, ассоциации и сравнения; рассматриваются цели и возможности Искусственного интеллекта и в завершении анализируются возражения против Искусственного интеллекта.

Во второй теме (*лекция 3*) рассматривается структура и история формирования области исследований и разработок, которая сегодня относится к искусственному интеллекту. Выделяются следующие этапы: эвристические программы, интегральные роботы, экспертные системы, нейронные сети, нечеткая логика, эволюционный подход. В заключении рассматриваются тенденции дальнейшего развития области ИИ.

В третьей теме (*лекции 4-6*) Искусственный интеллект рассматриваются как новая информационная технология, связь методов ИИ с психологией и подробно представляется структура всей области ИИ.

В материалах главы имеются ссылки на значительные лексикографические источники — словари и энциклопедии, а также на работы следующих ученых: М.М.Бенерджи, В.М. Глушков, В.В. Девятков, Л.А. Заде, К.Е. Левитин, А.Н. Леонтьев, Н. Нильсон, Э.В. Попов, Г.С. Поспелов, Д.А. Поспелов, А.М. Прохоров, С. Роуз, О.К. Тихомиров, П. Уинстон, Л. Фогель, А. Оуэнс, М. Уолш, Э.Ф. Хант, А. Эндрю, G.Edelma., D.O. Hebb, B.Kosko, A.Newell, M.A. Simon, R.Penrose, S.Russell, P. Norvig, J.R. Searle, B.Widrow.

## 1.1. ЧТО ТАКОЕ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ?

### *Слова «Искусственный» и «Интеллект»*

Проведем небольшой лексикографический анализ, выделенных нами слов, в котором рассмотрим их словарные определения. Одно из ранних упоминаний слова ИСКУССТВО в русском языке относится к XVI–XVII вв. В словаре Русского языка XI–XVII вв. приводится следующая словарная статья с текстовыми примерами его употребления [СЛРЯ, 1979. Т.6, с.266]<sup>1</sup>:

ИСКУССТВО, с.

1. Умение, знание, искусство. Како не зримъ прилежно мысленнымъ своимъ окомъ древняго дракона, врага нашего бодрого, и никогда же спящаго, и множайшими л#ты искусство злобы имущаго? Курб. Пис., 387. XVII в. ∞ XVI в. 4 ч<еловека> бомбардировъ, немецкой породы, которые бы им#ли въ своей наук# и въ воинскихъ д#л#хъ доброе и свид#телствованное искусство. ДАИ XII, 383. 1695 г.

2. Опыт; способ к узнаванию чего-л., эксперимент. Искусством бо сие разум#хомъ. М. Гр. I, 300. XVI—XVII вв. ∞ XVI в. Т#мъ искусствомъ опознаваемъ. Травник Любч., 407. XVII в. ∞ 1534 г.

В первом толковом словаре русского языка – «Словаре Академии Российской» (1789–1794 г.) даются такие определения [САР, 2001. Том 3, стлб. 1108]<sup>2</sup>:

*Искусство*, 1) Знаніе, свѣденіе, способность дѣлать что согласно съ правилами. *Для отправления должности посланника требуется великое искусство въ политикѣ.* 2) Наука, знаніе упражненіемъ приобретенное. *Стихотворство есть искусство писать стихи. Военное искусство.* 3) Тоже что **ИЗКУСЪ** въ 1 знам. <Опыт> *Ежедневное искусство нацаетъ.*

*Искусственный*, Искусствомъ произведенный, сдѣланный. Противуполагается слову естественный, природою усвоенный.

В приведенных определениях ключевым для понимания нами слова ИСКУССТВЕННЫЙ является слово *делать* (вариант — *сделанный*), а попытка определить его приводит к следующим словарным примерам:

<sup>1</sup> В приводимых словарных статьях есть ссылки на источники в виде их сокращенных наименований: Курб. Пис., ДАИ XII, М. Гр. I, Травник Любч. Полное описание наименования источника можно найти в нашей работе «Электронный указатель источников Рукописной древнерусской картотеки и Словаря русского языка XI–XVII вв.» [Филиппович, 2002а].

<sup>2</sup> Словарь Академии Российской 1789–1794 гг. в настоящее время переиздается Московским гуманитарным институтом им. Е.Р.Дашковой. Авторы настоящего пособия принимают в этой работе непосредственное участие. О переиздании более подробно написано во вступительной статье к первому тому [САР, 2001. Т. 1. С. 7–10].

ДѢЛАЮ, ешь, сдѣлалѢ, сдѣлаю, дѣлапъ, дѣлывапъ, сдѣлапъ. гл. д. 1) Творю; даю извѣспной видѢ какой либо вещи: и вѢ семѢ смыслѢ говорипся о вѣхѢ художественныхѢ произведеніяхѢ. Дѣлапъ посуду, сполы, спуля. 2) Относипельно кѢ произведеніяхѢ ума значипѢ: сочиняю, слагаю, пишу. Дѣлапъ спихи. ДѣлапѢ разсужденіе примѣчанія на чпо. Дѣлапъ пополненія кѢ чему

В самом известном толковом словаре — «Толковом словаре живаго Великорусскаго языка» В.Даля (1881 г.) слово ИСКУСТВЕННЫЙ определяется как «съ искусствомъ сд#ланный; но вообще || сд#ланный руками челов#ка, неприродный или несозданный, д#ланный» [Даль, 1989].

В современных словарях, например, «Толковом словаре русского языка» С.И.Ожегова, Н.Ю.Шведовой (23 издание 1992 г.) слово ИСКУССТВЕННЫЙ в первом его значении это — «Не природный, сделанный наподобие подлинного» [Ожегов, 1992].

Как свидетельствует Г.С.: «В Институте русского языка АН СССР ведется картотека «Словаря современного русского литературного языка»<sup>3</sup>. В ней фиксируются первые появления в произведениях литературы тех или иных слов, т. е. момент получения этими словами «литературного гражданства». Согласно этой картотеке, слово «интеллект», пришедшее к нам из французского или немецкого языка, впервые было использовано Н.В.Гоголем. И использовано для обозначения способности к познанию, постижению чего-либо» [Левитин, 1991. С.23].

В словаре В.Даля слова ИНТЕЛЛЕКТ нет, но есть слово ИНТЕЛЕКТУАЛЬНЫЙ, которое определяется как «духовный, умственный, разумный, пртвпл. [Противоположный] вещественный, плотской, т#лесный, чувственный».

Современное толкование слова ИНТЕЛЛЕКТ существенно не изменилось. Так в словаре С.И.Ожегова, Н.Ю.Шведовой оно определяется как синоним слова УМ в значении (1) — «Способность человека мыслить, основа сознательной, разумной жизни», или «мыслительная способность, умственное начало у человека», а прилагательное ИНТЕЛЕКТУАЛЬНЫЙ как — «умственный, духовный; с высоко развитым интеллектом».

В «Советском энциклопедическом словаре» (1980 г.) и его электронных версиях интересующая нас словарная статья имеет следующий вид:

**ИНТЕЛЛЕКТ** (от лат. intellectus — познание, понимание, рассудок), способность мышления, рационального познания. Латинский перевод древнегреческого понятия *нус* ("ум"), тождественный ему по смыслу [СЭС, 1980].

В итоге нашего анализа получаем, что самое простое определение, которое можно дать тому, что в своем названии будет содержать слова «Искусственный» и «Интеллект» это

<sup>3</sup> Возможно Г.С.Поспелов имел ввиду картотеку, находящуюся в Институте лингвистических исследований РАН в Санкт-Петербурге.

— *сделанный человеком по подобию своего ума (своей способности мыслить)*. Очевидно, что таким образом полученное определение не является ответом на вопрос — Что такое «Искусственный интеллект»? Вместе с тем оно вносит некоторую ясность в наше понимание и может являться отправной точкой дальнейших рассуждений.

### *Метафора «Искусственный интеллект»*

Обратим внимание на два аспекта рассмотренных нами определений слов ИСКУССТВЕННЫЙ и ИНТЕЛЛЕКТ.

*Во-первых*, определения обоих слов содержат некоторые прямые или косвенные противопоставления. Так в определениях Словаря В.Даля: ИСКУССТВЕННЫЙ — это <сделанный руками человека> противопоставляется <природному> и ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ — <духовный, умственный, разумный> противопоставляется <вещественному, плотскому, телесному, чувственному>.

*Во-вторых*, оба слова, объединенные вместе, также образуют противопоставление. Так в определениях Словаря С.И.Ожегова, Н.Ю.Шведовой: ИСКУССТВЕННЫЙ — это «Не природный», т.е. *не естественный*, не натуральный (см. там же слово ПРИРОДНЫЙ); ИНТЕЛЛЕКТ — «мыслительная способность», т.е. «природная (=естественная) одаренность» мыслить (см. там же слово СПОСОБНОСТЬ).

Анализ сочетания слов ИСКУССТВЕННЫЙ и ИНТЕЛЛЕКТ в названии чего-то, что мы хотим определить, показывает, что отмеченные выше противопоставления сохраняются. Словосочетание ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ фактически является противопоставлением <не естественный> ↔ <естественный>, и звучит как — *неестественная естественность* или *искусственная естественность*. Языковые выражения такого типа называются стилистическими фигурами (речевыми оборотами). В данном случае мы имеем словосочетание, которое получило название оксиморон (от греч *οξύμορον*, букв. остроумно-глупое) — сочетание противоположных по значению слов, аналогично — живой труп, горячий снег и т.п.

Рассмотрим *еще один аспект* сочетания слов ИСКУССТВЕННЫЙ и ИНТЕЛЛЕКТ.

Приведенное нами определение слова ИСКУССТВЕННЫЙ по умолчанию предполагает наличие некоторого предмета, «сделанного руками человека». Аналогичное предположение по умолчанию следует сделать и для определения слова ИНТЕЛЛЕКТ, как способности человека, воплощаемой частью его тела, мозгом. Соединение слов ИСКУССТВЕННЫЙ и ИНТЕЛЛЕКТ приводит к наделению этого предмета мыслительными способностями человека, переносу на него свойств его интеллекта (ума) и мозга — той части тела, которая является носителем ума. Из этих рассуждений следует, что словосочетание

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ можно использовать для называния предмета, который обладал бы свойствами схожих с ним предметов — мыслительной способности человека и его мозга. Такой способ выражения в языке получил название метафора (от греч. *Metaphora* — перенос) — перенесение свойств одного предмета (явления) на другой на основании некоторого общего признака.

В связи с таким пониманием ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА уместным является привести рассуждения К.Е.Левитина и Д.А.Поспелова из параграфа «Что такое «Искусственный интеллект»?» книги «Будущее искусственного интеллекта» [Левитин, 1991. С.5–6].

Мы живем в мире языковых метафор, но лишь сравнительно недавно они стали предметом тщательного изучения. Оказалось, что наше мышление и наше поведение во многом определяются теми метафорами, которые мы принимаем. Правда, как правило, мы совершенно не замечаем этого влияния и ищем причины не там, где они находятся.

Если, например, метафора «умный компьютер», столь часто встречающаяся в прессе, оказывается принятой, то вполне уместными становятся утверждения типа: «компьютер принял решение», «компьютер решил задачу» или даже «компьютер сочинил стихи». Конечно, для специалистов метафоричность всех этих утверждений очевидна, ибо сам по себе компьютер ничего этого сделать не мог, он просто выполнял вложенную в его память программу, написанную человеком.

Но для людей, не слишком близко сталкивающихся с вычислительными машинами, метафоры такого типа вскоре становятся совсем не метафорами, а истинными утверждениями, понимаемыми буквально. Компьютер начинает представляться им чем-то вроде живого существа, на него переносятся все те требования и морально-этические нормы, которые ранее относились к человеку.

Впрочем, стремление к очеловечиванию компьютера наблюдается и среди специалистов. Многие опытные программисты не на шутку обижаются на свои программы, подозревают, что компьютер из-за каких-то злобных побуждений дает сбои, впадают в отчаяние от полной неспособности понять, «что вытворяет этот ящик».

Памятная дискуссия на тему: «Может ли вычислительная машина мыслить?» — яркое свидетельство влияния метафор на наше сознание.

Каких только метафор, связанных с вычислительными машинами, не было использовано. Тут и «электронный мозг», и «интеллектуальная машина», и «мыслящее устройство» и многое другое. За этими метафорами скрывались реальные успехи — создание программ, реализуемых на вычислительных машинах, которые имитировали многие виды человеческой деятельности, традиционно считавшиеся интеллектуальными, ибо они

выделяли человека из окружающего мира, делая его «венцом природы» (вот еще одна метафора, принятие которой во многом объясняет не только позитивные, но и негативные стороны поведения человека).

Но для неспециалистов в тени оставалось то, что для создателей программ было очевидным. В упомянутые программы вкладывался естественный интеллект программистов, а машины лишь осуществляли эти программы в получаемых результатах. Другими словами, имитация некоторой творческой деятельности вовсе не означала, что в электронных цепях вычислительной машины протекают такие же процессы, как в мозгу человека.

Среди многих метафор, характеризующих уровень задач, решаемых на вычислительных машинах, или доступных роботам, одна оказалась наиболее устойчивой. Появившись в конце 60-х годов, она вскоре стала названием целого направления научных исследований, бурное развитие которых в последующие двадцать лет привлекло внимание широкой общественности. В 1969 г. в Вашингтоне состоялась I Международная объединенная конференция по искусственному интеллекту. Она и узаконила в своем названии интересующую нас метафору — «искусственный интеллект».

Эта метафора оказалась для советской науки весьма неудачной. Если у англоязычного мира выражение *computer science*<sup>4</sup> не порождает особых побочных эмоций, то русская калька «искусственный интеллект» тут же вызывает по ассоциации родственные: «искусственная почка» или «искусственное сердце». Именно это обстоятельство сыграло известную отрицательную роль в развитии исследований в нашей стране. Многие ученые, особенно математики, не приняв столь претенциозно звучащей метафоры, отвергли и само новое направление исследований. И пока научный мир в других странах активно развивал многообещающее направление, в нашей стране подобные работы развивались намного медленнее, вызывая отставание наших исследователей от мирового уровня. Вот какова может быть цена метафоры!

Близкие рассуждения можно отметить и у Г.С.Поспелова [Г.Поспелов, 1988]:

...к сожалению, очень часто на вычислительную технику распространяются идеи антропоморфизма. Мы постоянно сталкиваемся с выражениями: “машина приняла решение”, “машина сформировала план”, “машина распознает ситуации или образы”, “машины управляют сложными организационными техническими процессами в условиях острого дефицита времени и в стрессовых для человека условиях”, “машина играет в шахматы, сочиняет музыкальные произведения” и т.д. Встречаются уже

---

<sup>4</sup> Слово сочетание «Искусственный Интеллект» является прямым переводом с английского «Artificial Intelligence». В связи с этим, нельзя не отметить «метафоричность» ошибки Д.А.Поспелова.

совершенно нелепые представления об “умных”, “думающих” машинах в буквальном смысле этих слов.

Что же происходит в действительности?

Возьмём для примера шахматы. Чем руководствуется шахматист, оценивая ситуацию и делая тот или иной ход, - прецедентами, прошлым опытом, умением, интуицией, догадкой, вариантным просмотром будущих шагов противника и своих – нам пока неизвестно. Одним словом, мы мало знаем о мыслительных процессах шахматиста. Но мы точно представляем, что происходит в ЭВМ, когда она «играет» в шахматы, каковы процессы поиска решений, не имеющие никакого отношения к мышлению. Ибо человек составил для неё программу-инструкцию, как выбирать тот или иной ход.

Так что в действительности в шахматы играет не машина и не программа, а человек, который сумел формализовать шахматную игру и разработать для нее программу. Именно он использовал возможности ЭВМ накапливать знания в виде машинных программ и запускать их в нужный момент времени. С этой точки зрения шахматный турнир программ, по сути, есть соревнование между математиками-программистами, создавшими шахматные программы.

Роль метафоры весьма значительна для познавательной деятельности человека. Она весьма конструктивна, ибо побуждает создателей машин и программ к генерации новых идей, акцентирует их внимание на особенностях интеллектуальной деятельности людей в различных ситуациях и условиях.

Исследования показывают, что метафора Человек и его деятельность является самой распространенной в научных, учебных и научно-популярных текстах по вычислительной технике, информатике и информационным технологиям. В качестве примера приведем результаты нашего исследования использования метафоры в компьютерных журналах [Филиппович, 2002-б].

Более чем в 360 статьях различных авторов, опубликованных в 23 «компьютерных» журналах (таких как: Computer Week, Computer World, Hard&Soft, Internet, LAN Magazine, Mega Game, PC Magazine, PC Week, Домашний компьютер, ИнфоБизнес, КомпьюАрт, Компьютер в школе, Компьютер Пресс, Компьютерный еженедельник, КомпьюТерра, Монитор, Мир ПК, Открытые системы, Подводная лодка, Сети, Софт Маркет, СУБД), было выделено 598 разных метафор и метафорических выражений, определяющих аппаратные и программные средства вычислительной техники (ЭВМ, периферийное оборудование, комплектующие, аксессуары, программы, базы данных и др.). Из этого числа 143 (24 %) связано с той или иной характеристикой человека. В таблице 1 приведены некоторые из встретившихся метафорических моделей (переносов).

Таблица 1

<b>ЧЕЛОВЕК</b>	
<i>ВОЗРАСТ ЧЕЛОВЕКА</i>	
<b>МАЛЫШ</b>	SCANROM
<i>ДУША ЧЕЛОВЕКА</i>	
<b>ДУША</b>	ПРОГРАММА УПАТС
<i>ОБЪЕДИНЕНИЯ ЛЮДЕЙ</i>	
<b>"ДРУЗЬЯ"</b>	ШРИФТЫ
<b>&lt;СОБЕСЕДНИК&gt;</b>	ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ FILEMAKER PRO
<b>СОБРАТЬЯ</b>	ПОЛЬЗОВАТЕЛИ
<i>ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА</i>	
<b>&lt;АГРЕССОР&gt;</b>	АТ&Т
<b>&lt;БОРЕЦЫ&gt;</b>	КОМПЬЮТЕР, МОДЕМЫ
<b>&lt;ВРАГИ&gt;</b>	НАКОПИТЕЛИ
<b>&lt;ВСТРЕЧАЮЩИЙ&gt;</b>	ДИСКОВОД ZIP
<b>ЖИЗНЬ</b>	ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОГРАММЫ
<b>"ИСПОЛНЯЮЩИЙ ОБЯЗАННОСТИ"</b>	МИКРОСХЕМА
<b>КАПРИЗНЫЙ &lt;...&gt;</b>	BUILD-IT; FORM EDITOR; ОС UNIX; КОМПЬЮТЕР;
	ПРИНТЕР; ПРОГРАММА [2]; ТЕЛЕФОННЫЕ
	ЛИНИИ; ФАЙЛОВАЯ СИСТЕМА ОС UNIX
<b>&lt;КОЛЛЕГА&gt; ТОВАРИЩ ПО РАБОТЕ</b>	КОМПЬЮТЕР
<b>"КОМПЬЮТЕРНЫЕ РАЗГОВОРЫ"</b>	ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫЙ ДИАЛОГ
<b>КОПУША</b>	КОМПЬЮТЕР
<b>ЛИСТАТЬ</b>	СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПЕРЕВОДА
<b>&lt;ЛЮДИ&gt;, ГОВОРЯЩИЕ НА РАЗНЫХ</b>	ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ И СЕРВЕР;
<b>ЯЗЫКАХ</b>	ФОТОАППАРАТ И ПРИНТЕР
<b>&lt;ЛЮДИ&gt; ЗНАЮЩИЕ</b>	АКССЕСУАРЫ ПК
<b>&lt;ЛЮДИ&gt; УЖИВЧИВЧИВЫЕ</b>	КОМПЬЮТЕРЫ; УТИЛИТЫ
<b>"МЫСЛЕЧТЕЦЫ"</b>	УЧЕНЫЕ СПЕЦИАЛИСТЫ
<b>ОТКАЗЫВАЮЩИЙСЯ РАБОТАТЬ</b>	ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ [2]
<b>УБИЙЦА</b>	КАРТРИДЖИ
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; АКТИВНЫЙ</b>	ДАННЫЕ [2]
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; БЕГУЩИЙ</b>	ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; БОЛЕЮЩИЙ</b>	MS WORD
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ВИДЯЩИЙ</b>	ПРИЛОЖЕНИЯ
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ВЫДАЮЩИЙ</b>	ПРИНТЕР
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ГОВОРЯЩИЙ</b>	КОМАНДА EXPORT ВЕРСИИ FILEMAKER PRO 4.0;
	СУБД FOXPRO
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ДРУЖЕСТВЕННЫЙ</b>	ИНТЕРФЕЙС; КОМПЬЮТЕР
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ДУМАЮЩИЙ</b>	ОС WINDOWS
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ДЫШАЩИЙ</b>	ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ; УЗЕЛ RID
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ЖИВУЩИЙ</b>	СИСТЕМА SOLARIS
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ЗАЙКАЮЩИЙСЯ</b>	ИГРА (ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ)
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ЗАНЯТОЙ</b>	СЕРВЕР
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ЗАТРУДНЯЮЩИЙСЯ</b>	ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ЗАХЛЕБНУВШИЙСЯ</b>	ВИДЕОАДАПТЕРЫ ШИНЫ PCI
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ЗДОРОВЫЙ</b>	MS WORD
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; (НЕ) ЗНАЮЩИЙ</b>	МОДЕМ; СУБД; СЕТЬ
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ИСПОЛЬЗУЮЩИЙ</b>	СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ
	АРХИВНЫЕ СИСТЕМЫ
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ИСПРАВИВШИЙСЯ</b>	ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ЛОМАЮЩИЙ</b>	СЕТЕВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; МУСКУЛИСТЫЙ</b>	ГРАФИЧЕСКИЙ АДАПТЕР; НАСТОЛЬНЫЙ ПК
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; НЕМОЙ</b>	ТЕРМИНАЛ
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; (НЕ) УЖИВЧИВЫЙ</b>	НАКОПИТЕЛЬ
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ОБЛАМЫВАЮЩИЙ ЗУБЫ</b>	ПРОГРАММА ПЕРЕВОДА
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ОЗНАКОМИВШИЙСЯ</b>	КОМПИЛЯТОР TASM
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ПОДДЕРЖИВАЮЩИЙ</b>	ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ПОДСКАЗЫВАЮЩИЙ</b>	ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ПОЗВОЛЯЮЩИЙ</b>	ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА

<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ПОМОГАЮЩИЙ</b>	ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ  2
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ПОНИМАЮЩИЙ</b>	БРАУЗЕР; ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ; СЕРВЕР; ЭВМ; ЦИФРОВОЕ УСТРОЙСТВО
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ПРЫГАЮЩИЙ</b>	ФИРМА-ПРОИЗВОДИТЕЛЬ КОМПЬЮТЕРОВ
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; РАЗУМНЫЙ</b>	СЕТЬ, БАТАРЕИ
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; РОДИВШИЙСЯ</b>	КОМПЬЮТЕР
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; РУГАЮЩИЙСЯ</b>	ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; С ПЛОХОЙ ПАМЯТЬЮ</b>	ОС WINDOWS 95
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; САМОСТОЯТЕЛЬНЫЙ</b>	СЕРВЕР MODEL 8000 REMOTE ACCESS
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; СЛЕДЯЩИЙ</b>	ПРОГРАММА STALKER; ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ; СИСТЕМА ОБРАБОТКА РЕЧИ
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; СОВЕТУЮЩИЙ</b>	ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; СООБЩАЮЩИЙ</b>	ПРОГРАММА ИНСТАЛЛЯЦИИ
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; СПРАШИВАЮЩИЙ</b>	ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; СПЯЩИЙ</b>	КОМПЬЮТЕР; ПК; СИСТЕМНАЯ ПЛАТА
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; СРЫВАЮЩИЙ</b>	ZIP-ДИСКЕТА
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; СТИРАЮЩИЙ</b>	ПРОГРАММА ВИРУС
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ТРЕБУЮЩИЙ</b>	КЛАВИАТУРА MAGNAVOX; ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ POINTCAST И PATROL  2
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; УБЕЖДАЕМЫЙ</b>	ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; УЗНАЮЩИЙ</b>	СИСТЕМА МАШИННОГО ПЕРЕВОДА
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; УМЕЮЩИЙ</b>	КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА; ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА LINUX
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; УМИРАЮЩИЙ</b>	MS INTERNET EXPLORER; ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; УМНЫЙ</b>	СЕРВЕР ПЕЧАТИ
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; УСТАЮЩИЙ</b>	КОМПЬЮТЕР
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ЧИТАЮЩИЙ</b>	ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ  2
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ... ЧУВСТВУЮЩИЙ СЕБЯ</b>	WINDOWS 98; ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ
<b>&lt;ЧЕЛОВЕК&gt; ЮТЯЩИЙСЯ</b>	ПРОГРАММЫ
<i>ПОЛОЖЕНИЕ В ОБЩЕСТВЕ, РОД ЗАНЯТИЙ, ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА</i>	
<b>АГЕНТ</b>	ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ
<b>АДВОКАТ</b>	ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ
<b>&lt;АНАЛИТИК&gt;</b>	ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ
<b>&lt;БОКСЕРЫ&gt;</b>	ДИСКОВОД CD-RW И НАКОПИТЕЛЬ DVD-RAM
<b>ВЗЛОМЩИК</b>	ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ
<b>&lt;ВРАЧ-БИОФИЗИК&gt;</b>	КОМПЬЮТЕР
<b>ГЕГЕМОН</b>	ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ BORLAND
<b>"ДИРИЖЕР"</b>	СИСТЕМНАЯ ОБОЛОЧКА
<b>&lt;ИЖДЕВЕНЕЦ&gt;</b>	ПРИНТЕР
<b>МАСТЕР</b>	ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ
<b>МОГИЛЬЩИК</b>	УСТРОЙСТВО ЗАПИСИ НА НОСИТЕЛИ ИНФОРМАЦИИ
<b>&lt;НОСИЛЬЩИК&gt;</b>	НАКОПИТЕЛЬ
<b>ОТПРАВИТЕЛЬ ПАКЕТОВ</b>	СЕРВЕР NETWARE
<b>&lt;ПОБЕДИТЕЛЬ&gt;</b>	PAGEMAKER
<b>&lt;ПОЛИТИК&gt;</b>	ОС
<b>ПУТЕШЕСТВЕННИКИ</b>	БИТЫ
<b>"РЕЧЕПИС"</b>	ПРОГРАММА РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ
<b>СЕКРЕТАРЬ</b>	МИНИКОМПЬЮТЕР; МОДЕМ; ПРОГРАММНЫЙ ПРОЦЕСС
<b>СБОРЩИК МУСОРА &lt;МУСОРИК&gt;</b>	ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ
<b>СТОРОЖ</b>	ТАЙМЕР
<b>ФОКУСНИК</b>	КОМПЬЮТЕР
<b>ЧЕРНОРАБОЧИЙ</b>	КОМПЬЮТЕР
<i>ТЕЛО ЧЕЛОВЕКА</i>	
<b>&lt;КОМПЛЕКСИЯ&gt;</b>	СЕТЕВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ  3
<b>ПЛОТЬ</b>	ПРОГРАММНЫЙ КОД
<b>СПИНА</b>	ЗАДНЯЯ СТОРОНА ПК
<b>"СПИННОЙ МОЗГ"</b>	BIOS

УМ ЧЕЛОВЕКА  
"ГЛЮКИ"  
МОЗГ ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ  
ОБМЕН МЫСЛЯМИ  
"ТВОРИТЬ" МЫСЛЬЮ  
УМНЫЙ

НЕПОЛАДКИ  
ИНТЕРНЕТ  
ИНТЕРНЕТ  
ИСПОЛЬЗОВАТЬ CYBERLINK INTERFACE  
ПРОГРАММОУПРАВЛЯЕМЫЙ

*Определения, толкования, ассоциации и сравнения Искусственного интеллекта*

Метафоры возникают тогда, когда нам нужно вызвать ассоциации, позволяющие представить то, что скрывается за нашими словами. Люди обладают своим индивидуальным опытом, своим истолкованием мира и своих действий в нем, всего того, что видят и слышат. Ассоциации, вызываемые в них теми или иными словами-метафорами различны. Всегда возможны оттенки мнений, разница в суждениях и толкованиях, несхожесть в определениях.

*Словарные определения*

Рассмотрим сначала такие определения ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА, которые нормируются различными словарями.

В русских словарях, изданных до 1970 года, это словосочетание не приводится ни в качестве заголовочного слова, ни в качестве устойчивого словосочетания в каких-либо других словарных статьях.

Видимо первое нормированное определение того, что есть ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, появилось в 1980 году в Советском энциклопедическом словаре [СЭС, 1980]:

*«Искусственный интеллект», условное обозначение кибернетических систем, моделирующих некоторые стороны интеллектуальной деятельности человека — логическое, аналитическое мышление.*

В толковом словаре С.И.Ожегова, Н.Ю.Шведовой словосочетание ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ приводится в словарной статье с заголовочным словом ИСКУССТВЕННЫЙ, начиная только с 23-ого издания 1992 года [ТСРЯ, 1992]. Там дается такое определение:

***Искусственный интеллект** — раздел информатики, разрабатывающий методы моделирования отдельных функций творческой деятельности человека.*

В научно-справочных изданиях определение Искусственного интеллекта появилось в 1979 году в Словаре по кибернетике под редакцией академика В.М.Глушкова, и в нем дано такое определение [СК, 1979]:

***Искусственный интеллект** (лат. *Intellectus* — разум, рассудок) — 1) Искусственная система, имитирующая решения человеком сложных задач в процессе его жизнедеятельности. 2) Направление научных исследований, сопровождающих и обуславливающих создание систем И.и., построенных на базе средств вычислительной*

*техники и предназначенных для восприятия, обработки и хранения информации, а также формирования решений по целесообразному поведению в ситуациях, моделирующих состояние мира природы и общества. Исследования в области И.и. находятся на стыке психологии, лингвистики, философии, социологии, математики и вычислительной техники.*

В переводных англо-русских словарях определение Искусственного интеллекта появилось в издании 1978 года Терминологического толкового словаря фирмы IBM «Вычислительная техника и обработка данных» [ТТС IBM, 1971] (Data processing glossary. C20-1699. IBM August, 1971). Под позицией 120 там значилось:

***artificial intelligence** — искусственный интеллект. Способность устройства выполнять функции, присущие человеческому интеллекту, такие, как рассуждение, обучение, самоусовершенствование. Термин относится к самообучению машин.*

Приведем еще одно определение из англо-русского словаря по лингвистике и семиотике под редакцией А.Н.Баранова и Д.О.Добровольского 1996 года [АРСЛС, 1996], которое дополняет общую картину нормированных определений:

***artificial intelligence** искусственный интеллект. Научное направление, в рамках которого разрабатываются теоретические и практические принципы компьютерного моделирования интеллектуальных способностей человека, в том числе способности к пониманию естественно-языковых выражений и их синтезу.*

#### *Толкования*

Интересно сравнить несколько попыток толкования искусственного интеллекта, сделанных теми учеными, которые стояли у истоков этого научного направления. Приведем подробно рассуждения об искусственном интеллекте А.Эндрю автора книги «Искусственный интеллект» [Эндрю, 1985]. В них сделана попытка толкования через объяснения понятий ИНТЕЛЛЕКТ и МАШИНА.

В области исследований, называемой искусственным интеллектом, изучаются способы создания вычислительных машин, обладающих «интеллектуальным» поведением. Чтобы лучше понять сущность таких исследований, необходимо, прежде всего, разобраться в смысле самого понятия интеллект и вытекающего отсюда понятия интеллектуального поведения.

Необходимо сказать и о том, что может подразумеваться под словом машина в современном понимании, хотя этот вопрос несравненно более простой, чем попытка определить интеллект. По существу, последний так и не получил достаточно удовлетворительного объективного определения. Поэтому, хотя мы еще коснемся в дальнейшем данного вопроса, в конечном счете, нам придется вернуться к нашему

интуитивному представлению об интеллекте, но дополненному и расширенному на основании результатов тех исследований, которые по сложившейся традиции принято относить к области искусственного интеллекта.

В данном контексте слово машина обычно означает некоторую программу, реализуемую на универсальной вычислительной машине. В некоторых случаях строились электронные устройства специального назначения, но по своей сущности они аналогичны вычислительным машинам. Такие «машины» по своим свойствам и виду совершенно не похожи на грубые и мощные машины, характерные для первой промышленной революции. Однако в последние годы наблюдается определенная тенденция, направленная на создание все более сильных («мускулистых») машин искусственного интеллекта. В одном из разделов искусственного интеллекта, называемом роботикой<sup>5</sup>, рассматриваются вопросы использования интеллектуальных машин для манипулирования предметами в реальном мире.

Что такое интеллект?

Психологи обычно с большой осторожностью подходят к вопросу об определении понятия интеллекта. Как заметил один из них, единственное непротиворечивое определение состоит в следующем: «Интеллект — это то, что оценивается в интеллектуальных тестах». Некоторые исследователи, работающие в области искусственного интеллекта, пошли именно по этому пути, составив программы для решения задач типа тех, которые предлагаются в тестах по проверке уровня интеллектуальности.

Однако предпочтительнее было бы иметь более общее определение. Интеллект иногда определяют как способность правильно реагировать на новую ситуацию. С таким определением хорошо согласуются и результаты некоторых экспериментов по оценке «уровня интеллектуальности» животных. Предположим, что обезьяна находится в комнате, где с потолка свисает гроздь бананов; однако они расположены слишком высоко, чтобы обезьяна могла их достать с пола. Но в комнате имеется коробка, подставив которую под бананы и взобравшись на нее, обезьяна могла бы дотянуться до лакомства. Если обезьяна действительно проделывает эту операцию и срывает гроздь бананов, то тем самым она проявляет способность думать, т. е. интеллект. Перед обезьяной ставили и более сложную задачу: используя палку или, соединяя две палки вместе, она должна была «выудить» фрукты с большого расстояния.

Тип «интеллекта», проявляющийся в подобных опытах, близок к нашему интуитивному определению этого понятия, однако такое определение не вполне объективно.

---

<sup>5</sup> В настоящее время это направление ИИ обычно называется *робототехникой*.

Чтобы установить, что данная ситуация является «новой» в точном смысле слова, необходимо субъективное суждение. Например, перед карманным калькулятором поставлена задача перемножить два числа; если эти числа велики и не относятся к хорошо известным числам типа приближенного значения числа «пи» или числа дюймов в миле, то вполне возможно, что такая задача будет совершенно новой для калькулятора, ибо он никогда прежде не сталкивался с перемножением таких чисел. Тем не менее, нам обычно не приходит в голову считать его «разумным» на том основании, что он правильно реагирует в новой ситуации. «Новизна» этой ситуации совсем иная, чем в случае обезьяны и бананов, но это отличие трудно сформулировать точно.

Попытка определить понятие «интеллект» равносильна попытке дать определение мышлению при ответе на вопрос «могут ли машины мыслить?». Можно сказать, что сама проблема искусственного интеллекта и есть не что иное, как попытка ответить на этот вопрос. То обстоятельство, что сегодня мы вряд ли могли бы рассматривать микрокалькулятор как «интеллектуальное» или «мыслящее» устройство, свидетельствует именно о том, что любая попытка создать интеллектуальную или думающую машину автоматически подразумевает самоотрицание. Сам факт, что машина обладает некоторым типом поведения, заставляет людей говорить: «Это не то, что мы подразумеваем под мышлением, ибо мы понимаем, как машина может это делать». Пока разработка искусственного интеллекта не достигнет своей высшей цели — дублирования каждого аспекта человеческого интеллекта (что, по-видимому, неосуществимо в обозримом будущем), ему обязательно будет присуще такое самоотрицание. Как обречена на провал попытка человека дойти до места, где «начинается» радуга, так и маловероятно достижение этой цели при создании искусственного интеллекта. Впрочем, поиски будут небесплодны — они обогатят нас новыми знаниями. Несколько поколений назад люди, несомненно, сочли бы карманный калькулятор «интеллектуальным», а сегодня для такой оценки от машины требуется гораздо большее.

Поэтому искусственный интеллект — это область исследований, направленных на то, чтобы заставить машины выполнять функции, которые в настоящее время для них слишком трудны, и особенно такие функции, которые способны выполнять люди. Слова «в настоящее время... трудны» говорят о том, что подобное определение должно быть «скользящим», т. е. меняться со временем, точно так же как изменяется наше представление о «думающей машине» по мере развития техники. Поскольку эта проблема искусственного интеллекта, по существу, беспредельна и она привлекла к себе многих способных людей, ее по праву считают «передним краем» разработок в области вычислительной техники.

Приведем еще три толкования, которые подчеркивают некоторые теоретические и практические особенности Искусственного интеллекта.

«Искусственный интеллект — это наука о концепциях, позволяющих вычислительным машинам делать такие вещи, которые у людей выглядят разумными. Центральные задачи искусственного интеллекта состоят в том, чтобы сделать вычислительные машины более полезными и понять принципы, лежащие в основе интеллекта. У нас нет горячего желания копировать человеческий интеллект, как нет и предубеждений против применения методов, которые, по-видимому, используются в интеллекте человека. Общий результат состоит в формировании общей точки зрения, которая привносит новую методологию и ведет к созданию новых теорий. Иначе говоря, методология, используемая, чтобы сделать разумные машины, может быть, видимо, применена и для того, чтобы сделать разумнее самих людей». [Уинстон, 1980].

«Искусственный интеллект ставит перед собой серьезную задачу построения теории интеллекта, базирующейся на обработке информации. Если бы такую теорию интеллекта можно было создать, то с ее помощью можно было бы направленно вести разработку интеллектуальных машин. Кроме того, можно было бы прояснить детали интеллектуального поведения, проявляющиеся у людей и животных». [Нильсон, 1985].

«Какова цель искусственного разума? По нашему мнению, эта цель состоит в создании таких программ для вычислительных машин, поведение которых мы бы назвали «разумным», если бы обнаружили его у людей» [Э. Фейгенбаум, Дж. Фельдман].

### *Ассоциации*

Приведенное ранее определение слова ИНТЕЛЛЕКТ и его научные толкования хорошо усвоены носителями русского языка, об этом свидетельствуют и исследования. В качестве примера приведем содержание словарной статьи из «Русского ассоциативного словаря», полученного в результате обработки данных массового ассоциативного эксперимента [РАС, 1994]:

ИНТЕЛЛЕКТ: ум 17; высокий 10; низкий 7; развитый 4; IQ, умный, хороший 3; высший, глубокий, мозг, на нуле, умственный 2; большой, вежливый, взлет, всестороннее развитие человека, голова, зануда, звезды, и разум, иметь, интеллигент, интересный, карандаш, коэффициент, круто соображать, мало, мощный, начальник, не нужен, небольшой, нулевой, общение, очень невысокий, повышенный, представление, развиваться, развит, разум, сильный, среднее, средний, странный, тест, тормоз, у меня, упал, учеба, ученый, хорошо, шахматы, эрудит, юный 1

Заголовочное слово ИНТЕЛЛЕКТ в эксперименте являлось словом-стимулом, слова, включенные в словарную статью — это слова-реакции испытуемых, а числа, приведенные

после слов-реакций — частоты их ответов. Как видно из словарной статьи наиболее частой реакцией является почти прямой перевод древнегреческого понятия УМ.

В тоже время слово ИНТЕЛЛЕКТ испытуемые связывали и с другими словами — стимулами, т.е. оно оказывалось неоднократно и словом —реакцией.

ИНТЕЛЛЕКТ 9 искусственный; 6 повышенный; 2 высокий, развитой, разум, ум; 1 высший, дворник, диалект, доцент, живой, знать, интеллигент, использовать, кругозор, культура, малый, мышление, наука, обучение, огромный, природный, разумница, самый, специалист, спор, талант, узкий, уровень, чистый, шахматы, шашки, широчайший

В специально проводимом нами ассоциативном эксперименте, посвященном изучению знаний студентов терминов информатики и вычислительной техники были получены следующие результаты [Филиппович, 2002-в]:

### **Слово-стимул — ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ**

Слова-реакции — компьютер 6; AI, мозг, процессор 3; будущее, робот, ЭС 2; LISP, NLM, PC, автопилот, выражение, думает, интеллект, Каспаров, наука, не создан, Нейман, новая раса, проблемная область деятельности, программа, профессор, разработан, системы ИИ, системы, терминатор, утопия, ЭВМ, экспертиза, экспертная система 1.

### *Сравнения*

Существующее множество различных определений искусственного интеллекта как объекта можно обобщить и свести к четырем типам, представленным в табл.1. Определения в верхней строке связаны с *мыслительными процессами и рассуждениями*, в нижней — с *поведением*. Формулировки слева определяют ИИ с точки зрения реализации человеческого мозга (*бионическое* направление), а те, что справа относятся к идеальному понятию интеллекта, которое связывают с рациональностью (*информационный* подход). Исторически, развивались все четыре подхода.

**Таблица 2. Сравнение четырех подходов к ИИ**

Системы, которые думают как люди.	Системы, которые думают рационально.
Системы, которые действуют как люди.	Системы, которые действуют рационально.

Действовать по-человечески: Тест Тьюринга. Тест, предложенный Аланом Тьюрингом в 1950 г., был одной из первых попыток определить ИИ. Тьюринг определил интеллектуальное поведение как способность достигать исполнения на человеческом уровне всех познавательных задач, достаточных, чтобы обмануть тестирующего. Грубо говоря, тест, который он предложил, заключается в том, что компьютер должен опрашиваться человеком через телетайп. Если тестирующий не может сказать компьютер это или человек, то

компьютер можно считать интеллектуальным. Для создания такого компьютера сегодня нужно над многим поработать. Компьютер должен обладать следующими компонентами:

- естественным языковым процессором для успешного общения на некотором человеческом языке;
- базой знаний для хранения информации, полученной перед или в течение опроса;
- автоматическим пониманием, чтобы использовать полученную информацию для ответов на вопросы и получения новых выводов;
- машинным обучением, чтобы приспосабливаться к новым обстоятельствам, обнаруживать и экстраполировать новые объекты (модели).

Тест Тьюринга умышленно исключает прямое физическое взаимодействие между тестирующим и компьютером, поскольку физическое моделирование человека необязательно для интеллекта. Тем не менее, так называемый общий Тест Тьюринга включает видео сигнал, чтобы тестирующий мог проверить способность ИИ воспринимать наглядную информацию и механизм передачи компьютеру физических объектов "через люк". Для того чтобы удовлетворить общему Тесту Тьюринга, компьютеру дополнительно нужно иметь:

- машинное зрение, чтобы воспринимать объекты;
- робототехнику, чтобы перемещать их.

Думать по-человечески: познавательная (когнитивная) модель. Чтобы говорить о том, что программа может думать как человек, необходимо знать, как он на самом деле это делает, нужно проникнуть в суть работы человеческого сознания. Есть два основных пути, чтобы сделать это: через интроспекцию (попытаться фиксировать собственные мысли в порядке их следования) или через проведение психологического эксперимента.

Как только появится достаточно точная теория интеллекта и организации его познавательных функций, станет возможным ее реализация с помощью компьютерной программы. Информационные технологии могут служить эффективным инструментом для проверки гипотез или подтверждения их истинности. Например, если вход и выход программы сопоставить человеческому поведению, то это подтвердит, что некоторые программные механизмы могут также действовать среди людей. Newell и Simon, разработавшие в 1961 GPS (Общий Решатель Задач) [Хант, 1978], были заняты сравнением особенностей понимания и решения проблем программой и человеком. Это отличается от других исследований того времени [Russell, 1994], которые имели дело с выводом правильных ответов независимо от того, как их получает человек.

В настоящее время большой вклад в развитие когнитивных моделей вносят такие науки как семиотика, лингвистика и психофизиология. Значительные успехи в области компьютерных технологий привели к появлению междисциплинарной области когнитивной психологии, которая сводит вместе компьютерные модели ИИ и экспериментальные методы психологии, пытаться создать точную и тестируемую теорию работы человеческого мозга. Последние тенденции и новейшие разработки в области когнитивных моделей и теории познания оказали влияние на выделение этой области исследования в новую научную дисциплину, получившую название «когнитивная наука» или «когнитология».

Думать рационально: законы мышления. Греческий философ Аристотель был одним из первых, попытавшимся определить "правильное мышление" как неопровержимые процессы мышления. Его знаменитые силлогизмы демонстрируют примеры структур аргументов, которые всегда делают правильные выводы при корректно заданных предпосылках. Например, "Сократ — человек; все люди смертны: следовательно Сократ смертен".

Есть два основных препятствия в этом направлении. Во-первых, неформальное знание не так легко представить в формальной форме, требуемой логической нотацией, особенно, когда знание определено менее чем на 100%. Для преодоления этого ограничения были разработаны специальные математические аппараты многозначных и модальных логик; теорий возможности, доверия, уверенности и т.д. Во-вторых, есть большое различие между решением задачи "в принципе" и реализацией ее на практике. Даже проблемы с несколькими дюжинами фактов могут исчерпать все вычислительные ресурсы любого компьютера, если у него нет механизма, определяющего правильную последовательность шагов. Хотя оба этих препятствия относятся к любой попытке сформировать вычислительные рассуждающие системы, они впервые появились в логике, где мощность представляющих и рассуждающих систем отчетливо выражена и довольно хорошо понятна.

Действовать рационально: рациональный агент. В рамках этого направления ИИ рассматривается как создание и исследование рациональных агентов, под которым подразумевается программа или робот, которые воспринимают информацию и выполняют определенные действия. Действовать рационально предполагает оптимальное достижение заданной цели при имеющихся или заданных ограничениях.

Из "Законов мышления" Аристотеля следует, что единственный путь действовать рационально — это делать правильные логические выводы о том, что данное действие достигнет заданной цели, а затем действовать. Однако, такой подход не всегда возможен, т.к. существуют ситуации, где нет доказуемо правильной операции, которую нужно сделать.

Есть также способы действовать рационально, которые не включают логический вывод. Например, выдергивание руки из горячей печи: рефлекторное действие более успешно, чем медленное действие, выполненное после тщательного рассуждения.

### *Цели и возможности Искусственного интеллекта*

Попытка заставить машины действовать как можно более «разумно» (что бы под этим ни подразумевалось) привлекательна сама по себе, и как часто бывает, увлекаясь, многие исследователи, работающие в этой области, не делают серьезных попыток мотивировать свою деятельность. Однако, из приведенных выше толкований следует, что в исследованиях по искусственному интеллекту все-таки можно выделить следующие основные цели.

Одна из них, ее часто называют *информационной*, или эвристической, или прагматической, состоит в создании программ для вычислительных машин, с помощью которых удалось бы автоматизировать такие виды человеческой деятельности, которые традиционно считаются интеллектуальными. При этом, как будут построены эти программы, насколько близки или далеки будут те способы, которыми они достигают поставленной цели по сравнению с человеческими способами, абсолютно не важно. Имеет значение лишь конечный результат, его совпадение с тем, который получает человек при решении той же задачи.

Некоторые работы по искусственному интеллекту были начаты с заявления, что цель этих работ заключается в выяснении процессов, связанных с мышлением человека, путем их моделирования в программах для вычислительной машины. Некоторые энтузиасты даже утверждали, что ни один истинный психолог не приступит к работе без создания такого рода моделей. В качестве примера можно привести исследования Ньюэлла, Шоу и Саймона по созданию универсального решателя задач, которые были направлены на моделирование поведения испытуемых, решающих те или иные задачи.

Вторая цель — ее принято называть *бионической* — состоит в использовании программ искусственного интеллекта для объяснения умственной деятельности человека во время решения им тех или иных задач. В этом случае программы должны моделировать сам процесс получения результата человеком, помогать постигать эти процессы.

Даже в том случае, когда создание программы не является попыткой смоделировать экспериментально наблюдаемое поведение человека, сама поставленная цель — построить «интеллект» — предполагает моделирование действий человека на некотором уровне, а следовательно, и возможность более глубокого понимания естественного интеллекта.

Эти две цели соответствуют и двум ветвям исследований. Одна из них объединяет специалистов, считающих, что машинные способы решения интеллектуальных задач, требующих

участия человека, должны строиться без строгой оглядки на него. Знания о том, как человек решает те или иные задачи, могут использоваться при составлении машинных программ, но только в том случае, когда они достаточно эффективны и строго описаны.

Специалистами, исповедующими бионическую точку зрения, считается, что для достижения каких-либо успехов в области воспроизведения интеллектуальной деятельности необходимо создать техническими средствами сам субстрат, в котором разворачиваются психические процессы — человеческий мозг. Основой этого могут быть исследования того, как протекают процессы его функционирования на физиологическом, биохимическом или даже генном уровне. Поэтому «бионически мыслящие» ученые в отличие от своих «информационно ориентированных» коллег уповают не на современные вычислительные машины, а на специально конструируемые сети искусственных нейронов и другие аналоги конструкций, присущих нервной системе человека.

Хотя эти направления и различаются по целям, преследуемым их сторонниками, нужно отметить и их взаимовлияние.

В некоторых программах искусственного интеллекта используются принципы, явно не соответствующие способам, к которым прибегает человек для достижения подобного результата. Например, все существующие хорошие программы для игры в шахматы, по общему мнению, не копируют методов анализа партии, которым пользуются шахматисты. Но даже в этом случае изучение методов решения проблем, необходимое для создания программы, может косвенным образом углубить наше понимание методов, к которым прибегает человек. Такое изучение в какой-то мере развивает интуицию, касающуюся природы рассматриваемой задачи, и дает возможность выдвигать кое-какие гипотезы относительно методов, которые могли бы использоваться шахматистами-людьми.

Наряду с этими двумя направлениями существует и третье, которое называется *эволюционным*. Его представители считают, что интеллектуальные программы надо выращивать, как люди растят своих детей. Программы, по их мнению, только тогда станут по настоящему интеллектуальными, когда приобретут способность обучаться тому, чего они раньше абсолютно не умели делать. Целью при этом становится создание адаптирующихся, самообучающихся и самоорганизующихся систем.

Вот как на этот счет высказываются Л. Фогель, А. Оуэнс и М. Уолш в своей книге, посвященной пропаганде эволюционного подхода к созданию интеллектуальных программ: «Как бионический, так и эвристический подход к проблеме искусственного интеллекта носят в основном описательный характер, т. е. представляют собой попытки моделирования природы в том виде, в каком она нами наблюдается. В противоположность этому эволюционный подход носит, прежде всего, нормативный характер, так как является попыткой моделирования

эволюционного процесса в том виде, в каком он мог бы происходить в природе, попыткой описания того, что должно было бы быть, вместо того, что есть. Ученый действует, чтобы знать, в то время как инженер знает, чтобы действовать. При эволюционном подходе исследователь в процессе умозрительного синтеза своей модели становится на позицию инженера» [Фогель, 1969].

Какой бы подход к построению интеллектуальных программ не был выбран, ясно, что существует некоторая методология их создания, какие-то приемы их построения. Если такие программы несут в себе некоторые знания о том, как решается та или иная творческая задача, то должны существовать знания более высокого уровня — метазнания, о том, как строить программы, овеществляющие некоторые конкретные знания. И, по-видимому, несмотря на хорошо известное пессимистическое высказывание крупного специалиста в области построения интеллектуальных программ Э. Ханта — «Если бы физики или химики взяли да дали абстрактное определение своих областей знаний, то вы, скорее всего, не нашли бы разногласий ни среди тех, ни среди других. Вряд ли бы обнаружилось такое единодушие, если бы пришлось собрать вместе разных ученых, занимающихся искусственным интеллектом» [Хант, 1978], но все-таки можно найти некоторую общую платформу, на которой удастся объединить мнения практически всех специалистов, занятых исследованиями в области искусственного интеллекта.

Эта платформа может быть связана с выделением специальных объектов, ранее не изучавшихся ни в одной из наук. Этими объектами являются метапроцедуры, с помощью которых человек способен строить конкретные программы своей интеллектуальной деятельности, либо метапроцедуры, обладающие такой же силой при их реализации в технических системах, но может быть, и не свойственные интеллекту человека. Будем называть такой подход *метапроцедурным* или методологическим [Левитин, 1991. С.9]. Его целью является интегрировать результаты разных научных направлений и сформировать общую теорию искусственного интеллекта, а на ее основе и инженерную практику создания интеллектуальных систем. Кроме того, можно было бы прояснить детали интеллектуального поведения проявляющегося у людей и животных.

Поскольку построение такой общей теории пока остается в значительной степени нерешенной задачей, то основное внимание разработчиков систем искусственного интеллекта сконцентрировано на тех принципах, которые касаются конкретных инженерных задач построения интеллектуальных машин. И даже при таком ограниченном подходе эти принципы могут представить интерес для психологии познания других областей, нацеленных на понимание естественного интеллекта [Нильсон, 1985].

Из того, что было представлено, можно сделать вывод, что за словами *искусственный интеллект* стоит некоторая важная научная проблема. Эта проблема

выделяет область исследований и разработок искусственного интеллекта среди всех других работ в области вычислительной техники и программирования в самостоятельное научное направление. Проблему определяют два важных вопроса, остающихся открытыми [Эндрю, 1991]:

*а. Действительно ли методы, которые объединены в понятии искусственный интеллект, имитируют в значительной мере то, что мы понимаем под интеллектом?*

*б. Существуют ли такие аспекты интеллекта человека, которые в принципе нельзя смоделировать на вычислительной машине?*

Первый из этих вопросов коррелирует с вопросом: могут ли машины мыслить? Оба эти вопроса весьма неточны и ответы на них во многом зависят от нашего интуитивного представления об интеллекте, а также от целого ряда других, столь же нечетких понятий. В связи с этим единственное, в чем не следует сомневаться, так это в том, что вследствие нечеткости самих вопросов при их рассмотрении нам необходимо сразу же отказаться от тенденциозных суждений. Например, не усматривать в том или ином виде деятельности проявления интеллекта только на том основании, что он осуществляется машиной.

Оценки должны быть весьма осторожными, хотя бы с оглядкой на прогресс фантазийных персонажей литературных произведений. Совсем недавно это были — гомункулулы, франкенштейны, а сейчас роботы, киборги, андройды. Следует обратить внимание на все более детальное описание от одного литературного примера к другому основных функций современных роботов и киборгов. Такие «функциональные спецификации» все более походят на технические задания для инженерных разработок. При этом в основном специфицируются исключительно интеллектуальные функции этих фантазийных существ путем вербального или графического описания.

В связи с этим *возможность искусственного интеллекта как объективная тенденция его развития* выглядит вполне определенно — *постепенная реализация в инженерных решениях одной за другой интеллектуальных функциональных способностей человека.*

Второй вопрос — это призыв к анализу искусственного интеллекта методом «от противного». В конкретных задачах, таких, как игра в шахматы, деятельность человека и машины поддается сравнению. Высказываются соображения, что существуют целые области деятельности человека, в которых машина не может даже и близко подойти к имитации человека. Наиболее яркий пример такой области деятельности человека — «новаторство», изобретательство, создание чего-то нового, ранее не существовавшего, заранее не предопределенного.

Таким образом, *возможность искусственного интеллекта следует рассматривать как конкретную (действительную) реализацию определенного набора функциональных возможностей интеллекта человека.* При этом можно предположить некоторый «предельный», максимально полный набор, именуемый естественным интеллектом и к которому стремится научная и инженерная деятельность по реализации интеллекта искусственного. Постановка вопроса о возможности реализации той или иной интеллектуальной функции равносильна постановке вопроса о ее познаваемости, поэтому ИИ возможен ровно настолько, насколько решен вопрос о познании интеллектуальных функций человека. Все, что человек способен познать, можно в конечном итоге реализовать, а вопрос о механизме или форме реализации (какая это будет машина и каковы ее характеристики?) является вторичным.

### *Возражения против Искусственного интеллекта*

1. Философ Джон Серл [Searle, 1984 — цит. по Роуз, 1995], использует для аргументации своих взглядов тест Тьюринга: «Представьте себе, что в закрытой комнате находится человек, который не знает китайского языка, но через машину получает вопросы, написанные по-китайски. В его распоряжении имеется код, позволяющий сопоставлять китайские иероглифы с другим набором текстов, содержащим ответы на задаваемые вопросы. Эти ответы можно передавать, опять-таки с помощью машины, за пределы комнаты. Находящимся снаружи наблюдателям будет ясно, что на заданные по-китайски вопросы поступают осмысленные ответы на том же языке; таким образом, тот, кто находится в комнате, выдержит тест Тьюринга. Но из этого никак не следует, что он понимал содержание посланий, поступавших в комнату и выходявших из нее, и отвечал на них сознательно и разумно: на самом деле он выполнял чисто автоматические операции. Именно это делают компьютеры, поэтому нет оснований считать их разумными и сознательными устройствами».

Попробуем возразить Серлу. Для этого продолжим его рассуждения и рассмотрим случай, когда человеку задаются вопросы о том, что такое время, пространство, энергия, электрон и т.д. Для большинства людей эти слова являются своеобразными "иероглифами" и с трудом поддаются объяснению. Тем не менее, они с уверенностью отвечают на вопросы о том, сколько времени, где мы находимся, сколько потребляет энергии лампочка и т.д. Похожая ситуация обстоит и с менее философскими категориями: на практике мало кто постоянно думает о том, что такое нож или вилка, когда собирается поесть. Если же обратиться к раннему этапу развития детей, то именно метод «китайской комнаты» является основным инструментом в их деятельности и общении.

В связи с этим возражение Серла требует уточнения в части ответа на вопрос что такое понимание. Является ли понимание атрибутом, характеризующим интеллект? Очевидно, что абсолютного (полного, всеохватывающего) понимания достичь невозможно из-за бесконечной сложности (размерности, непознаваемости) окружающего мира и ограниченности человеческого мозга. Аналогично можно сделать вывод, что не существует и абсолютного непонимания, а это означает, что понимание относительно, т.е. можно понять в какой-то степени, на каком-то уровне.

В возражении Серла не уточняется понятие осознания (понимания) и разумности, и, следовательно, его выводы не достаточно обоснованы. Он утверждает, что именно человек не понимает смысла иероглифов, но этого нельзя сказать о системе "человек-код". Можно даже сказать, что человек выступает в примере как инструмент, а код играет роль интеллекта. Также нейроны являются лишь носителем информации, а нервные импульсы механизмами передачи информации. Таким образом, Серл невольно показал обратное своему утверждению - пример эффективного использования искусственных систем.

2. Оксфордский математик Роджер Пенроуз [Penrose, 1990] критикует ИИ как ярко выраженный пример редукционизма<sup>6</sup>. Он считает, что реализация ИИ на базе обнаруженных элементов мозга (нейронов) бесперспективна, т.к. в нейронной сети между клетками должны существовать достаточно стабильные, фиксированные отношения, которые могут изменяться лишь в ответ на специфические входные сигналы, после чего система должна реагировать детерминированным образом.

По мнению Пенроуза, против этого говорят современные физические и математические представления. Квантовые механизмы, по его утверждению, обуславливают изначальную недетерминированность нервных реакций; что касается математики, то ставшая весьма модной теория хаоса показывает, как недетерминированные системы могут, тем не менее, действовать вполне упорядоченным образом. Например, случайное хаотическое движение молекул газа в сосуде приводит в целом к точной и предсказуемой зависимости между температурой, давлением и объемом, которую описывает простой газовый закон Бойля.

Таким образом, по мнению Пенроуза, стратегия редукционизма не выдерживает критики по двум взаимосвязанным причинам. Во-первых, недетерминированность на уровне нейронов и синаптических связей между ними означает, что мы никогда не сможем понять работу мозга и разума путем простого анализа составляющих компонентов, реакции которых непредсказуемы по самой своей природе. Во-вторых, эта неопределенность на уровне

---

<sup>6</sup> РЕДУКЦИОНИЗМ (от лат. *reductio*), методологический принцип, согласно которому сложные явления могут быть полностью объяснены на основе законов, свойственных более простым.

отдельных компонентов может, однако, обеспечивать предсказуемость на уровне всей системы. Поэтому сознание, разум, память возникают как свойства мозга в целом, а не как свойства его отдельных элементов.

Из рассуждений Пенроуза следует, что все свойства присущи мозгу в целом, и не должны обнаруживаться в отдельных его частях. Если следовать физическим аналогиям, то значительные части мозга (имеющие большое количество нейронов и синапсов) должны обладать теми же свойствами, что и весь мозг целиком. Например, если разделить газ на два сосуда, то закон Бойля будет сохраняться. Такое рассуждение не применимо к человеческому мозгу, о чем свидетельствуют многочисленные исследования о том, что многие функции (в том числе и интеллектуальные) выполняются исключительно специфическими частями мозга.

Очевидно, что аналогии Пенроуза с хаотическими частицами не совсем уместны при рассуждении о высокоорганизованной материи. Его возражения, в лучшем случае могут быть справедливы только для части интеллектуальных функций, которые свойственны мозгу в целом и несвойственны отдельным его частям.

При этом с некоторыми рассуждениями вполне можно согласиться. Например, если декомпозировать стол на атомы и рассмотреть их свойства, то довольно сложно объяснить, почему у стола есть ножки, зачем нужна плоская поверхность и т.д. Однако это происходит потому, что при декомпозиции разрушаются (теряются) определенные типы связей, утрачивается информация о структуре. Если эту информацию не утратить, то стратегия редукционизма (анализа) для познания свойств мозга может оказать достаточно эффективной.

Следует отметить, что доказать эмерджентность системы можно только одним путем — показать, что никакая подсистема не имеет свойств (или не определяет их) системы в целом. Если эмерджентные свойства мозга действительно существуют, то их можно выявить только в рамках бионического подхода в области ИИ с использованием стратегии редукционизма.

3. Еще одним противником искусственного интеллекта и лежащих в его основе методов обработки информации выступает лауреат Нобелевской премии, иммунолог и теоретик из Рокфеллеровского университета Джералд Эделмен [Edelman, 1987–89]. Его критика базируется на послышке, что развитие нервной системы и ее способность изменять свои свойства под влиянием индивидуального опыта следует рассматривать как процесс непрерывного отбора предшествующих групп нейронов и их синаптических связей в ответ на воздействие провоцирующих и лимитирующих факторов окружающей среды. Если

гипотеза Эделмена верна, то изучение нейронных структур одного человека не позволит определить устройство тех же структур у другого человека.

На взгляд известного исследователя мозга С.Роуза [Роуз, 1995], это сравнение при всей его привлекательности неуместно. Дарвиновская эволюция — это процесс сохранения благоприятных генотипов в результате дифференциального (избирательного) выживания и воспроизводства фенотипов. Нейронные ансамбли не «выживают» и не «воспроизводятся» таким путем — они даже не репродуцируются. Эволюция и отбор — это неподходящие аналогии для описания процессов взаимодействия, обратной связи, стабилизации и роста клеток и синапсов в период развития организма, да и на протяжении всей жизни.

4. Известно, что человеческое мышление реализуется физиологическими процессами мозга, но оно не сводится только к ним. Мышление скорее информационная, чем биологическая сторона интеллекта, поэтому оно может быть реализовано также и процессами другой природы.

Однако против этого утверждения выдвигается целый ряд аргументов. Существуют ступени - уровни развития материи. Мысль соответствует социальной ступени и может оставаться на последующих ступенях, но ее нет и не может быть на предыдущих. Более низкие уровни не содержат в себе необходимых условий для появления и развития мышления, иначе мыслили бы планеты, камни, растения и т.д. Человек, следовательно, не может создать искусственно нечто мыслящее, если он будет использовать для этого только предыдущие уровни. Низшие уровни годятся только для создания моделей более высоких уровней. В низший уровень нельзя принести все те качества, которые характеризуют более высокий уровень, и оставаться при этом на данном, низшем уровне. Внося все качества высшего, мы тем самым поднимем его на высший уровень. Это значит, что искусственно можно создать мыслящий мозг, но это будет именно мозг, а не «кибернетическое устройство».

Рассмотрим отношение модели к моделируемому объекту. Если модель отразит все свойства объекта, то это будет уже не модель, а сам объект, точнее, его копия. Ясно, что модель отражает лишь часть свойств объекта. Машина отнюдь не должна воспроизводить все биохимические и биофизические свойства мозга. Перед ней пока не ставится цель моделировать социальный и биологический аспекты мышления. Она должна моделировать лишь процессы обработки информации. Получая те же данные, что и человеческий мозг, машина выдает такие же результаты. Программа обработки информации вначале вводится человеком. Но в дальнейшем машина сможет и сама разрабатывать такие программы. Деятельность мозга и работа машины аналогичны не по характеру процессов, а по их результатам. Можно, конечно, упорно настаивать, что это не мышление, а моделирование

мышления, но это уже вопрос терминологии. Ведь машина выполняет работу, которая при выполнении ее человеком единодушно признается умственной, интеллектуальной.

5. Очень распространенное возражение состоит в том, что процесс мышления не разлагается на простейшие логические операции, доступные машине. Его можно отнести к ограничениям классической логики, которая исключает противоречия, частичную верность рассуждений и т.д. В настоящее время активно развиваются более гибкие математические аппараты (например, нечеткая логика и теория возможностей), позволяющие в компьютерной среде реализовать самые сложные операции и конструкции.

6. Машина не способна придумать ничего нового и не может заниматься творческой деятельностью. При этом под творчеством понимают деятельность, которая порождает нечто качественно новое и отличающееся неповторимостью, оригинальностью и общественно-исторической уникальностью. В основе этого противоречия лежит заблуждение, что новое в науке не выводится из предыдущих знаний на основании формальных. Крупнейший ученый Альберт Эйнштейн считал, что машины со временем смогут решать любые проблемы, но, добавлял он, никогда не смогут поставить ни одной. Постановка проблем — это функция человека [Лук, 1966].

Это возражение (предсказание) опровергнуто современным развитием науки. Уже созданы искусственные системы, которые могут выявлять новые проблемы и ставить новые задачи, в частности существуют компьютерные программы, которые формулируют новые теоремы геометрии, но при этом не всегда могут их доказать.

7. Седьмое возражение состоит в том, что машина не сможет мыслить, поскольку сознание - продукт общественного развития. Это возражение близко к уже рассмотренному аргументу против возможности создания ИИ, но здесь на передний план выдвигается не уровень развития материи, а общественный характер возникновения сознания.

Конечно у машины, представленной самой себе, маловероятно возникновение сознания, на это и человек не способен: у ребенка; изолированного от человеческого общества, сознание не вырабатывается. В то же время в процессе воспитания в мозг ребенка можно ввести самые разнообразные идеи, поэтому содержание информации в мозгу человека зачастую определяется тем, какую информацию вкладывали в мозг в период становления его личности. Машины могут быть обучены схожим образом. Более того, можно создать сообщество интеллектуальных систем, которые могут взаимодействовать между собой, обучая друг друга и совершенствуясь.

8. Исходя из ложно понятых этических соображений, иногда полагают, что признание возможности существования мыслящих машин унижает человека. Не нужно забывать, что человек произошел от древних обезьян, и в конечном счете — от древнейших

примитивных форм жизни. И если процесс совершенствования способности мыслить мог идти стихийно в результате эволюции и отбора, то тем более он осуществим в результате сознательной целеустремленной деятельности человека. Создание машины более талантливой, чем ее творец, нисколько не унижит человека, как не унижает его существование машин, значительно превосходящих человека по другим своим характеристикам.

9. Это возражение состоит в том, что машина не может обладать силой воли, и будет делать только то, что заложено в ней программой. Анализируя мыслительную деятельность человека можно заметить, что воля во многом связана со способностью самостоятельного выбора. Очевидно, что если выбор обоснован, т.е. направлен на достижение определенной цели или вызван осознанными причинами, то его можно запрограммировать в компьютерной системе. Если выбор случаен или невозможно учесть, проконтролировать или распознать причины возникновения проблемы или цели, то его можно задать с помощью стохастических функций.

Психологические и социологические исследования выявили сложный характер формирования целей у человека, который во многом зависит от набора мотивов, являющихся по сути обобщенными или базовыми целями. Создание системы мотивации в интеллектуальной системе позволит формировать новые цели, ставить новые задачи, исходно не заложенные и потенциально допустимые в рамках возможностей ИИ.

10. Допустим, что в принципе ИИ возможен. Но можно ли его реально создать? Сомнение в его осуществимости вызывает необычайная сложность и совершенство мозга. Ведь мозг — это продукт эволюции материи, длившейся несколько миллиардов лет. Эволюция форм жизни на Земле, венцом которой явился человек, происходила в силу определенных причин, путем случайных мутаций и естественного отбора. Человек ставит перед собой четкую цель, предвидит результат своих действий. Закон причинности этим не нарушается. Зато достигается экономия времени и средств, и становятся достижимыми такие результаты, которые путем случайных проб можно получить лишь в очень отдаленном будущем. Поэтому для создания мыслящей машины нужны не миллиарды лет, а промежуток времени, соизмеримый с продолжительностью человеческой жизни. Машина, созданная человеком, косвенно также явится продуктом развития, длившегося миллиарды лет.

11. Иногда высказывается мнение, что машина не может создать устройство более совершенное, чем она сама, а человек не может создать устройство более совершенное (в смысле способности мыслить), чем его мозг. Не подлежит сомнению, что в настоящее время самой совершенной из существующих форм мыслящей материи, самым совершенным мыслящим устройством в условиях Земли является человеческий мозг.

Но в принципе осуществимо более совершенное мыслящее устройство, чем мозг человека. И человек создаст такое устройство, так как целесообразная деятельность людей открывает возможности, которые ранее в природе не существовали.

Организм человека состоит из элементов периодической системы в пропорциях, примерно определенных содержанием химически активных веществ в море, воздухе и почве. А для изготовления полупроводниковых приборов применяются кремний и германий исключительной чистоты, не встречающейся в естественном состоянии. Узлы и детали мыслящей машины могут быть более совершенны и надежны, чем элементы, из которых сконструирован мозг. Это доказывается практикой, т. е. сравнительным изучением свойств нейронов и элементов вычислительных машин. Надежность мозга обусловлена не столько надежностью его деталей (нейронов), сколько их избыточностью, взаимозаменяемостью, способностью мозга к функциональным переключениям, т.е. сложностью связей между элементами, их динамическим взаимодействием.

Установление связей между элементами является сложнейшей задачей, поэтому не следует преуменьшать технических трудностей, стоящих на пути создания мыслящей машины.

12. Одно из самых популярных возражений состоит в том, что машины (искусственные системы) не способны проявлять человеческие чувства (юмор, доброту, дружбу, любовь, зависть, ненависть и др.). Несмотря на некоторую натянутость этого аргумента против создания именно интеллектуальных функций, можно отметить, что чувства являются важной составляющей человеческого мышления, т.к. определяют его мотивы и зачастую управляют процессом выбора и принятия решений.

Природа чувств человека до конца не изучена, но можно утверждать, что их формирование напрямую зависит от органов восприятия внешнего мира. Такой позиции, например, придерживался известный отечественный психолог и лингвист А.Р.Лурия, опираясь на эволюционную теорию развития психики человека.

В настоящее время достигнуты большие успехи в области имитации человеческих органов чувств — созданы искусственные глаза, уши, нос, язык, кожа и т.д. Если предположить, что чувства являются некоторой суперпозицией чувствительности, которая измеряется соответствующими органами, то легко представить возможность их задания или даже возникновения в ИИ. Более того, разрешающая способность искусственных органов (датчиков) восприятия теоретически существенно выше и может быть построена по другим принципам, что может привести к появлению более насыщенных и даже новых чувств.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Перечислите основные подходы к определению ИИ.

2. Что такое система искусственного интеллекта (интеллектуальная система)?
3. Поясните суть теста Тьюринга и требования, которые он предъявляет к системе ИИ.
4. Какие существуют методы для изучения когнитивной модели Интеллекта?
5. Какие отличия существуют между рациональным мышлением и поведением?
6. Какие существуют проблемы для использования классической логики при создании ИИ?
7. Назовите три основных направления исследований в области ИИ и сформулируйте отличия между их целями и подходами.
8. Насколько возможно создание системы ИИ?
9. Какие возражения против возможности создания ИИ Вы считаете наиболее существенными?
10. Что такое эмерджентные свойства системы и можно ли их выявить с помощью стратегии редукционизма?
11. Почему наличие чувств рассматривают как атрибут интеллектуальности сознания и мышления?

## 1.2. ОБЛАСТЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

### *Структура области ИИ*

Под областью ИИ следует понимать не только результаты и накопленный опыт по созданию ИИ, но и сферу деятельности людей, в которой применяются разработанные методы и подходы ИИ для решения конкретных практических задач. С момента появления ИИ как области научной и практической деятельности ее парадигма менялась множество раз, приводя к различному пониманию ИИ. Это можно проиллюстрировать на следующем примере:

В 1968 году ассоциация по вычислительной технике (АВТ) [Хант, 1978] рекомендовала программу курса Искусственного интеллекта, в которой рассматриваются следующие темы: доказательство теорем, игры, распознавание образов, решение задач, адаптивное программирование, принятие решений, сочинение музыки вычислительной машиной, обучающиеся (нейронные) сети, обработка данных на естественном языке, вербальное и концептуальное обучение.

В настоящее время большая часть разделов этого курса выделилась в отдельные теории и уже порой не считается составной частью области ИИ. Игры и решение задач теперь относятся к таким разделам математики, как Исследование операций и Теория игр. Адаптивное программирование выразило себя в CASE-системах и современных языках программирования, распознавание образов и принятие решений выделились в одноименные теории. Создание естественно-языкового процессора многими считается как отдельное направление, параллельное ИИ. В области нейронных сетей, образовались такие научные дисциплины как нейроматематика и нейроинформатика. Все это свидетельствуют о достаточно большой динамике развития области ИИ.

Исключение вопросов из области ИИ связано с изменением взглядов людей на свой интеллект. Научив компьютеры выполнять сложные действия, которые раньше считались уникальной способностью человека, люди пересматривают свои взгляды, выдвигая на передний план новые, еще нерешенные задачи.

Область ИИ можно условно разделить на несколько направлений, и выделить этапы ее развития. Условность деления на направления связана с тем, что область ИИ находится на стыке различных наук (математики, информатики, биологии, химии, психологии, философии и др.) и постоянно меняется, стремясь охватить самые последние достижения.

Условность деления на этапы вызвана тем, что практически все современные подходы в области ИИ были заложены на момент ее появления и раннего развития. Однако, на протяжении долгого периода вплоть до настоящего времени интерес то к одному, то к

другому направлению преобладал над остальными. На сегодняшний день область ИИ сильно увеличилась и разделилась на несколько подобластей, некоторые из которых долгое время развивались относительно автономно, но сегодня одной из существующих тенденций является интеграция различных парадигм ИИ и создание гибридных интеллектуальных систем (ИС).

*Начальный этап — эвристические программы*

Начало исследований в области искусственного интеллекта относится к концу 50-х годов и связывается с работами Ньюэлла, Саймона и Шоу [Newell, 1972], исследовавших процессы решения различных задач. Результатами их работ явились такие программы, как Логик-Теоретик, предназначенная для доказательства теорем в исчислении высказываний, и Общий Решатель Задач. Эти работы положили начало первому этапу исследований в области искусственного интеллекта, связанному с разработкой программ, решающих задачи на основе применения разнообразных эвристических методов.

Эвристический метод решения задачи при этом рассматривался как свойственный человеческому мышлению "вообще", для которого характерно возникновение "догадок" о пути решения задачи с последующей проверкой их. Ему противопоставлялся используемый в ЭВМ алгоритмический метод, который интерпретировался как механическое осуществление заданной последовательности шагов, детерминировано приводящей к правильному ответу. Трактовка эвристических методов решения задач как сугубо человеческой деятельности и обусловила появление и дальнейшее распространение термина *искусственный интеллект*. Исследователям того времени казалось, что создание компьютера, обладающего человеческим разумом, вопрос 10-15 лет.

В это же время был сформирован бионический подход к ИИ. Он был представлен только простейшими нейронными сетями, поэтому не получил своего развития. Другие направления (генетические алгоритмы, нечеткая логика и др.) датируют свое появление тем же промежутком времени, но тогда они были мало популярны и также не нашли области применения.

Примерно в то время, когда работы Ньюэлла и Саймона стали привлекать к себе внимание, в Массачусетском технологическом институте, Стэнфордском университете и Стэнфордском исследовательском институте также сформировались исследовательские группы в области ИИ. В противоположность ранним работам Ньюэлла и Саймона эти исследования больше относились к формальным математическим представлениям. Способы решения задач в этих исследованиях развивались на основе расширения математической и символической логики. Моделированию же человеческого мышления придавалось

второстепенное значение. К исследователям этого направления можно отнести таких известных в области ИИ ученых, как Минский, Мак-Карти, Слейгл, Рафаэль, Бобров, Бенерджи и др.

На дальнейшие исследования в этой области ИИ большое влияние оказало появление метода резолюции, предложенного Робинсоном, основанного на доказательстве теорем в логике предикатов и являющегося теоретически исчерпывающим методом доказательства.

Методологическое значение работ Робинсона и других аналогичных работ заключалось в том, что основное внимание в исследованиях по ИИ переместилось с разработки методов воспроизведения в ЭВМ человеческого мышления на разработку машинно-ориентированных методов решения задач.

При этом определение термина "искусственный интеллект" претерпело существенное изменение. Целью исследований, проводимых в направлении ИИ, стало не моделирование способов мышления человека, а разработка программ, способных решать "человеческие задачи". Так, один из видных исследователей ИИ того времени Р. Бенерджи в 1969 г. писал: "Область исследований, обычно называемую искусственным интеллектом, вероятно, можно представить как совокупность методов и средств анализа и конструирования машин, способных выполнять задания, с которыми до недавнего времени мог справиться только человек. При этом по скорости и эффективности машины должны быть сравнимы с человеком" [Бенерджи, 1972].

Исследовательским полигоном для развития методов ИИ на первом этапе являлись всевозможные игры, головоломки, математические задачи. Выбор таких задач для исследований обуславливался простотой и ясностью проблемной среды, ее относительно малой размерностью, возможностью достаточно легкого подбора решений. В то же время такие среды подходили для моделирования достаточно сложных процессов решения и исследования всевозможных стратегий решения с относительно небольшими затратами как человеческих, так и машинных ресурсов.

Основной расцвет такого рода исследований приходится на конец 60-х годов, после чего стали делаться первые попытки применения разработанных методов для задач, решаемых не в искусственных, а в реальных проблемных средах. Однако такие попытки натолкнулись на большие трудности, обусловленные главным образом необходимостью моделирования внешнего мира. Эти трудности были связаны с проблемами описания знаний о внешнем мире, организации их хранения, эффективного поиска, введения в память ЭВМ новых знаний и устранения устаревших, проверки полноты и непротиворечивости и т. п.

*Второй этап — интегральные роботы*

Необходимость исследования систем искусственного интеллекта при их функционировании в реальном мире привела к постановке задачи создания интегральных роботов. При разработке проектов таких роботов использование термина "искусственный интеллект" стало звучать более обоснованно, так как в них решались не отдельные задачи ИИ, а исследовался и реализовывался необходимый спектр "интеллектуальных" функций, таких, как организация целенаправленного поведения, восприятие информации о внешней среде, формирование действий, обучение, общение с человеком и другими роботами.

Для формирования целенаправленного поведения, т.е. программы решения некоторой внешней по отношению к роботу задачи, он должен обладать необходимым комплексом знаний об окружающем мире и среде функционирования. Эти знания должны быть заложены в робота в виде модели проблемной среды, т.е. той части внешнего мира, которая существенна для решения задач, ставящихся перед роботом.

Проведение работ, связанных с созданием интегральных роботов, можно считать вторым этапом исследований по искусственному интеллекту.

В нескольких научно-исследовательских институтах были разработаны экспериментальные роботы, функционирующие в лабораторных условиях. Проведение экспериментов в реальных условиях показало необходимость кардинального пересмотра вопросов, связанных с проблемой представления знаний о среде функционирования; и недостаточную исследованность таких проблем, как зрительное восприятие, построение сложных планов поведения в динамических средах, общение с роботами на естественном языке и т.д.

*Третий этап — экспертные системы*

Проблемы интеллектуальных роботов были более или менее ясно сформулированы и поставлены перед исследователями в середине 70-х годов и связаны с началом третьего этапа исследований систем ИИ. Его характерной чертой явилось смещение центра внимания исследователей от создания автономно функционирующих систем, к созданию человеко-машинных систем, интегрирующих в единое целое интеллект человека и способности вычислительных машин.

Такое смещение обуславливалось двумя причинами:

— во-первых, к этому времени выяснилось, что даже простые на первый взгляд задачи, возникающие перед интегральным роботом при его функционировании в реальном мире (например, движение по пересеченной местности, распознавание объектов на сложном фоне с естественным освещением, организация сложного поведения и т. п.), не могут быть

решены методами, разработанными для экспериментальных задач в специально сформированных проблемных средах;

— во-вторых, стало ясно, что сочетание дополняющих друг друга возможностей человека и ЭВМ позволяет "обойти острые углы" путем переключивания на человека тех функций, которые пока еще недоступны для ЭВМ. Вычислительная машина, со своей стороны, способна обрабатывать большие объемы информации с использованием регулярных методов, многократно просматривать различные пути решения, предлагаемые человеком, предоставлять ему всевозможную справочную информацию.

На первый план выдвигалась не разработка отдельных методов машинного решения задач, а разработка методов и средств, обеспечивающих тесное взаимодействие человека и вычислительной системы в течение всего процесса решения задачи с возможностью оперативного внесения человеком изменений в ходе этого процесса.

Развитие исследований ИИ в данном направлении обуславливалось также резким ростом производства средств вычислительной техники и таким же резким их удешевлением, делающим их потенциально доступными для более широких кругов пользователей. Однако эта доступность для большинства реальных пользователей так и осталась "потенциальной", поскольку требовала для реализации овладения большими объемами специальных знаний по использованию ЭВМ.

Создание человеко-машинных систем ИИ нашло свое наиболее яркое выражение в экспертных системах (ЭС). Для их реализации разрабатывались многочисленные модели и языки представления знаний, специальные языки программирования и символьные ЭВМ.

После появления первых ЭС и интенсивного их развития в литературе появились утверждения о том, что ЭС не нашли своего применения и не оправдали надежд. Некоторые также утверждали, что ЭС систем не существует вообще, что это обычные расчетно-логические программы.

Причины первого заблуждения состоят в том, что ЭС рассматривается как альтернатива традиционному программированию, т.е. ЭС должна в изоляции от других программных средств решать задачи, стоящие перед заказчиком. Надо отметить, что на заре появления ЭС специфика используемых в них языков, технологии разработки приложений и используемого оборудования (например, Lisp-машины) давала основания предполагать, что интеграция ЭС с традиционными, программными системами является сложной и, возможно, невыполнимой задачей при ограничениях, накладываемых реальными приложениями. Однако в настоящее время коммерческие инструментальные средства для создания ЭС разрабатываются в полном соответствии с современными технологическими тенденциями

традиционного программирования, что снимает проблемы, возникающие при создании интегрированных приложений.

Причина второго заблуждения вытекает из того, что любой программный продукт является эргатической (человеко-машинной) системой, и создают его, по большей мере, эксперты и специалисты. Все программы (кроме некоторых компьютерных игр) можно отнести к системам поддержки деятельности человека. Каждый программный продукт реализует вычисление формул и алгоритмов и, следовательно, обладает, как минимум, базой знаний и машиной вывода. Известно, что гипертекстовые системы, CASE-системы и многие другие классы программ впервые сформировались именно в ЭС. Поэтому можно справедливо утверждать, что большинство современных программ включают в себя элементы (компоненты) ЭС. Однако, обратное утверждение, что любая программа является ЭС, неверно. Можно предположить, что в ближайшем будущем многие компьютерные программы будут содержать интеллектуальные компоненты, близкие по своей структуре и технологиям к экспертным системам.

Появление ЭС сыграло важную роль в развитии ИИ, т.к. позволило перевести разработки в области ИИ из исследовательской плоскости в область реализации практических программных комплексов. Первые успехи систем ИИ для решения коммерческих задач можно отнести к 1985 году, однако массовое распространение они получили только в середине 90-х годов. Так, например, коммерческий рынок продуктов искусственного интеллекта в мире в 1993 году оценивался примерно в 0,9 млрд. долларов и разделялся на следующие основные направления [Попов, 1995]:

- экспертные системы (системы, основанные на знаниях);
- нейронные сети и нечеткая логика;
- естественно-языковые системы.

В США в 1993 году рынок между этими направлениями распределился так: экспертные системы – 62%, нейронные сети и нечеткая логика – 26%, естественно-языковые системы – 12%. Рынок этот можно разделить и иначе: на системы искусственного интеллекта (приложения) и инструментальные средства, предназначенные для автоматизации всех этапов существования приложения. Например, на рынке США доля приложений составила примерно две трети, а доля инструментария — одну треть.

Экспертные системы, показав практическую ценность, оказали большую услугу всей области искусственного интеллекта. Увеличение финансирования позволило породить новые и оживить старые направления ИИ.

Большие успехи в области ЭС (инженерии знаний) привели к идеи постепенной интеллектуализации машинных функций, направленной в конечном итоге на создание

автономных систем ИИ — интеллектуальных агентов<sup>7</sup>. Одними из основных проблем, препятствующих созданию автономных ИС являются ограниченность базы знаний, модели представления знаний и несовершенство интерфейса взаимодействия с окружающей средой и пользователями.

#### *Четвертый этап — нейронные сети*

Отправной точкой четвертого этапа развития в области ИИ можно назвать резкое увеличение интереса к бионическому направлению и, в первую очередь, к нейронным сетям в середине–конце 80-х годов. Это было обусловлено несколькими причинами. Во-первых, сложности представления знания и обучения в ЭС заставили обратиться к более пристальному и подробному изучению того, как это делает человек.

Во-вторых, нейробиологи и нейроанатомы к этому времени достигли значительного прогресса. Усердно изучая структуру и функции нервной системы человека, они значительно расширили свои знания об организации восприятия, мышления, памяти и моторике.

В-третьих, к этому времени был решен ряд теоретических проблем в области обучения многослойных нейронных сетей, сформулированных в конце 60-х годов, и преодолен ряд технологических вопросов. Немаловажную роль сыграл и коммерческий интерес к ИС, который был направлен на поиск инновационных подходов и подогрев возможностью патентования аппаратной реализации нейросетевых парадигм.

Одной из проблем ЭС в частности, и ИС в целом является сложность в приобретении новых знаний, обучение. Вопросами обучения и понимания традиционно занималась психология. Развитие вычислительной техники, появление теории информации, интеллектуализация компьютеров оказали сильное влияние на гуманитарные науки и не только как инструментарий. Появились, например, такие науки (направления) как когнитивная психология и компьютерная лингвистика.

Искусственные нейронные сети (НС) имитируют естественный прототип, который играет главенствующую роль в организации высшей нервной деятельности человека и его интеллектуальных способностях.

Лучшее понимание функционирования нейрона и картины его связей позволило исследователям создать математические модели для проверки своих теорий. Появилась возможность проводить эксперименты на цифровых компьютерах без привлечения человека или животных, что решает многие практические и морально-этические проблемы. В первых же работах выяснилось, что эти модели не только повторяют свойства мозга, но и способны

---

<sup>7</sup> Более подробно об этом направлении (создании интеллектуальных агентов) можно узнать в книге Тарасова В.Б.

выполнять функции, имеющие свою собственную ценность. Поэтому возникли и остаются в настоящее время две взаимно обогащающие друг друга цели нейронного моделирования: первая – понять функционирование нервной системы человека на уровне физиологии и психологии и вторая – создать вычислительные системы (искусственные нейронные сети), выполняющие сходные с человеческим мозгом функции.

Параллельно с прогрессом в нейроанатомии и нейрофизиологии психологами были созданы модели человеческого обучения. Одной из таких моделей, оказавшейся наиболее плодотворной, была модель Д.Хэбба [Hebb, 1949], который в 1949г. предложил закон обучения, явившийся стартовой точкой для алгоритмов обучения искусственных нейронных сетей. Дополненный сегодня множеством других методов он продемонстрировал ученым того времени, как сеть нейронов может обучаться.

В пятидесятые и шестидесятые годы группа исследователей, объединив эти биологические и физиологические подходы, создала первые искусственные нейронные сети. Выполненные первоначально как электронные сети, они были позднее перенесены в более гибкую среду компьютерного моделирования, сохранившуюся и в настоящее время. Первые успехи вызвали взрыв активности и оптимизма. Минский, Розенблатт, Уидроу [Widrow, 1959] и другие разработали сети, состоящие из одного слоя искусственных нейронов. Часто называемые перцептронами, они были использованы для такого широкого класса задач, как предсказание погоды, анализ электрокардиограмм и искусственное зрение. В течение некоторого времени казалось, что ключ к интеллекту найден, и воспроизведение человеческого мозга является лишь вопросом конструирования достаточно большой сети.

Но эта иллюзия скоро рассеялась. Сети не могли решать задачи, внешне весьма сходные с теми, которые они успешно решали. С этих необъяснимых неудач начался период интенсивного анализа. Минский, используя точные математические методы, строго доказал ряд теорем, относящихся к функционированию нейронных сетей.

Его исследования привели к написанию книги, в которой он вместе с Пайпертом доказал, что используемые в то время однослойные сети теоретически неспособны решить многие простые задачи, в том числе реализовать функцию «Исключающее ИЛИ». Минский также не был оптимистичен относительно потенциально возможного здесь прогресса.

Перцептрон показал себя заслуживающим изучения, несмотря на жесткие ограничения. У него много привлекательных свойств: линейность, теорема об обучении, простота модели параллельных вычислений.

Блеск и строгость аргументации Минского, а также его престиж породили огромное доверие к книге – ее выводы были неуязвимы. Разочарованные исследователи оставили поле

исследований ради более обещающих областей, а правительства перераспределили свои субсидии, и искусственные нейронные сети были забыты почти на два десятилетия.

Тем не менее, несколько наиболее настойчивых ученых, таких как Кохонен, Гроссберг, Андерсон продолжили исследования. Наряду с плохим финансированием и недостаточной оценкой ряд исследователей испытывал затруднения с публикациями. Поэтому исследования, опубликованные в семидесятых и начале восьмидесятых годов, разбросаны в массе различных журналов, некоторые из которых малоизвестны. Постепенно появился теоретический фундамент, на основе которого сегодня конструируются наиболее мощные многослойные сети. Оценка Минского оказалась излишне пессимистичной, многие из поставленных в его книге задач решаются сейчас сетями с помощью стандартных процедур.

За несколько лет теория стала применяться в прикладных областях, появились новые корпорации, занимающиеся коммерческим использованием этой технологии. Нарастание научной активности носило взрывной характер. В 1987 г. было проведено четыре крупных совещания по искусственным нейронным сетям и опубликовано свыше 500 научных сообщений – феноменальная скорость роста.

С одной стороны, блестящая научная работа Минского задержала развитие искусственных нейронных сетей, но с другой стороны, нет сомнений в том, что область пострадала вследствие необоснованного оптимизма и отсутствия достаточной теоретической базы. И возможно, что шок, вызванный книгой «Перцептроны», обеспечил необходимый для созревания этой научной области период.

В настоящее время имеется много впечатляющих демонстраций возможностей искусственных нейронных сетей: сеть научили превращать текст в фонетическое представление, которое затем с помощью уже иных методов превращалось в речь; другая сеть может распознавать рукописные буквы; сконструирована система сжатия изображений, основанная на нейронной сети. Все они используют сеть обратного распространения – наиболее успешный, по-видимому, из современных алгоритмов. Обратное распространение, независимо предложенное в трех различных работах, является систематическим методом для обучения многослойных сетей, и тем самым преодолевает ограничения, указанные Минским.

Разработано много других сетевых алгоритмов обучения, имеющих свои специфические преимущества. Следует подчеркнуть, что никакая из сегодняшних сетей не является панацеей, все они страдают от ограничений в своих возможностях обучаться и вспоминать.

Область нейронных сетей, продемонстрировала свою работоспособность и имеет уникальные потенциальные возможности, но в то же время и много ограничений, множество

открытых вопросов. Такая ситуация настраивает на умеренный оптимизм. Существует, однако, опасность, что искусственные нейронные сети начнут продавать раньше, чем придет их время, обещая функциональные возможности, которых пока невозможно достигнуть. Если это произойдет, то область в целом может пострадать от потери кредита доверия и вернется к застою периоду семидесятых годов. Для улучшения существующих сетей требуется много основательной работы. Должны быть развиты новые технологии, улучшены существующие методы и расширены теоретические основы, прежде чем данная область сможет полностью реализовать свои потенциальные возможности.

Искусственные нейронные сети предложены для задач, простирающихся от управления боем до присмотра за ребенком. Потенциальными приложениями являются те, где человеческий интеллект малоэффективен, а обычные вычисления трудоемки или неадекватны. Этот класс приложений не меньше класса, обслуживаемого обычными вычислениями, и можно предполагать, что искусственные нейронные сети займут свое место наряду с обычными вычислениями в качестве дополнения такого же объема и важности.

Одним из перспективных направлений развития нейронных сетей является их интеграция с экспертными системами и другими ИС.

Прежде чем искусственные нейронные сети можно будет использовать там, где поставлены на карту человеческая жизнь или ценное имущество, должны быть решены вопросы, относящиеся к их надежности. Подобно людям, структуру мозга которых они копируют, искусственные нейронные сети сохраняют в определенной мере непредсказуемость. Единственный способ точно знать выход состоит в испытании всех возможных входных сигналов. В большой сети такая полная проверка практически неосуществима, и должны использоваться статистические методы для оценки функционирования.

Одной из ключевых проблем НС заключается в их неспособности "объяснить", как они решают задачу. Внутреннее представление, получающееся в результате обучения, часто настолько сложно, что его невозможно проанализировать, за исключением самых простых случаев. Это напоминает неспособность объяснить, как происходит процесс узнавания человека, несмотря на различие в расстоянии, угле, освещении и на прошедшие годы. Эта особенность НС противопоставляется возможностям экспертных систем, которые могут проследить процесс своих рассуждений в обратном порядке для проверить разумности полученного результата.

Нейронные сети традиционно считаются второй волной интеллектуальных программ, которая постепенно оттесняет ЭС и занимает значительное место на рынке систем искусственного интеллекта. Наибольшее распространение нейронные сети получили в

прогнозирующих и аналитических программах. Меньшее распространение они получили в системах распознавания. Тем не менее, задачу обучения новым знаниям нейронные сети не могут решать эффективно. Причины этого сложность представления и организации знаний (значительные размеры сети), трудность извлечения знаний и неоптимальные процедуры (алгоритмы) обучения.

*Пятый этап — нечеткая логика*

Начало пятого этапа развития области ИИ связано с активным применением математического аппарата нечеткой логики (НЛ) для решения практических и теоретических задач. По времени увеличение внимания к этому направлению совпадает с четвертым этапом, однако пик интереса смещен по времени на 5–10 лет вперед (начало–середина 80-х).

При этом основы нечеткой логики были заложены в конце 60-х годов в трудах известного математика Заде [Заде, 1976]. В ту пору весьма популярными были эксперименты с "мажоритарными" пространствами, в которых намеренно устранялось понятие меры и вместо него вводился ряд качественных факторов (типа квантора "большинства") - прообраз первых нечетких утверждений. Аналогичное явление можно наблюдать в модальных логиках. Социальный заказ на исследования подобного рода был вызван растущим недовольством экспертными системами и связан с отсутствием математического аппарата, переводящего невнятные и неоднозначные житейские утверждения на язык четких математических формул. Первым серьезным шагом в этом направлении явилась теория нечетких множеств, разработанная Заде. Он же дал и название для новой области науки - "fuzzy logic".

Аппарат теории нечетких множеств, продемонстрировав ряд многообещающих возможностей применения - от систем управления летательными аппаратами до прогнозирования итогов выборов, оказался вместе с тем чрезмерно сложен для воплощения при тогдашнем уровне технологии - и на многие годы нечеткая логика заняла свое место в ряду других специальных научных дисциплин - где-то посередине между экспертными системами и нейронными сетями.

Свое второе рождение теория нечеткой логики пережила в начале восьмидесятых годов, когда сразу несколько групп исследователей (в основном в США и Японии) всерьез занялись созданием электронных систем различного применения, использующих нечеткие управляющие алгоритмы. Теоретические основы для этих попыток были заложены в ранних трудах Коско [Kosko, 1994, 1997] и других ученых. Наибольшую роль сыграли, пожалуй, два научных результата: доказательство FAT-теоремы и комбинация нечеткой логики с нейронными сетями Кохонена, указавшая путь к преодолению наиболее критического

"узкого места" новой теории - автоматизированного формирования системы нечетких правил по содержимому входных данных. Теорема FAT (Fuzzy Approximation Theorem), доказывает, что любая математическая система может быть аппроксимирована системой, основанной на нечеткой логике.

К 90-му году появилось около 40 патентов, относящихся к нечеткой логике. Сорок восемь японских компаний образовали совместную лабораторию LIFE (Laboratory for International Fuzzy Engineering), японское правительство финансировало 5-летнюю программу по нечеткой логике, включающую 19 различных проектов - от систем оценки глобального загрязнения атмосферы и предсказания землетрясений до АСУ заводских цехов и складов [Internet1, 2002].

Результатом выполнения этой программы явилось появление целого ряда новых массовых микрочипов, основанных на нечеткой логике. Сегодня их можно найти в стиральных машинах и видеокамерах, цехах заводов и моторных отсеках автомобилей, в системах управления складскими роботами и боевыми вертолетами.

Новый подход к представлению знаний не только повысил эффективность многих технических решений (фаззи-контроллеров), но и упростил задание правил в системах основанных на знаниях. Нечеткие ЭС явились третьей волной коммерческих интеллектуальных систем.

Например, в США развитие нечеткой логики идет по пути создания систем, служащих большому бизнесу и военной промышленности. Нечеткая логика применяется при анализе новых рынков, биржевой игре, оценке политических рейтингов, выборе оптимальной ценовой стратегии и т.п. Появились и коммерческие системы массового применения (CubiCalc, FIDE, FuziCalc и др.).

В настоящее время НЛ активно используется не только в СИИ, но и во многих традиционных информационных системах. Появились и стали активно развиваться другие математические аппараты (теория доверия, возможности, интервальных множеств и др.), направленные на преодоление ограничений классической логики.

#### *Шестой этап — эволюционный подход*

Начало шестого этапа развития ИИ связано с ростом интереса к использованию генетических алгоритмов (ГА) для эффективного обучения широкого класса нейронных сетей. В связи с этим этот этап можно было исходно назвать *нейрогенетическим*, однако необходимость усовершенствования ГА оказала влияние на увеличение интереса к другим направлениям и полученным достижениям в области эволюционного подхода. Наряду с тенденцией к автономности интеллектуальных систем (создания интеллектуальных агентов,

синергетических систем, ботов, роботов и т.д.), восходящей к третьему этапу развития ИИ, это привело к значительному расширению нейrogenетической парадигмы.

Возможность того, что вычислительная система, наделенная простыми механизмами изменчивости и отбора, могла бы функционировать по аналогии с законами эволюции в природных системах, была очень привлекательна. И это стало причиной появления ряда вычислительных систем, построенных на принципах естественного отбора.

История эволюционных вычислений началась с разработки ряда независимых моделей, основными из которых были генетические алгоритмы и классификационные системы Голланда (Holland), опубликованные в начале 60-х годов. Они получили всеобщее признание после выхода в свет книги, ставшей классикой в этой области, - "Адаптация в естественных и искусственных системах" [Adaptation in Natural and Artificial Systems, 1975]. В 70-х годах в рамках теории случайного поиска Растригиным Л.А. был предложен ряд алгоритмов, использующих идеи бионического поведения особей. Развитие этих идей нашло отражение в цикле работ Букатовой И.Л. по эволюционному моделированию. Развивая идеи Цетлина М.Л. о целесообразном и оптимальном поведении стохастических автоматов, Неймарк Ю.И. предложил осуществлять поиск глобального экстремума на основе коллектива независимых автоматов, моделирующих процессы развития и элиминации особей. Большой вклад в развитие эволюционного программирования внесли Фогель (Fogel) и Уолш (Walsh). Несмотря на разницу в подходах, каждая из этих "школ" взяла за основу ряд принципов, существующих в природе, и упростила их до такой степени, чтобы их можно было реализовать на компьютере.

Главная трудность с построения вычислительных систем, основанных на принципах естественного отбора, и их применением в прикладных задачах, состоит в том, что природные системы достаточно хаотичны и не несут четкую направленность. Обычно компьютер используется как инструмент для решения определенных задач, в которых акцентируется внимание на максимально быстром выполнении действий при минимальных затратах. Природные системы не имеют никаких таких целей или ограничений, во всяком случае, они не очевидны. Выживание в природе не направлено к некоторой фиксированной цели, вместо этого эволюция совершает шаг вперед в любом доступном направлении.

Условно усилия, направленные на моделирование эволюции по аналогии с природными системами, к настоящему времени можно разбить на две большие категории:

— системы, которые смоделированы на биологических принципах. Они успешно использовались для задач типа функциональной оптимизации и могут легко быть описаны на небиологическом языке

— системы, которые являются биологически более реалистичными, но которые не оказались особенно полезными в прикладном смысле. Они больше похожи на биологические системы и менее направлены. Они обладают сложным и интересным поведением, и, видимо, вскоре получат практическое применение.

Конечно, на практике трудно разделять эти вещи так строго. Эти категории — просто два полюса, между которыми лежат различные вычислительные системы. Ближе к первому полюсу — эволюционные алгоритмы, такие как Эволюционное Программирование (Evolutionary Programming), Генетические Алгоритмы (Genetic Algorithms) и Эволюционные Стратегии (Evolution Strategies). Ближе ко второму полюсу — системы, которые могут быть классифицированы как Искусственная Жизнь (Artificial Life).

Генетические Алгоритмы - адаптивные методы поиска, которые в последнее время часто используются для решения задач функциональной оптимизации. Они основаны на генетических процессах биологических организмов: биологические популяции развиваются в течении нескольких поколений, подчиняясь законам естественного отбора и по принципу "выживает наиболее приспособленный", открытому Чарльзом Дарвином. Подражая этому процессу генетические алгоритмы способны "развивать" решения реальных задач, если те соответствующим образом закодированы. Например, ГА могут использоваться, чтобы проектировать структуры моста, для поиска максимального отношения прочности/веса, или определять наименее расточительное размещение для нарезки форм из ткани. Они могут также использоваться для интерактивного управления процессом, например на химическом заводе, или балансировании загрузки на многопроцессорном компьютере.

Основные принципы ГА были сформулированы Голландом [Holland, 1975], и хорошо описаны во многих работах. В отличие от эволюции, происходящей в природе, ГА только моделируют те процессы в популяциях, которые являются существенными для развития. Точный ответ на вопрос: какие биологические процессы существенны для развития, и какие нет? - все еще открыт для исследователей.

В природе особи в популяции конкурируют друг с другом за различные ресурсы, такие, например, как пища или вода. Кроме того, члены популяции одного вида часто конкурируют за привлечение брачного партнера. Те особи, которые наиболее приспособлены к окружающим условиям, будут иметь относительно больше шансов воспроизвести потомков. Слабо приспособленные особи либо совсем не произведут потомства, либо их потомство будет очень немногочисленным. Это означает, что гены от высоко адаптированных или приспособленных особей будут распространяться в увеличивающемся количестве потомков на каждом последующем поколении. Комбинация хороших характеристик от различных родителей иногда может приводить к появлению

"суперприспособленного" потомка, чья приспособленность больше, чем приспособленность любого из его родителя. Таким образом, вид развивается, лучше и лучше приспособляясь к среде обитания.

ГА используют прямую аналогию с таким механизмом. Они работают с совокупностью "особей" - популяцией, каждая из которых представляет возможное решение данной проблемы. Каждая особь оценивается мерой ее "приспособленности" согласно тому, насколько "хорошо" соответствующее ей решение задачи. Например, мерой приспособленности могло бы быть отношение силы/веса для данного проекта моста. (В природе это эквивалентно оценке того, насколько эффективен организм при конкуренции за ресурсы). Наиболее приспособленные особи получают возможность "воспроизводить" потомство с помощью "перекрестного скрещивания" с другими особями популяции. Это приводит к появлению новых особей, которые сочетают в себе некоторые характеристики, наследуемые ими от родителей. Наименее приспособленные особи с меньшей вероятностью смогут воспроизвести потомков, так что те свойства, которыми они обладали, будут постепенно исчезать из популяции в процессе эволюции.

Так и воспроизводится вся новая популяция допустимых решений, выбирая лучших представителей предыдущего поколения, скрещивая их и получая множество новых особей. Это новое поколение содержит более высокое соотношение характеристик, которыми обладают хорошие члены предыдущего поколения. Таким образом, из поколения в поколение, хорошие характеристики распространяются по всей популяции. Скрещивание наиболее приспособленных особей приводит к тому, что исследуются наиболее перспективные участки пространства поиска. В конечном итоге, популяция будет сходиться к оптимальному решению задачи.

В последние годы, реализовано много генетических алгоритмов. По этой причине в настоящее время под термином "генетические алгоритмы" скрывается не одна модель, а достаточно широкий класс алгоритмов, подчас мало похожих друг от друга. Исследователи экспериментировали с различными типами представлений, операторов кроссовера и мутации, специальных операторов, и различных подходов к воспроизводству и отбору.

Хотя модель эволюционного развития, применяемая в ГА, сильно упрощена по сравнению со своим природным аналогом, тем не менее, ГА является достаточно мощным средством и может с успехом применяться для широкого класса прикладных задач, включая те, которые трудно, а иногда и вовсе невозможно, решить другими методами. Однако, ГА, как и другие методы эволюционных вычислений, не гарантирует обнаружения глобального решения за полиномиальное время. ГА не гарантируют и того, что глобальное решение будет найдено, но они хороши для поиска "достаточно хорошего" решения задачи "достаточно

быстро". Там, где задача может быть решена специальными методами, почти всегда такие методы будут эффективнее ГА и в быстродействии и в точности найденных решений. Одним из главных преимуществ ГА является то, что они могут применяться как в сложных задачах, где не существует никаких специальных методов, так и там, где хорошо работают существующие методики, эффективность которых можно повысить за счет сочетания с ГА.

*Тенденции дальнейшего развития  
области Искусственного Интеллекта*

В этом параграфе представлена попытка определения наиболее перспективных тенденций развития ИИ.

Характеризуя всю область в целом, можно отметить, что рассмотренные выше этапы и направления демонстрируют быстрое развитие и расширение области ИИ, поэтому четкое выделение новых (будущих) этапов станет еще более трудной задачей.

В рамках *первой тенденции*, которая остается неизменяемой в течение всей истории развития ИИ, можно отметить процесс выделения и смещения направлений ИИ в отдельные или другие научные дисциплины. На сегодняшний день информационные технологии получили широкое распространение, а уровень их интеллектуализации сильно возрос, что привело не просто к возможности, а к постоянно растущей потребности в интеллектуальных системах. Слово интеллект (*intelligence*) стало крайне популярным и активно эксплуатируется в самых разных аспектах: Business Intelligence (BI), интеллектуальная камера, интеллектуальный дом, интеллектуальный анализ данных и т.д., а апогеем этой идеи можно назвать слоган компании Motorola «Intelligence everywhere».

Особенностью современной формы этой тенденции является разделение области не только по направлениям (методологиям) исследований и разработки, но и по прикладным аспектам (ИС в экономике, в медицине, в военной отрасли, в сфере развлечений и т.д.). Кроме того, можно заметить наметившиеся разделение ИИ на два уровня, направленных с одной стороны, на широкую аудиторию, а с другой стороны, — на узкоспециализированных специалистов-профессионалов.

*Второй тенденцией* является обновление парадигмы второго этапа развития ИИ, соответствующей задачам создания интегральных роботов. Создание автономных роботов, интегрирующих множество различных интеллектуальных функций и способных функционировать в реальных условиях, является одной из самых быстро развивающихся областей ИИ.

В качестве *третьей тенденции* можно выделить смежную с робототехникой область создания ботов и интеллектуальных компьютерных программ, называемых

*интеллектуальными агентами (ИА)*. Они выступают в роли виртуальных помощников или советчиков в рабочих программах, в компьютерных играх используются как AI-персонажи, в чатах и форумах — как модераторы и т.д. На сегодня актуальными являются идеи о создании сообществ ИА, интеллектуальных организаций и предприятий.

*Четвертой тенденцией* в области ИИ является создание естественно-языковых (ЕЯ) систем. ЕЯ-процессор позволит преодолеть многие сложности взаимодействия человека и компьютера, даст возможность извлечения знаний из текстов без использования специальных устройств, увеличит производительность и эффективность взаимодействия компьютерных программ с помощью более гибких языков.

Особенно актуальна эта задача потому, что пользователи ИТ все больше времени проводят в виртуальном информационном мире (Интернет, компьютерные игры, мобильная телефония и т.д.). Необходимость эффективного взаимодействия внутри информационной сети выдвигает задачу создания ЕЯ-модулей на передний план всей области ИТ.

*Пятой тенденцией* развития искусственного интеллекта, особенно его бионической составляющей, является внедрение в область ИИ новых достижений нейронауки и генетики. Вопросы об организации системы обработки информации, мышления и памяти остаются до сих пор мало изученными, поэтому основные усилия исследователей человеческого мозга направлены сейчас на изучение интеллектуальных функций, и, особенно, памяти человека.

*Шестой тенденцией* в области ИИ является внедрение разработок в творческую деятельность людей. Так, например, уже сейчас существуют виртуальные музыкальные группы, которые имеют не только компьютерный вид, но и компьютерный голос, неотличимый от человеческого.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Перечислите основные этапы развития ИИ.
2. Как изменялась парадигма ИИ на каждом этапе развития?
3. Какие основные направления и поднаправления в области ИИ сформировались за эти годы?
4. Что исходно подразумевало понятие «эвристики» и почему методы ИИ противопоставляют традиционным алгоритмическим подходам?
5. В чем причины основных неудач по созданию интегральных роботов?
6. Назовите преимущества эргатических интеллектуальных систем.
7. Какие существуют распространенные заблуждения относительно экспертных систем и в чем их причина?
8. Какую роль сыграли ЭС в развитии ИИ?

9. Назовите три поколения интеллектуальных систем, нашедших массовое коммерческое применение.
10. Какими недостатками обладали первые искусственные нейронные сети и как они повлияли на развитие бионического направления в области ИИ?
11. Перечислите области применения нейронных сетей.
12. Сравните преимущества и недостатки ЭС и НС.
13. Какие актуальные проблемы в области ЭС решаются за счет интеграции с другими интеллектуальными системами?
14. Для каких целей был исходно разработан математический аппарат нечеткой логики? Перечислите другие теории, направленные на достижение тех же целей.
15. Назовите область применения НЛ.
16. В чем состоит важность ФАТ-теоремы с точки зрения применения НЛ для решения практических задач?
17. Для каких целей используется интеграция НС и НЛ?
18. Как используется НЛ в ЭС?
19. Какие направления существуют в рамках эволюционного подхода к созданию ИИ?
20. В чем состоит основное отличие направленности методов, относящихся к категории искусственная жизнь и генетических алгоритмов?
21. Для каких задач возможно использование ГА?
22. Перечислите основные тенденции в области ИИ.

### 1.3. Антология Искусственного интеллекта

В этом параграфе приведены фрагменты вступительных глав книг трех известных отечественных ученых, авторов научных монографий и учебных изданий по проблемам ИИ: Г.С.Поспелова, О.К.Тихомирова, Д.А.Поспелова. Их суждения и научные публикации на протяжении значительного периода развития науки ИИ определяли направления теоретических исследований и практических разработок систем искусственного интеллекта. Их лекции, статьи и книги были и в настоящее время продолжают являться основой знаний большого числа современных специалистов.

*Новая информационная технология и  
Искусственный интеллект<sup>8</sup>*

Рассмотрим сначала старую, точнее сказать, существующую информационную технологию. Прежде всего, это технология бумажная, потребляющая поистине колоссальное количество бумаги. Традиционное использование ЭВМ в смысле потребления бумаги дела не меняет. Напротив, требуется еще дополнительная бумага на листинги (распечатки), притом высокого качества. При обычной (старой) информационной технологии использование ЭВМ непрограммирующими специалистами (конечными пользователями) происходит через ряд посредников: математиков, программистов, постановщиков задач и т.п. Знания в разных областях фиксируются в текстовой форме на бумажных носителях.

Как сейчас используются знания? По литературным источникам изучается проблема. Она осмысливается, затем формируются математические модели, разрабатываются алгоритмы, программы и далее задача решается на ЭВМ. В сложившейся информационной технологии использования ЭВМ доминируют модели, имеющие синтаксический характер. Например, математические модели в виде систем дифференциальных уравнений могут описывать процессы в объектах самой различной природы. Тот же универсализм имеет место при использовании оптимизационных моделей линейного или нелинейного программирования и т.п.

Если предъявить математические модели (без комментариев), то будет невозможно сказать, какой конкретно объект и какие конкретно процессы описываются. Возможно

---

<sup>8</sup> Основу данного раздела составляют материалы вводного раздела книги [Поспелов, 1988. С.12–20], посвященного рассмотрению основных направлений развития исследований и систем искусственного интеллекта.

только самое общее заключение о том, с какими классами объектов эти модели сопоставимы. Семантика известна только специалистам, формализовавшим процессы в том или ином объекте. Важно подчеркнуть, что комментарии, раскрывающие конкретные знания об объекте, а следовательно, смысл (семантику) формально-математических моделей, находятся вне ЭВМ.

Становление новой информационной технологии обусловлено тем, что в рамках теории искусственного интеллекта были разработаны логико-лингвистические модели. Они позволяют формализовать конкретные содержательные знания об объектах управления и протекающих в них процессах, т.е. ввести в ЭВМ логико-лингвистические модели наряду с математическими. Логико-лингвистические модели — семантические сети, фреймы, продукционные системы — иногда объединяются понятием «программно-аппаратные средства в системах искусственного интеллекта». Именно логико-лингвистическим моделям обязаны своим появлением базы знаний.

Таким образом, новую информационную технологию отличают от существующей следующие принципиальные особенности:

- с помощью специальных формализмов (логико-лингвистических моделей) декларативные и процедурные знания представляются в электронной форме, и решение задач с помощью ЭВМ протекает более эффективно;
- логико-лингвистическое моделирование резко расширило применение ЭВМ за счет трудно или совсем неформализуемых ранее областей знаний и сфер деятельности (медицина, биология, геология, управление гибким роботизированным производством, диспетчерское управление и т.п.);
- специалистам обеспечивается прямой (без посредников) доступ к ЭВМ в диалоговом режиме для решения своих задач за счет программно-аппаратных средств искусственного интеллекта и образования тем самым интеллектуального интерфейса ЭВМ; при этом взаимодействие с ЭВМ происходит на профессиональном языке пользователя (языке деловой прозы).

Оснащенные упомянутыми средствами искусственного интеллекта и объединенные в сети ЭВМ обеспечивают не тяжеловесную бумажную, а новую технологию информационно-организационного процесса внутри коллектива, решающего крупномасштабные задачи и проблемы. В результате мы переходим к так называемой безбумажной информатике.

В настоящее время системы искусственного интеллекта, функционирующие на принципах новой информационной технологии, подразделяются на следующие:

- *интеллектуальные информационно-поисковые системы* (вопросно-ответные или

диалоговые системы), обеспечивающие в процессе диалога взаимодействие конечных пользователей-непрограммистов с базами данных и знаний на профессиональных языках пользователей, близких к естественному;

- *расчетно-логические системы*, позволяющие конечным пользователям, не являющимся программистами и специалистами в области прикладной математики, решать в диалоговом режиме свои задачи на ЭВМ с использованием сложных математических методов и соответствующих прикладных программ;
- *экспертные системы*, дающие возможность осуществить эффективную компьютеризацию областей, в которых знания могут быть представлены в экспертной описательной форме, но использование математических моделей, характерных для точных наук, затруднительно, а иногда и невозможно.

Именно благодаря экспертным системам искусственный интеллект приобрел стратегическое значение в развитии науки, проектирования, управления производством и т.п. Особо важное значение приобретают так называемые гибридные экспертные системы — объединение традиционных экспертных систем с расчетно-логическими. Иными словами, в гибридных экспертных системах логико-лингвистические модели используются совместно с математическими.

Укажем еще на одну важнейшую особенность систем новой информационной технологии — адаптацию и гибкость их программных систем по отношению к задачам, относящимся к той или иной предметной области. Во всех этих случаях нельзя сказать априори, посредством какой модели, алгоритма и системы программ решается задача или распознается ситуация. Например, при использовании экспертной системы для установления медицинского диагноза невозможно заранее сказать, по какому алгоритму будут использованы продукции экспертной системы. То же самое типично и для интеллектуальных пакетов прикладных программ.

Все упомянутые системы искусственного интеллекта ориентированы на знания, поэтому дальнейший прогресс систем искусственного интеллекта и новой информационной технологии предопределяет развитие трех основных теоретических проблем:

- *представления знаний* — центральная проблема искусственного интеллекта;
- *компьютерной лингвистики*, решение которой обеспечивает процесс естественного языкового общения с ЭВМ и прогресс автоматического перевода с иностранных языков;
- *компьютерной логики*, имеющей особо важное значение для развития экспертных систем, поскольку ее цель — моделирование человеческих рассуждений и преобразование программирования из искусства в науку.

Повысить эффективность использования ЭВМ и расширить область их применения — важная и комплексная задача. Естественно, что в ее решение могут и должны внести свой вклад различные науки. Однако эффективность комплексных исследований зависит от того, насколько четко выделены специфические задачи каждой научной дисциплины. Для психологии это положение особенно актуально, так как в существующей в настоящее время практике психологический подход часто подменяется информационно-кибернетическим. В этой связи необходимо наметить основные пути использования психологических знаний в практике *автоматизации умственного труда* и сформулировать собственно психологические проблемы автоматизации, решение которых определяет возможность и эффективность применения этих знаний.

*Важное направление* в использовании психологических знаний в практике автоматизации связано с одной из форм применения ЭВМ — в режиме «диалога». Как отмечал В.М.Глушков, «дальнейшее развитие диалоговых методов ставит много технических и научных проблем. Это, прежде всего учет человеческой психологии...» [Глушков, 1976, с. 41]. Учет психологических особенностей деятельности человека при составлении (оценке, усовершенствовании) диалоговых программ — новая область прикладных психологических исследований. Для того чтобы деятельность человека, опосредствованная диалоговыми программами ЭВМ, строилась достаточно эффективно, эти программы должны оцениваться не только по логико-математическим параметрам, но и по параметрам творческой деятельности человека. Возможность постановки новых целей — один из важных конкретных показателей видоизменения творческой деятельности человека, именно поэтому мы и рекомендуем изменения целеобразования рассматривать как один из конкретных параметров оценки программ с использованием диалогового режима. Расширяются или нет возможности целеобразования — на основе ответа на этот вопрос должна оцениваться программа. Изучение новых видов деятельности человека, опосредствованных программами ЭВМ и тем самым максимально «разгруженных» от технических, «рутинных» операций, выступает одним из направлений применения психологических знаний в практике автоматизации.

*Второе направление.* Практика построения автоматизированных систем в целом также требует использования психологических знаний. До последнего времени в центре внимания психологов, ориентированных на проблему «человек и техника», был оператор. В

---

<sup>9</sup> Основой данного раздела является предисловие О.К.Тихомирова к сборнику статей «**Интеллект человека и программы ЭВМ**» [Тихомиров, 1979].

настоящее время все большую значимость приобретают исследования деятельности пользователей ЭВМ (проектировщиков, научных и управленческих работников и др.). Можно сформулировать некоторые психологические принципы проектирования систем «человек — ЭВМ», ориентированные на такого рода «потребителей».

1. *Удовлетворение познавательных потребностей.* Диапазон изменений познавательных потребностей должен учитываться при отборе сведений, выдаваемых машиной человеку. Если же диапазон изменений определить трудно (для случая собственно творческих задач), то тогда оптимальной будет стратегия обеспечения максимальной свободы выбора сведений, получаемых от машины, и выбора режимов применения ЭВМ.

2. *Увеличение творческих компонентов труда.* Такое увеличение может быть достигнуто за счет освобождения человека от рутинных операций. При этом важно, чтобы освобождение было не максимальным, а оптимальным. «Переавтоматизация» может приводить к нарушению системы человеческой деятельности и снижению ее эффективности вместо ожидавшегося роста творческого содержания труда. Повышение качества и скорости решения задач основывается на изучении факторов, полноте и проверенности используемых данных.

3. *Возможность произвольного регулирования информационных потоков между человеком и ЭВМ.* При использовании ЭВМ важно регулировать поток информации из вычислительного центра, лично контролировать работу ЭВМ, а в случае необходимости проводить повторные расчеты.

4. *Единство принципов совершенствования автоматизированного и неавтоматизированного управления.* Оценка человеком сведений, получаемых от машины, определяется содержанием этих сведений, соответствием или несоответствием прошлому опыту пользователя, отношением к ЭВМ и отношением к другим людям (передающим данные для обработки на ЭВМ, обслуживающим ЭВМ). Недоверие к ЭВМ может иметь в основе недоверие к другим работникам, поэтому автоматизацию обязательно нужно связывать с совершенствованием управления в целом.

*Еще одно направление* использования психологических знаний в практике автоматизации умственного труда связано с определением перспектив автоматизации, возможностей и путей приближения машинных программ «искусственного интеллекта» к человеческому интеллекту. По этому вопросу высказывались различные мнения. В докладе академика В. М. Глушкова «Научные проблемы развития вычислительной техники» на юбилейной сессии АН СССР конечная цель этого развития формулировалась как «создание искусственного интеллекта, не только не уступающего, но и намного превосходящего по своим возможностям естественный человеческий интеллект. Хотя эта цель пока еще

достаточно далека, работа по ее достижению идет полным ходом» [Глушков, 1976, с. 41]. Такая работа связывается с повышением «уровня интеллектуальности» компьютеров для быстрого повышения производительности труда человека в области интеллектуальной деятельности. Другое мнение высказывал академик А. М. Прохоров: «Существует коренное различие между современными ЭВМ и человеческим мозгом. Оно начинается с самой основы, самого фундамента этих систем... Интересно, что были попытки использовать некоторые принципы, заложенные в живой материи, для построения ЭВМ. Это направление получило название "бионики". Однако оно пока не дало ощутимых практических результатов. Поэтому развитие ЭВМ идет своим путем и на ближайшее будущее эта тенденция сохранится» [Прохоров, 1976, с. 21].

Различные оценки перспектив автоматизации обусловлены, видимо, различным пониманием человеческого интеллекта, игнорированием или учетом всей полноты его психологических характеристик, поэтому точная психологическая квалификация человеческого интеллекта является первостепенным условием научно обоснованного прогнозирования тенденций развития вычислительной техники.

Основным условием эффективного развития всех трех направлений является изучение качественной специфики человеческого мышления по сравнению с процессами обработки информации компьютером. Такое изучение и составляет основную психологическую проблему автоматизации умственного труда.

Как специалистами по «искусственному интеллекту», так и психологами допускается игнорирование качественной специфики человеческого мышления. «Для искусственного интеллекта неважно, кто воспринимает и мыслит: машина или человек. Это является несущественной деталью»,—пишет Н. Д. Нильсон [Нильсон, 1973]. В то же время формула позитивистски ориентированных психологов: «Интеллект есть то, что измеряют интеллектуальные тесты», дает поддержку тем, кто готов интерпретировать факты решения машиной некоторых задач в доказательство ее «интеллектуальности».

В литературе постоянно встречаются утверждения: «Творчество есть процесс обработки информации», «мышление есть случайный процесс», «сущность мышления — в построении модели внешнего мира», «существуют алгоритмы изобретения». Сформировалась информационная теория мышления, которую иногда называют «модельной», имея в виду, прежде всего семиотические модели. Сопоставление информационной и психологической теорий интеллекта человека должно, включать соотнесение реальностей, описываемых терминами «психическое отражение» и «интеллектуальная деятельность», с одной стороны, и терминами «модель» и «переработка информации»— с другой, выявление качественных различий между ними.

В работе А.Н.Леонтьева проводится различие чувственного образа и модели. Специфическими особенностями чувственного образа являются активность (пристрастность), позволяющая глубже проникать в реальность, предметность, наличие эффекторных звеньев в процессе его возникновения и функционирования [Леонтьев,1975].

Кроме отражения мира в форме чувственных образов, существует отражение на уровне мышления, которое также характеризуется предметностью. Чаще всего это не отдельные предметы, а целые предметные ситуации, включающие сложные взаимоотношения и взаимодействия между предметами. Активность, пристрастность, избирательность присущи и мыслительному отражению, но имеют специфическую форму проявления. В построение мысленного образа также включаются эффекторные звенья, что особенно отчетливо выступает в случаях наглядно-действенного мышления, но может быть прослежено и на уровне речевого мышления (объективные проявления внутренней речи).

Специалистов по «искусственному интеллекту» мышление человека интересует главным образом как процесс решения задач. Применительно к этому частному случаю необходимо различать начальное, конечное и промежуточное отражение задачи субъектом (т. е. ее условий и требований). Необходимо отметить, что активность присуща уже первоначальному отражению условий задачи. Как показали эксперименты в процессе ознакомления с условиями новой задачи у испытуемых формируется известная готовность к формулированию определенной цели, иногда опережающей и даже вытесняющей цель, которую формулирует экспериментатор. «Предварительная ориентировка в задании» (так иногда называют этот процесс формирования первоначального отражения) может быть очень разнородной по своему психологическому строению.

Психическое отражение человека включает в себя как осознаваемые, так и неосознаваемые элементы, в том числе обобщения. Оно характеризуется сложной динамикой операциональных и личностных смыслов. Происходит превращение операциональных смыслов в личностные в ходе решения конкретной задачи. Эти особенности реального человеческого мышления, в частности, не учитываются в «модельной» теории, поэтому построение искусственных систем удовлетворяющих требованиям модельной теории, еще не будет означать воссоздания человеческого мышления.

Качественное отличие человеческого мышления от процессов «переработки информации» компьютером выражено в его характеристике как деятельности субъекта. Как и всякая другая деятельность, мышление человека побуждается своими потребностями и мотивами. Для развитых форм мышления характерно наличие познавательных специальных потребностей и специфического «предмета», с помощью которого удовлетворяется этот круг потребностей в знании. Указанные потребности не только являются условием возникновения

мыслительной деятельности, не только преобразуются после ее завершения, но и возникают, видоизменяются по ходу решения конкретной задачи. На основе познавательных потребностей возникают новые цели. Процесс целеобразования — это одна из важнейших характеристик реального человеческого мышления.

В деятельности человека формируются многообразные оценки, в которых выражается соотношение достигаемых (или только предвосхищаемых) результатов с мотивами деятельности. Эти оценки могут быть эмоциональными и словесно-логическими, они выполняют роль внутреннего регулирования деятельности. Без эмоциональной регуляции невозможно решение субъективно сложных задач, хотя ее наличие не гарантирует достижения объективно верного результата.

Значительна роль эмоционального предвосхищения в процессе решения сложных задач. Для достижения объективно верного решения задачи необходимо совпадение субъективных и объективных ценностных характеристик, при их несовпадении решение задачи не достигается. На определенных стадиях поиска могут возникать противоречия между эмоциональными (проявляющимися в произвольных реакциях организма) и вербальными оценками (правильно, неправильно) отдельных интеллектуальных актов, причем более верными иногда бывают именно эмоциональные оценки. Если последние оказываются в этих условиях доминирующими, то деятельность приводит к достижению объективно верного результата. Интеллектуальные эмоции являются включенными в процесс целеобразования на всех его этапах и уровнях, а выявление невербализованных операциональных смыслов элементов ситуации является необходимым условием возникновения интеллектуальных эмоций. Эмоциональное предвосхищение может также менять структуру в ходе решения задачи.

Всякая деятельность включает в себя технические приемы (операции). Неразличение деятельности и операций по существу лежит в основе работ по созданию «алгоритмов изобретения», «методик изобретательства» и т. д. Приемы преобразования объектов включаются в творческую деятельность, но не исчерпывают ее. Выражение «алгоритм» часто носит метафорический характер и употребляется в смысле программы планомерно направленных действий, иногда даже выступая синонимом выражения «этапы деятельности». Однако оно неверно ориентирует инженеров, привыкших считать алгоритмом формализованные процедуры, гарантирующие решение. Необходимо видеть, что такие команды, как «изучать ведущие отрасли техники», «собирать сведения о приемах решения технических задач, физических эффектах, новых материалах», «учиться творческому решению», «правильно выбирать задачи», лишь внешне напоминают команды алгоритма.

Необходимо отметить концептуальную связь психологических проблем, связанных с «искусственным интеллектом» и с «диалогом». Взаимодействие между человеком и ЭВМ в «диалоговом» режиме может быть охарактеризовано на двух уровнях: информационном и психологическом. На *информационном* уровне взаимодействие характеризуется формой знаков, их последовательностью и скоростью, с которой они поступают от машины к человеку и от человека к машине. На *психологическом* уровне взаимодействие характеризуется также и теми целями, для достижения которых человек использует сообщение машины, преобразованием целей под влиянием полученной информации, смыслом, который она имеет для человека, оценками (в том числе эмоциональными) человеком, как общих возможностей машины, так и решения конкретных задач. Одни и те же знаки, предъявляемые пользователю в одинаковой форме и с одинаковой скоростью, могут по-разному оцениваться, пониматься и применяться в зависимости от конкретной ситуации, общего состояния человека, целей и мотивов его деятельности. *При константности информационного взаимодействия человека с ЭВМ психологически такое взаимодействие может быть разным.*

Это различие не учитывается (от него абстрагируются) при информационно-кибернетическом подходе, но без его учета, невозможны оценка и эффективное построение диалоговых программ. Психологические исследования деятельности человека в режиме диалога с ЭВМ должны, прежде всего, опираться на общепсихологическую теорию деятельности и основывающиеся на этой теории психологические исследования творческого мышления. Если понимать под инженерной психологией изучение *информационного* взаимодействия между человеком и машиной, как это часто делается, то тогда, как это ни парадоксально звучит для специалистов по вычислительной технике, эффективное построение диалоговых программ не может строиться на инженерно-психологической основе, так как требует учета более широкого круга факторов, чем одно только информационное взаимодействие.

Переориентация исследований с «оператора» на «пользователя» автоматизированных систем также требует все более четкой дифференциации инженерного и собственно психологического подходов, учета при создании систем «человек — ЭВМ» качественной специфики человека, требует не ограничиваться поверхностными аналогиями между человеком и машиной при описании информационных потоков в существующей (и проектируемой) системе.

Таким образом, во всех трех названных направлениях работ по автоматизации умственного труда (создание проектов «искусственного интеллекта», проектирование и оценка эффективности АСУ, построение эффективных диалоговых систем) необходим учет

психологических особенностей человеческого мышления и деятельности в целом. Естественно, что они должны быть предметом дальнейших, более углубленных исследований.

Расширение интеллектуальных возможностей человека связывается сегодня многими психологами с усвоением логического аппарата (понятия, логические приемы) и все более полным («жестким») управлением процессом усвоения этого аппарата. Сформированное таким образом мышление считается более совершенным, чем мышление творческое, самостоятельное, интуитивное.

Применение ЭВМ открывает принципиально иной путь расширения интеллектуальных возможностей человека: разгрузка от формализованных, логических процедур, использование этих процедур без усвоения. Например, можно организовать усвоение человеком некоторого алгоритма и констатировать, что теперь исчезают ошибки в решении задач определенного класса, решение становится более обобщенным и быстрым. Второй путь заключается в том, чтобы для решения задач использовать алгоритм, уже реализованный в машинной программе, не усваивая его. Преимущества второго пути в том, что реализация алгоритма может осуществляться значительно быстрее, а сам алгоритм по сложности может превосходить практические возможности усвоения этого алгоритма человеком.

В психологии принято выделять три основных вида мышления: *наглядно-действенное, наглядно-образное и словесно-логическое*. Применительно к словесно-логическому мышлению необходимо дифференцировать две его разновидности: мышление, опосредствованное внешними по отношению к субъекту логическими процедурами, и мышление, опосредствованное внутренними логическими процедурами, т.е. усвоенными понятиями и логическими приемами. Мышление, опосредствованное программами ЭВМ, есть наиболее сложная форма внешне опосредствованного словесно-логического мышления. Изучение этого мышления составляет новую задачу общей психологии, поставленную практикой автоматизации умственного труда на основе систем искусственного интеллекта.

### *Структура исследований в области Искусственного интеллекта*<sup>10</sup>

В этом разделе дан системный взгляд на область исследований, которую принято называть информационным подходом к искусственному интеллекту. Среди специалистов нет единой точки зрения на то, что входит в эту область и что в нее не входит. Нет единой точки

---

<sup>10</sup> Основу данного раздела составляют материалы из лекций Д.А.Поспелова [Поспелов, 1990. С.4–29]. В дальнейшем основные положения этой статьи приводились неоднократно и в других публикациях. Кроме этого в разделе использованы материалы из вводного раздела книги [Нильсон, 1985. С.12–19].

зрения и на долю исследований, которые могли бы быть отнесены к тому, или иному ее поднаправлению.

Сторонники информационного подхода считают, что основной целью работ в искусственном интеллекте является не построение технического аналога биологической системы, а создание средств для решения задач, традиционно считающихся интеллектуальными.

Информационная точка зрения в свою очередь неоднородна. В ней можно выделить четыре направления.

1. Часть специалистов считает, можно найти свой способ решения интеллектуальных задач на ЭВМ, который даст либо результат, подобный человеческому, либо даже лучший его. Фактически это — моделирование на ЭВМ отдельных функций творческих процессов (игровые задачи (шахматы, шашки, домино и др.), автоматическое доказательство теорем, автоматический синтез программ, анализ и синтез музыкальных произведений и др. Специалисты такого типа неоднократно демонстрировали свое искусство по созданию программ такого рода. Достаточно назвать, например, программы для игры в шахматы, которые играют в эту игру лучше подавляющего большинства людей, проводящих время за шахматной доской. Но делают эти программы совсем не так, как люди.

2. Другая часть специалистов считает, что искусственный интеллект должен имитировать не только решение отдельных (пусть и весьма творческих) задач. Ибо, естественный интеллект человека — это его способность при необходимости обучаться тому или иному виду творческой деятельности, основой которой является накопление и использование знаний. Значит и программы, создаваемые в искусственном интеллекте, должны быть ориентированы не на решение конкретных задач, а на создание средств работы со знаниями. Именно эта группа исследователей сейчас определяет лицо искусственного интеллекта, составляя основную массу специалистов этого профиля.

3. Третья часть специалистов — это программисты, чьими руками делают программы для решения задач искусственного интеллекта. Они склонны рассматривать область своей деятельности, как новый виток развития программирования, они считают, что средства, разрабатываемые для написания программ решения интеллектуальных задач, в конце концов, есть средства, позволяющие по описанию задачи на профессиональном естественном языке построить нужную программу на основании тех стандартных программных модулей, которые хранятся в памяти машины. Все мета средства, которые предлагают те, кто рассматривает искусственный интеллект, как способ разобраться на информационном уровне, какие функции реализует естественный интеллект, когда он решает задачу, программисты видят сквозь призму своей цели — создание

интеллектуального программного обеспечения (по существу, комплекса средств, автоматизирующих деятельность самого программиста).

4. Значительная часть специалистов, работающих в области искусственного интеллекта, нацелена на создание конкретных интеллектуальных систем. Их деятельность связана с различными прикладными проблемами, в которых активно используются результаты, полученные в искусственном интеллекте, его модели и методы. На рисунке 4.1 показана схема строения искусственного интеллекта, связанная с информационной точкой зрения на него. Приведенное дерево является укрупненным, поэтому дадим расшифровку каждого из четырех направлений.



Рисунок 4.1. Схема исследований в области искусственного интеллекта (информационный подход)

### ***Программы решения интеллектуальных задач***

Они могут быть разделены на несколько групп, определяемых типом задач, решаемых этими программами. Деление этой группы программ показано ниже на рис. 4.2.

#### ***• Игровые программы***

Первую группу, относящихся к данному классу программ, можно разделить на две подгруппы: *человеческие и компьютерные*.

Особенностью всех программ для имитации *человеческих игр* является большая роль поисковых процедур, поиск лучшего или локально лучшего хода требует в сложных играх типа шахмат просмотра большого числа вариантов, недаром шахматные программы являются специальным тестом для проверки эффективности поисковых процедур.

Интересно отметить, что именно поисковые процедуры казались на первом этапе развития работ по интеллектуальным программам той метапроцедурой, с помощью которой можно будет решать все интеллектуальные задачи (напр. "общий решатель задач").

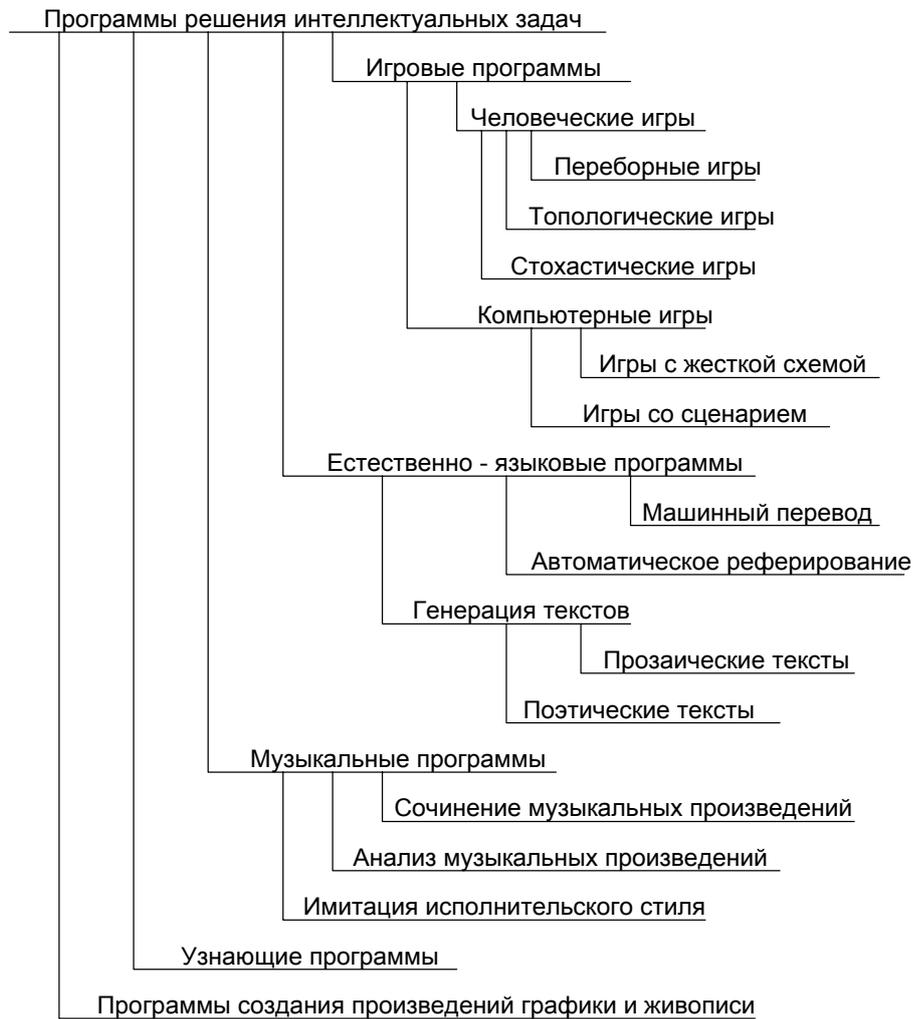


Рис. 4.2. Программы решения интеллектуальных задач

И хотя эти надежды не оправдались, цикл подобных исследований оказался весьма полезным. Были созданы достаточно эффективные процедуры поиска, используемые специалистами по искусственному интеллекту не только при решении игровых задач, но и во многих других областях (например, при планировании целесообразной деятельности в интеллектуальных системах).

*Переборные игры* составляют, по-видимому, большинство во множестве распространенных среди людей игр. Существенно меньшую часть составляют *топологические игры*, в которых необходимо учитывать не только дерево игры, задаваемое возможными последовательностями ходов противников, но и структурой самой позиции, как целого. Примером такой игры может служить *ГО*. В этой игре оценка позиции не может быть сведена, как, например, в шахматах, к описанию множества фигур и их расположения на игровом поле, для *ГО* важно не конкретное расположение камней по тем или иным полям,

а их конфигурации. Программирование таких игр требует создания в памяти ЭВМ эталонных образов тех или иных областей, занятых камнями противников. А это куда более сложная и до конца пока не решенная задача, нежели организация поиска по дереву альтернативных возможностей.

*Стохастические игры* возникают тогда, когда в процессе игры возникают вероятностные шаги или очередная ситуация формируется при участии некоторого вероятностного механизма. С программированием таких игр (например, карточной игры в очко) связано развитие методов правдоподобного оценивания вариантов, получившего в искусственном интеллекте заметное использование. Во всех таких ситуациях важно уметь пересчитать оценку правдоподобия результирующей ситуации после выбора определенного хода с учетом оценок правдоподобия текущей ситуации и выбора противника.

К стохастическим играм примыкают и игры с неполной информацией, когда при принятии решения необходимо как-то оценивать недостающую информацию. Эти приемы постоянно используются при обращении к содержимому памяти в интеллектуальных системах, когда в ней отсутствует нужная информация, что является почти стандартной ситуацией при функционировании таких систем в сложных предметных областях.

*Компьютерные игры*, получившие в последнее время столь широкое распространение, вообще говоря, не относятся традиционно к работе по искусственному интеллекту. Хотя эта ситуация столь же случайна, как и ситуация с распознаванием образов. Конечно, игры с жесткой схемой, в которых "интеллекта" практически нет, не представляют для работ по искусственному интеллекту интереса, но сценарные игры представляют для рассматриваемой области науки прямой интерес. В них используются сценарии развития игры, движение по которым определяется обоими партнерами. Эти же принципы используются и в таких типичных для искусственного интеллекта задачах, как организация диалога интеллектуальной системы с пользователем на ограниченном естественном языке. Интересны сценарии и для планирования целесообразной деятельности в интеллектуальных работах и других системах искусственного интеллекта.

- *Естественно-языковые программы*

С самого начала появления ЭВМ стали создаваться программы для машинного перевода и автоматического реферирования текстов. Создание этих программ оказало значительное влияние на развитие искусственного интеллекта, заложило основы тек работ, которые были непосредственно связаны с естественно - языковым общением пользователей с интеллектуальными системами.

В *программах машинного перевода* были разработаны модели и методы, позволяющие автоматически проводить морфологический, синтаксический и во многом семантический анализ фраз естественного языка, нащупаны приемы анализа связного текста. Все эти результаты активно используются при обработке естественно-языковых текстов в интеллектуальных системах.

В работах по *автоматическому реферированию* были заложены основы понимания общей структуры текста, как целого, от идеи "что говорится" был сделан переход к идее "о чем говорится". Это позволило на более высоком уровне создавать программы.

Если первые *программы генерации* текстов основывались на жестких моделях порождения или вероятностных механизмах, то более поздние программы генерации текстов стали опираться на идеи сценариев, а также на приемы, наработанные в программах по автоматическому реферированию. Сейчас качество прозаических текстов, создаваемых с помощью ЭВМ, достаточно интересно, если тексты имеют жесткую внутреннюю структуру, определяемую их назначением. Таковы, например, волшебные сказки, в основе которых лежит жесткий сценарий поведения действующих лиц, таковы хроникальные заметки или документы, но созданы и достаточно любопытные программы, порождающие поэтические тексты, в которых наблюдается иная крайность — почти полное отсутствие смысловой структуры при достаточно жесткой структуре для формы.

- *Музыкальные программы*

Пожалуй, эти программы оказались наиболее известны широкой публике, так как первые опыты по их созданию сразу дали весьма обнадеживающие результаты. Этот успех связан опять-таки с наличием, с одной стороны, жестких правил при построении мелодии, а с другой стороны, во многом вероятностными моделями, порождающими остальные элементы музыкального произведения. Менее известны широкой публике программы, ориентированные на музыковедов, в которых имитируются стили исполнения или исследуется "анатомия" музыкальных произведений и процесса их сочинения, однако, весь комплекс музыкальных программ, хотя и не оказал прямого влияния на работы по искусственному интеллекту, оказался полезным для формирования общего взгляда на природу творческих процессов и их моделирования.

- *Программы распознавания*

Они зародились в недрах исследований по распознаванию образов. Многие из них оказали значительное влияние на идеи, характерные для работ по созданию интеллектуальных систем, особенно при создании обучающих систем. При их создании были

найлены методы оценивания схожести одних объектов с другими, заложены основы рассуждений по аналогии и ассоциации, использования обучающих последовательностей примеров и контрпримеров. Все это вошло в фонд методов, которыми пользуется специалист по искусственному интеллекту.

Были предприняты определенные попытки снабдить вычислительные системы телевизионными входами, что позволяет им "видеть" окружающую среду, или же микрофонными входами, что позволяет им "слышать" голоса говорящих. Эти эксперименты показали, что для полезной обработки сложных входных данных необходимо "понимание" и что для такого понимания необходима большая база знаний о воспринимаемых вещах.

Процесс восприятия, изучаемый в искусственном интеллекте, обычно опирается на некоторое множество операторов. Скажем, зрительная сцена кодируется сенсорами и представляется в виде матрицы интенсивностей. Последние обрабатываются детекторами, которые осуществляют поиск таких элементарных компонент изображения, как отрезки линий, простые кривые, углы и т. п. А они, в свою очередь, подвергаются обработке для выведения информации о трехмерном характере сцены в терминах поверхностей и форм. Конечной целью является представление сцены с помощью некоторой подходящей модели. Эта модель может сводиться к описанию на высоком Уровне, например: "Холм, на вершине холма дерево, у которого пасется корова".

Смысл всего процесса восприятия состоит в создании сжатого представления, в замене "сырой" входной информации, с которой невозможно работать из-за ее громадного объема. Очевидно, что характер и качество окончательного представления зависят от целей воспринимающей системы. Если важны цвета, то на них следует обратить внимание; если важны пространственные соотношения и размеры, то их нужно установить аккуратно. Перед различными системами ставятся различные задачи, но во всех случаях громадный объем входных сенсорных данных должен быть сведен к приемлемому и осмысленному описанию.

Основную трудность при восприятии сцены составляет невообразимое число возможных описаний-кандидатов, которые могли бы представить иначе для системы. Если бы не этот факт, то можно было бы построить ряд детекторов, чтобы решить, к какой *категории* принадлежит сцена. Например, не исключено, что можно построить детектор, который мог бы проверить сцену на принадлежность к категории: "Холм, на вершине холма дерево, у которого пасется корова". Но почему следует брать такой детектор, а не какой-нибудь другой из несчетного числа детекторов, которые могли быть использованы?

Стратегия, которая, по-видимому, дает подход к решению этой задачи, состоит в построении гипотез на различных уровнях описания и последующей проверке таких гипотез. Были построены системы, обрабатывающие подходящие представления сцены, чтобы

высказать гипотезы относительно наличия компонент некоторого описания. Затем эти гипотезы проверяются детекторами, специально предназначенными для таких описаний компонент. Результаты проверок, в свою очередь, используются для построения лучших гипотез и т.д.

Парадигма вида *гипотеза и проверка* применяется на многих уровнях процесса восприятия. Несколько расположенных в линию отрезков наводят на мысль о некоторой прямой линии; детектор линии может быть использован для проверки такой гипотезы. Примыкающие друг к другу прямоугольники наводят на мысль о том, что это — стороны некоторого твердого призматического предмета; детектор объектов может быть использован для проверки.

Процесс формирования гипотез нуждается в большом объеме знаний о сценах, которые ожидается увидеть. Некоторыми исследователями в области ИИ высказывалось предположение, что это знание может быть организовано в виде специальных структур, называемых *фреймами*, или *схемами*. Например, когда робот входит в комнату через дверной проем, он активизирует *схему комнат* и рабочая память загружается "ожиданиями", касающимися того, что может быть в дальнейшем увидено роботом. Предположим, что роботом воспринимается какая-то прямоугольная форма. Эта форма в контексте схемы комнаты может навести на мысль об окне. *Схема окна* может содержать знание о том, что обычно окно с полом не соприкасается. Специальный детектор, примененный к сцене, подтверждает это ожидание, повышая таким образом степень доверия к гипотезе о наличии окна. В дальнейшем мы будем обсуждать фундаментальные идеи использования представлений на основе фреймовых структур и процессов логического вывода.

- *Компьютерная графика и живопись*

Несколько особняком стоят программы, с помощью которых создаются машинные произведения в области графики и живописи. Эти исследования связаны, в основном, с созданием специальных программных и в меньшей мере аппаратных средств для устройств графического вывода. Но косвенно эти программы оказывают влияние на те разделы искусственного интеллекта, которые связаны с использованием зрительных образов при решении задач.

### *Доказательство теорем*

Поиск доказательства (или опровержения) для некоторой математической теоремы, несомненно, может быть рассмотрен, как пример интеллектуальной задачи. Не только потому, что для этого требуется способность произвести дедукцию, исходя из гипотез, но и

потому, что для нее необходимы интуитивные навыки, такие, как построение догадки о том, какие промежуточные леммы следует доказать, чтобы способствовать доказательству основной теоремы. Опытный математик опирается на то, что он, возможно, назовет суждением (основанным на большом объеме специальных знаний), чтобы высказать точную догадку, какие из ранее доказанных теорем в рассматриваемой предметной области будут полезны для искомого доказательства, и чтобы выделить в главной проблеме подзадачи, над которыми можно работать независимо друг от друга. Было разработано несколько программ автоматического доказательства теорем, которые до какой-то степени обладают некоторыми из таких способностей.

Изучение приемов доказательства теорем сыграло большую роль в развитии методов ИИ. Формализация дедуктивного процесса с использованием языка логики предикатов, например, помогает глубже понять некоторые компоненты рассуждения. Многие неформальные задачи, включая медицинскую диагностику и извлечение информации, допускают их формализацию как задачу на доказательство теорем. По этим причинам доказательство теорем является чрезвычайно важной областью при изучении методов ИИ.

### *Системы, основанные на знаниях*

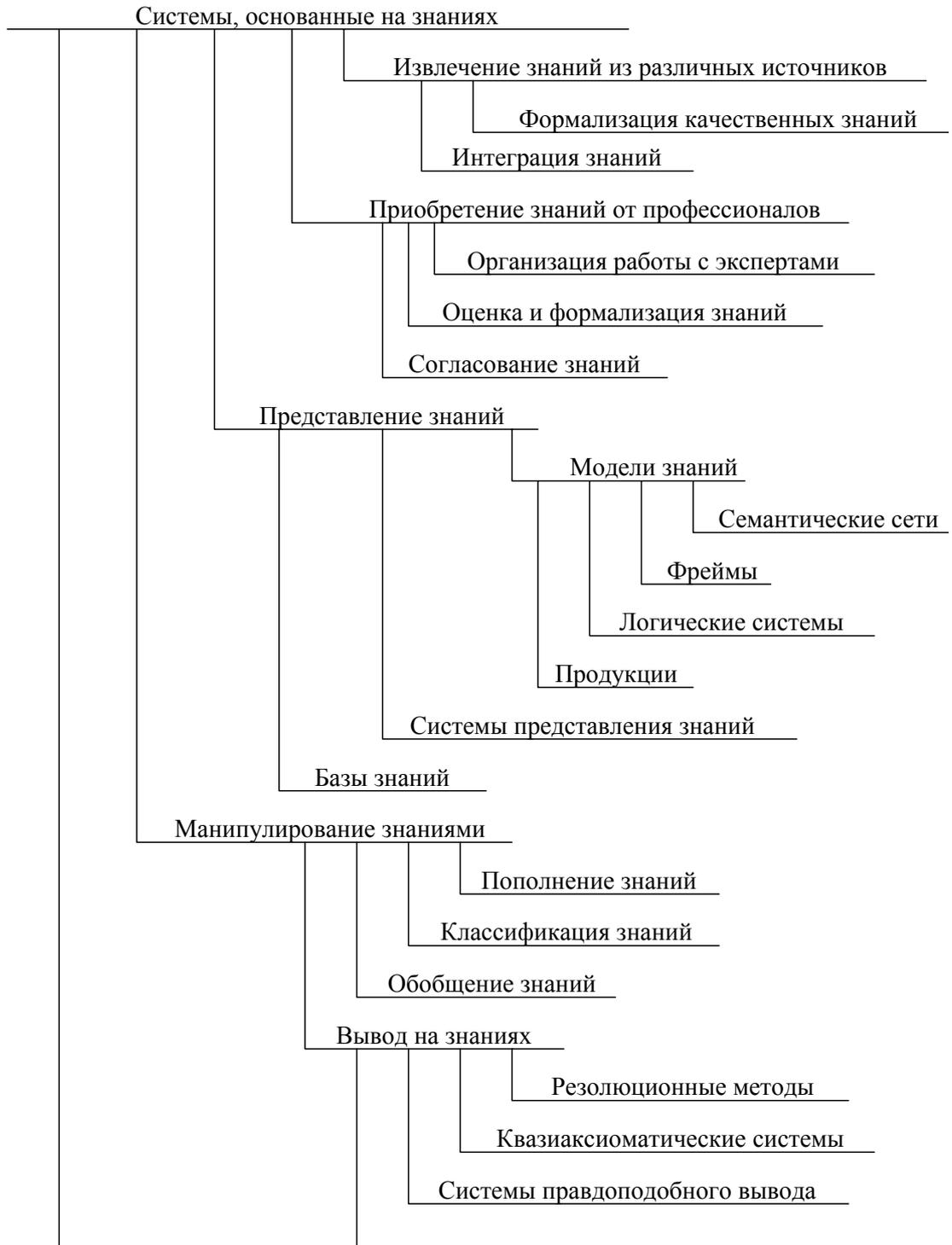
Второе направление в информационном подходе к искусственному интеллекту образует его фундамент, именно здесь создается теория данного научного направления, решаются основные проблемы, связанные с центральным объектом изучения Искусственного интеллекта — знаниями.

Всякая предметная область деятельности может быть описана в виде некоторой совокупности сведений о структуре этой области, основных ее характеристиках, процессах, протекающих в ней, а также о способах решения, возникающих в ней задач, все эти сведения образуют знания о предметной области. При использовании интеллектуальных систем для решения задач в данной предметной области необходимо создать ее концептуальную модель. Источниками знаний могут быть документы, статьи, книги, фотографии, киносъемка и многое другое. Из этих источников надо извлечь содержащиеся в них знания, этот процесс может оказаться достаточно трудным, ибо надо заранее оценить важность и нужность тех или иных знаний для работы интеллектуальной системы. Специалисты, которые занимаются всеми вопросами, связанными со знаниями, теперь называются инженерами по знаниям или инженерами знаний. Эта новая профессия порождена развитием искусственного интеллекта.

Значительная часть профессионального опыта остается вне этих источников, в головах у профессионалов, не могущих словесно их выразить. Такие знания часто называют профессиональным умением или интуицией. Для того, чтобы приобрести такие знания,

нужны специальные приемы и методы. Они используются в инструментальных системах по приобретению знаний.

Полученные от экспертов знания нужно оценить с точки зрения их соответствия ранее накопленным знаниям и формализовать их для ввода в память интеллектуальной системы. Кроме того, знания, полученные от различных экспертов, надо еще согласовать между собой. Нередки случаи, когда эти знания оказываются внешне несовместимыми и даже противоречивыми. Инженер по знаниям должен путем опроса экспертов устранить эти противоречия.



*Рисунок 4.3. Системы, основанные на знаниях*

Следующая проблема, изучаемая в искусственном интеллекте — это представление знаний в памяти системы. Для этого, разрабатываются разнообразные модели представления знаний, в настоящее время в интеллектуальных системах используются четыре основных модели знаний. Первая модель, возможно, наиболее близка к тому, как представляются знания в текстах на естественном языке. В ее основе лежит идея о том, что вся необходимая информация может быть описана как совокупность троек вида:  $(aRb)$ , где  $a$  и  $b$  два объекта или понятия, а  $R$  - бинарное отношение между ними. Такая модель графически может представляться в виде сети, в которой вершинам соответствуют объекты или понятия, а дугам отношения между ними. Дуги помечены именами соответствующих отношений. Такая модель носит название семантической сети.

Семантические сети в зависимости от характера отношений, допустимых в них, имеют различную природу. В ситуационном управлении эти отношения, в основном, описывали временные, пространственные и каузальные связи между объектами, а также результаты воздействий на объекты со стороны управляющей системы. В системах планирования и автоматического синтеза программ эти отношения являются связями типа "цель-средство" или "цель - подцель". В классифицирующих системах отношения передают связи по включению объемов понятий (типа "род-вид", "класс-элемент" и т.п.). Распространены так называемые функциональные семантические сети, в которых дуги характеризуют связи вида: "аргумент-функция". Такие сети используются в качестве моделей вычислительных процессов или моделей функционирования дискретных устройств.

Таким образом, семантические сети — модель весьма широкого назначения. Теория семантических сетей развивается и привлекает к себе внимание многих специалистов, работающих в области искусственного интеллекта. При различных синтаксических ограничениях на структуру семантической сети возникают более жесткие типы представления. Например, реляционные представления, характерные для реляционных баз данных, или клаузальные представления в логике, получившие широкое распространение в машинных методах логического вывода или в языках логического программирования типа языка Пролог.

Фреймовое представление знаний, широко распространенное в искусственном интеллекте, также является видом семантических сетей. С понятием "фрейм" в искусственном интеллекте произошла некоторая трансформация смысла. Это понятие было введено в научный оборот М. Минским, который под фреймом некоторого объекта или явления понимал то его минимальное описание, которое содержит всю существенную

информацию об этом объекте или явлении, и обладает тем свойством, что удаление из описания любой его части приводит к потере существенной информации, без которой описание объекта или явления не может быть достаточным для их идентификации.

Однако позже в работах по представлению знаний требование минимальности описания перестали соблюдать и под фреймами стали понимать структуры вида: <имя фрейма, {множество слотов}>. Каждый слот есть пара вида: <Имя слота; значение слота>. Допускается, чтобы слот сам был фреймом. Тогда в качестве значений слота выступает множество слотов. Другими возможностями для заполнения слотов могут быть константы, переменные, любые допустимые выражения в выбранной модели знаний, ссылки на другие слоты и фреймы и т.п. Таким образом, фрейм представляет собой достаточно гибкую конструкцию, позволяющую отображать в памяти интеллектуальной системы разнообразные знания.

Две другие распространенные модели знаний опираются на классическую логическую модель вывода. Это либо логические исчисления, типа исчисления предикатов и его расширений, либо системы продукций, т.е. правил вида: "Если А, то Б", задающих элементарные шаги преобразований и умозаключений. Эти две модели знаний отличаются явно выраженной процедурной формой. Поэтому часто говорят, что они описывают процедурные знания, а модели знаний, опирающиеся на семантические сети, описывают декларативные знания. Оба вида знаний могут сосуществовать друг с другом; например, в качестве значений некоторых слотов во фрейме могут выступать продукции, именно такие смешанные представления оказываются сейчас в центре внимания исследователей, так как они сулят наиболее хорошие перспективы по представлению знаний.

В интеллектуальных системах для хранения и использования знаний создаются специальные представления, включающие в свой состав всю совокупность процедур, необходимых для записи знаний, извлечения их из памяти и поддержки хранилища знаний в рабочем состоянии. Системы представления знаний часто оформляются как базы знаний, являющиеся естественным развитием баз данных. Теория баз знаний составляет заметную часть современного искусственного интеллекта. Именно в них сосредотачиваются сейчас все основные процедуры манипулирования знаниями.

Среди этих процедур можно, прежде всего, отметить процедуры пополнения знаний. Все человеческие знания, содержащиеся в текстах, таковы, что они принципиально не полны, воспринимая тексты, мы как бы пополняем их за счет той информации, которая нам известна и которая имеет отношения к данному тексту. Аналогичные процедуры должны происходить и в базах знаний. Новые знания, поступающие в них, должны вместе с теми сведениями, которые уже были ранее записаны в базу, сформировать расширение

поступивших знаний. Это и есть процедуры пополнения знаний. Среди них особое место занимают псевдофизические логики (времени, пространства, действий и т.п.), которые, опираясь на законы внешнего мира, пополняют поступающую в базы знаний информацию.

Знания образуют некоторые упорядоченные структуры, что облегчает поиск нужных знаний и поддержание работоспособности баз знаний. Для этого используются различные классифицирующие процедуры. Типы классификаций могут быть весьма различными, это могут быть родовидовые классификации, классификации типа "часть-целое" или ситуативные классификации, когда в одно множество объединяются все те знания, которые релевантны некоторой типовой ситуации. В этой области исследования по искусственному интеллекту тесно соприкасаются с теорией классификации, давно существующей, как некоторая самостоятельная ветвь науки.

В процессе классификации часто происходит абстрагирование от отдельных элементов описаний, фрагментов знаний об объектах или явлениях. Это приводит к появлению обобщенных знаний. Дальнейшее обобщение приводит, в конце концов, к абстрактным знаниям, для которых нет реального прообраза во внешнем мире. Манипулирование абстрактными знаниями повышает интеллектуальные возможности систем, делая эти манипуляции весьма общими по своим свойствам и результатам. Обобщение знаний и формирование понятий в системах искусственного интеллекта - одно из активно развивающихся направлений, в котором работает немало специалистов.

Особое место занимают процедуры, связанные с выводом новых знаний. Вывод зависит от той модели, которая используется для их представления. Если в качестве представления используются логические системы или продукции, то вывод на знаниях становится весьма близок к стандартному логическому выводу. То же происходит при представлении знаний в клаузуальной форме. Во всех случаях в интеллектуальных системах используются методы вывода, опирающиеся на идеи метода резолюций или на идею обратного вывода.

Но простое заимствование идей и методов математической логики, под знаком которого происходило развитие работ в искусственном интеллекте в семидесятых годах, не привело к сколь-нибудь значительным результатам. Основное отличие баз знаний и баз данных интеллектуальных систем от тех объектов, с которыми имеет дело формальная логическая система, это их открытость. Возможность появления в памяти интеллектуальной системы новых файлов, новых сведений приводит к тому, что начинает разрушаться принцип монотонности, лежащий в основе функционирования всех систем, изучаемых математической логикой. Согласно этому принципу, если некоторое утверждение выводится в данной системе, то никакие дополнительные сведения не могут изменить этот факт. В

открытых системах это не так. Новые сведения могут изменить ситуацию, и сделанный ранее вывод может стать неверным.

Немонотонность вывода в открытых системах вызывает немалые трудности при организации вывода на знаниях. В последнее десятилетие сторонники логических методов в искусственном интеллекте делают попытки построить новые логические системы, в рамках которых можно было бы обеспечить немонотонный вывод, но на этом пути больше трудностей, чем результатов, и дело не только в монотонности вывода. По сути, системы, с помощью которых представляются знания о предметных областях, не являются строго аксиоматическими, как классические логические исчисления. В этих последних аксиомы описывают извечные истины верные для любых предметных областей. А в интеллектуальных системах каждая предметная область использует свои, специфические, верные только в ней утверждения, поэтому и системы, которые возникают при таких условиях, следует называть квазиаксиоматическими. В таких системах вполне возможна смена исходных аксиом в процессе длительного вывода, и, как следствие этого, изменение этого вывода.

И, наконец, еще одна особенность вывода на знаниях, доставляющая немало забот исследователям, занятым формированием решений в интеллектуальных системах. Это неполнота сведений о предметной области и протекающих в ней процессах, неточность входной информации, не совсем полная уверенность в квазиаксиомах. а это означает, что выводы в интеллектуальных системах носят не абсолютно достоверный характер, как в традиционных логических системах, а приближенный, правдоподобный характер. Такие выводы требуют развитого аппарата вычисления оценок правдоподобия и методов оперирования с ними. Подобные исследования; сейчас в искусственном интеллекте развиваются широким фронтом, по сути, рождается новая теория вывода, в которую лишь как небольшая часть входит достоверный вывод, изучавшийся в течение многих десятилетий логиками.

В интеллектуальных системах специалисты стремятся отразить основные особенности человеческих рассуждений, опыт тех специалистов, которые обладают профессиональными умениями, пока не полностью доступными искусственным системам. Вывод: всего лишь одна из форм того, как человек приходит к нужным ему заключениям. Поэтому бурно развивается та область, которую в искусственном интеллекте называют моделированием человеческих рассуждений.

К ним относятся аргументация на основе имеющихся знаний, рассуждения по аналогии и ассоциации, оправдание заключения в системе имеющихся прагматических ценностей и многое другое, чем люди пользуются в своей практике. Привнесение всех этих

приемов в интеллектуальные системы, без сомнения, сделает их рассуждения более гибкими, успешными и человечными.

Когда некто высказывает свое мнение, то для того, чтобы согласиться или не согласиться с ним, необходимо знать посылки, которые лежат в его основе. Если посылки неизвестны, то имеется возможность попросить оппонента объяснить, как он пришел к своему мнению. Аналогичная функция возникла и в интеллектуальных системах. Поскольку они принимают свои решения, опираясь на знания, которые могут быть неизвестны пользователю, решающему свою задачу с помощью интеллектуальной системы, то он может усомниться в правильности полученного решения. Интеллектуальная система должна обладать средствами, которые могут сформировать пользователю необходимые объяснения. Объяснения могут быть различного типа. Они могут касаться самого процесса получения решения оснований, которые были для этого использованы, способов отсекаания альтернативных вариантов и т.п. Все это требует развитой теории объяснения, что стимулирует сейчас активность исследований в этом направлении.

### *Интеллектуальное программирование*

Теперь можно перейти к третьему основному направлению в искусственном интеллекте — программистскому взгляду на эту область. Общая структура исследований в этом направлении показана на рисунке 4.

Среди огромного количества языков программирования, созданных для различных целей, в работах по искусственному интеллекту используется мизерная часть, в подавляющем большинстве случаев из ранее известных языков используется ЛИСП и все его многочисленные версии. Куда меньше используется другие языки. Зато именно искусственный интеллект породил ПРОЛОГ. Вместе с ПРОЛОГОМ родилось и некоторое семейство языков программирования, в основе которых лежит идея логического вывода.

Языки логического программирования расцвели вместе с идеей, что логический вывод есть основа всех процессов решения задач в искусственном интеллекте (расцвет ЛИСПА был связан с предшествующим этапом развития искусственного интеллекта, когда считалось, что основой всех процессов решения задач являются хорошо организованный перебор и поиск). На смену языкам типа ПРОЛОГА приходят объектно-ориентированные языки программирования, в которых основной конструкцией является объект и его свойства и признаки. Наиболее известным их представителем является СМОЛТОЛК (SMALLTALK). Парадигма, связанная с языками такого типа состоит в том, что решение задач может мыслиться, как манипулирование с понятиями, обобщающими объекты, с помощью которых описываются предметные области.

Особняком стоят языки для представления знаний. Таковы языки, ориентированные на фреймы или на модель знаний в виде продукций. Такие языки в основном узко специализированы и ориентированы на конкретные приложения.

Весьма не быстро развиваются работы, связанные с автоматическим программированием. Обе ветви этих работ: создание нужных программ из готовых модулей по специфицированному описанию исходной задачи на основании некоторой дедуктивной системы, осуществляющей синтез путем процедуры, напоминающей логический вывод (программа как бы "извлекается" из траектории вывода) и индуктивный способ генерирования программ на основе обучения на множестве примеров, пока дали достаточно скромные результаты. Но энтузиасты рассчитывают, что трудности преодолимы.

Задача написания программы для вычислительной машины связана как с доказательством теорем, так и с роботикой. Большая часть основных исследований по автоматическому программированию, доказательству теорем и решению проблем роботом перекрывается друг с другом. Существующие компиляторы уже осуществляют в некотором смысле «автоматическое программирование». Они воспринимают полную спецификацию во входном коде того, что программа должна делать, и пишут программу в объектном коде, которая это делает. То, что мы здесь подразумеваем под автоматическим программированием, может быть описано как "суперкомпилятор", или программа, которая могла бы воспринимать описание на очень высоком уровне того, что требуется от искомой программы. Указанное описание на высоком уровне могло бы быть точным утверждением в некотором формальном языке, таком, как исчисление предикатов, или же быть приблизительным описанием, скажем, на английском языке, которое потребовало бы проведения дополнительного диалога между системой и пользователем для исключения неоднозначностей.



Рисунок 4.4. Интеллектуальное программирование

Задача автоматического написания программы для достижения заданного результата тесно связана с задачей доказательства того, что программа достигает этого результата. Последняя получила название задачи *верификации программы*. Многие системы автоматического программирования включают верификацию выходной программы в качестве некоторой дополнительной возможности.

Одним из важных вкладов исследования в автоматическое программирование явилось представление об *отладке* как стратегии решения проблем. Установлено, что часто более эффективным оказывается создание недорогого, полного ошибок решения задачи написания программы или управления роботом с его последующей модификацией (добываясь нужного результата), а не поиск с самого начала такого решения, которое было бы свободно от дефектов.

Наиболее бурно развиваются работы в области создания *инструментальных систем*, предназначенных для быстрого проектирования и разработки самых разнообразных интеллектуальных систем. Общая идея тут состоит в том, чтобы создать некоторую систему-прототип, затратив на ее создание достаточно много усилий, но затем использовать для решения задач в конкретной предметной области.

Если в системе-прототипе заранее зафиксированы все средства заполнения базы знаний и манипулирования знаниями в ней, но сама база знаний не заполнена, то такая инструментальная система называется "пустой", чтобы "настроить" ее на некоторую

предметную область, инженер по знаниям должен, используя готовую форму представления знания, ввести в базу знаний всю необходимую информацию о предметной области. После этого система-прототип превращается в готовую интеллектуальную систему.

Сейчас интерес к "пустым" системам резко уменьшился. Оказалось, что даже для однотипных предметных областей переход из одной области к другой может потребовать модификации тех или иных средств для манипулирования знаниями, а иногда и формы представления знаний. Поэтому основные усилия разработчиков сейчас направлены на создание систем-оболочек. В таких инструментальных системах имеется возможность при переходе к конкретной системе варьировать, в достаточно широких пределах форму представления знаний и способы манипулирования ими. Конечно, такая гибкость требует больших затрат на создание системы-оболочки. Но эти затраты оправданы. В этой области уже получены интересные результаты, и именно здесь программисты, специализирующиеся в области интеллектуальных программных систем, ожидают большого прорыва в интеллектуальное программирование завтрашнего дня.

*Системы когнитивной графики* — новое направление в интеллектуальном программировании, в персональных ЭВМ имеются достаточно развитые графические средства, но они как бы оторваны от остальных средств, существуют автономно. Но одна из центральных идей искусственного интеллекта — это идея о том, что суть самого феномена интеллекта состоит в совместной работе двух систем переработки информации: зрительной, создающей образную картину мира, и символической, способной к абстрактному мышлению, к оперированию с понятиями, интегрирующими образы внешнего мира. Возможность перехода от зрительной картины к ее текстовому (символическому) описанию, и от текста к некоторой зрительной картине, могущей быть представительницей этого текста, составляют, по-видимому, основу того, что называется мышлением.

Символьная система изучена достаточно хорошо. Успехи искусственного интеллекта определяются тем, что символьная система достаточно хорошо изучена и промоделирована в искусственных системах. Со зрительной системой дело обстоит хуже. Мы пока еще не слишком много знаем о том, как хранятся зрительные образы в памяти человека, как они обрабатываются и, что самое главное, как они соотносятся с текстами, им соответствующими.

Когнитивная графика как раз и занимается приемами соотнесения текстов и зрительных картин через общее представление знаний, интегрирующих тексты и зрительные образы, это направление в искусственном интеллекте признается всеми, как весьма перспективное. Его развитие даст новый виток развития наших представлений о способах решения задач, стимулирующих развитие систем параллельной обработки, создаст

предпосылки перехода к новой технологии решения задач. Пока в этом направлении делаются первые шаги. Появились программы, которые занимаются оживлением картин на экране дисплея, первые программы, в которых оживление происходит не на основании жестких процедур, как при создании анимации, а в соответствии с некоторыми текстами на ограниченном естественном языке, вводимых в систему. Исследования в этом направлении неуклонно расширяются, и специалисты считают, что в перспективе в этой области будут получены новые фундаментальные результаты.

### ***Интеллектуальные системы***

Нам осталось рассмотреть последнее направление. Если первые два направления носили, в основном, опытно-экспериментальный и теоретический характер, третье инструментальный, то четвертое направление ориентировано на создание практических систем, построенных на основе достижений теории искусственного интеллекта.

Интеллектуальные системы обладают рядом особенностей, отличающих их от систем, создававшихся до развития работ по искусственному интеллекту. Общая структура интеллектуальной системы рассмотрена в параграфе ..... Здесь же рассмотрим классы интеллектуальных систем. Общая структура этого направления показана на рис. 4.5.

*Экспертные системы* получили широкую известность. Они первыми из интеллектуальных систем входят в наш быт, и, по-видимому именно их влияние в обыденной жизни будет наиболее ощутимым. Свое название экспертные системы получили в связи с тем, что основу знаний, хранящихся в их памяти, составляют сведения, приобретенные от экспертов - профессионалов в тех или иных предметных областях. В них входит стандартное ядро любой интеллектуальной системы (лингвистический процессор, решатель, база данных и база знаний), а также система обоснования, являющаяся обязательной составляющей экспертных систем, во всяком случае, именно в экспертных системах впервые возникла функция объяснения, а затем и функции доверия.



Рисунок 4.5. Интеллектуальные системы

Экспертные системы бывают двух типов. К первому типу относятся системы, задачей которых является подъем общего уровня профессионализма в некоторой предметной области (медицине, геологии, юриспруденции и др.). Такие системы выступают, как правило, в роли помощников — консультантов. В сложных случаях рядовой специалист может обратиться к ним за помощью, ибо в базе знаний экспертной системы хранится "на все случаи жизни" ответственный опыт ведущих специалистов в этой области, а также информация, извлеченная из различных источников знаний. Такие экспертные системы могут играть роль простого приказчика, диагностировать совместно с человеком те или иные ситуации, осуществлять прогноз и ретроспективный анализ (поиск причин) и выполнять многие другие функции. Обычно базы знаний систем такого типа являются замкнутыми, решатель имеет встроенные функции, которыми управляет некоторый сценарий общения с пользователем, а работа самого пользователя не требует от него никаких специальных знаний.

Это системы массивные, доступные всем специалистам. Экспертные системы такого типа должны быть недорогими, и современная промышленность интеллектуальных систем готовится к тому, чтобы сделать экспертные системы этого типа широко распространенными.

Второй тип экспертных систем рассчитан на специалистов достаточно высокой квалификации. Это системы — помощники, берущие на себя вспомогательную роль в деятельности специалиста. Они могут снабжать его разнообразной информацией, делать технические расчеты и выводы подсказывать специалисту альтернативные решения и т.д. Такие системы играют роль специфического инструмента, помогающего специалисту сделать свою деятельность более эффективной. Будучи включенными в систему передачи

данных, такие экспертные системы становятся для пользователя способом провести консультации с коллегами, получить интересующую информацию из хранилищ, расположенных в других местах, подключиться к мощным ЭВМ, когда возникает необходимость в проведении сложных расчетов.

Рассмотрению данного класса интеллектуальных систем посвящена значительная часть этого учебного пособия.

*Информационные системы* начали строить еще до появления ЭВМ. С их появлением информационные системы стали строиться на их основе, но только развитие работ в области искусственного интеллекта сделало реальным создание информационных систем, удовлетворяющих пользователей с точки зрения комфортности общения с ними. В таких системах интеллектуальный интерфейс обеспечивает пользователю возможность входа в систему с запросами на обычном профессиональном языке, а наличие базы знаний и решателя позволяет в информационных системах такого уровня обеспечивать поиск ответа и тогда, когда прямого ответа на его в базе данных нет. Активное развитие интеллектуальных информационных систем обеспечивает основы перехода к информационному обществу.

Ключевой проблемой информационных систем является проблема *восприятия естественного языка*. Когда люди общаются друг с другом с помощью языка, они практически без всяких усилий используют чрезвычайно сложные и пока еще мало понятные процессы. Оказалось, что построить вычислительные системы, способные генерировать или "понимать" хотя бы фрагменты любого естественного языка чрезвычайно трудно. Одной из причин этого является то обстоятельство, что язык возник как средство общения интеллектуальных существ. В первую очередь он используется для передачи некоторой порции "умственной структуры" от одного мозга к другому в условиях, в которых каждый мозг располагает большими весьма подобными друг другу "умственными структурами", служащими в качестве общего контекста. Более того, часть этих схожих контекстуальных "умственных структур" дает возможность каждому партнеру знать, что другой также располагает этой общей структурой и может и будет выполнять определенные процессы в ходе актов общения. В процессе эволюции применения языка была, очевидно, учтена потенциальная возможность участников разговора использовать значительные вычислительные ресурсы и совместные знания для создания и восприятия чрезвычайно сжатых сообщений: мудрому человеку достаточно услышать от мудрого одно слово. Таким образом, образование и понимание фразы — чрезвычайно сложная проблема кодирования и декодирования.

Вычислительная система, способная понимать сообщение на естественном языке, нуждалась бы, по-видимому, не в меньшей степени, чем человек, как в контекстуальных

знаниях, так и в процессах, обеспечивающих тот логический вывод (из контекстуальных знаний и сообщения), наличие которого предполагает генератор сообщений. В направлении создания вычислительных систем такого рода, предназначенных для понимания письменных и устных фрагментов речи, был достигнут некоторый прогресс. При построении систем существенными оказались некоторые представления из области ИИ о структурах представления контекстуальных знаний и некоторых методах логического вывода из знаний такого типа.

Второй принципиальной проблемой информационных систем является создание и ведение баз данных, а также обеспечение доступа к ним. Системы баз данных представляют собой вычислительные системы, в которых хранятся большие объемы фактов, относящихся к некоторой области, причем в таком виде, чтобы их можно было использовать при ответах на вопросы, касающиеся этой предметной области.

Разработка систем баз данных — один из важных разделов области вычислительных наук (computer science), в рамках которого были предложены разнообразные приемы, дающие эффективное представление, хранение и извлечение из памяти большого числа фактов. С нашей точки зрения этот предмет становится действительно интересным, когда мы хотим извлечь ответ на вопрос, для которого необходимо провести дедуктивное рассуждение с фактами из базы данных.

Конструктор такой *интеллектуальной* системы извлечения информации сталкивается с несколькими проблемами. Во-первых, имеется гигантская проблема построения системы, которая могла бы понимать запросы, сформулированные на естественном языке. Во-вторых, даже в случае, если задачу понимания языка удастся обойти, определив для этого некоторый формальный понятный машине язык запросов, проблема того, как логически вывести ответы, исходя из хранящихся фактов, остается. В-третьих, для понимания запроса и вывода ответа может потребоваться информация, выходящая за рамки информации, явным образом представленной в базе данных для предметной области. Часто бывают необходимы широко известные сведения, которые обычно опускаются в базе данных, характеризующей проблемную область. То, каким образом обыденные знания следовало бы представлять и использовать, является одной из задач, возникающих при разработке систем, для решения которых могут быть привлечены методы искусственного интеллекта.

Появление методов решения задач, характерных для искусственного интеллекта, не отменило всего того, что накопила за долгие годы вычислительная математика. Многие задачи экономического планирования, моделирования социальных процессов, управления сложными организационно - техническими системами и многие другие виды задач требуют

совместного использования численных моделей и моделей, опирающихся на качественные рассуждения специалистов. Так возникают гибридные системы, в которых при решении задач чередуются этапы чистых вычислений и логических рассуждений, связанных с выбором дальнейшего пути решения по результатам, полученным к этому моменту, системы такого типа называют *расчетно-логическими*. Их появление знаменует переход всех систем, используемых при решении самых различных задач прогнозирования, планирования и управления, на новый уровень. Пользователи таких систем обычно решают свои задачи не в одиночку, а целыми коллективами. Все члены этого коллектива, решая свои задачи, должны взаимодействовать с другими участниками, расчетно-логические системы дают им такую возможность даже в том случае, когда участники находятся в различных местах. Электронная связь (почта) через ЭВМ и каналы передачи данных позволяет им обмениваться необходимой информацией, а интеллектуальные интерфейсы дают этот обмен по форме ничем не отличающимся от обычного общения специалистов между собой.

*Системы автоматизации проектирования (САПРы) и системы автоматизации научных исследований (СНИ)* уже занимают значительное место в нашей инженерной и научной деятельности. Появление в них ядра интеллектуальной системы позволит, как и в случае расчетно-логических систем значительно повысить уровень принимаемых коллективных и индивидуальных решений и обеспечит для специалистов куда более удобный способ общения с САПРами и СНИ, чем это было до сих пор. Во всяком случае, интеллектуализация систем таких типов сейчас идет весьма быстро.

Может показаться, что управление физическими действиями подвижного робота не требует большого интеллекта. Даже маленькие дети способны успешно находить дорогу в окружающей их обстановке и манипулировать такими предметами, как выключатели света, игральные кубики, приспособления для еды и т.д. Однако некоторые из этих задач, практически бессознательно выполняемые людьми, требуют для их решения тех же многих способностей, которые необходимы для решения проблем, нуждающихся в большем интеллекте.

Исследования по роботам и роботике оказали помощь при развитии многих идей ИИ. Они привели к созданию нескольких методов моделирования *состоянии мира* и описания процесса изменения одного состояния внешнего мира на другое. Они привели к лучшему пониманию того, каким образом строить *планы* для последовательности действий и как управлять выполнением этих планов. Сложные задачи управления роботом заставили нас развить методы планирования, осуществляемого на высоком уровне абстракции, опуская детали, с последующим переходом к планированию на все более низких уровнях, на которых детали становятся важными.

Робототехника, создавшая роботов первых двух поколений, работавших по жестким программам, подошла к третьему поколению *интеллектуальным роботам*. Роботы этого поколения должны действовать в динамической среде, когда их действия заранее не могут быть заданы жесткими схемами. Такие роботы должны уметь оценивать текущую ситуацию, классифицировать ее и планировать свою деятельность в соответствии с теми глобальными целями и задачами, которые были априорно заложены в их память. Способные действовать автономно, эти роботы могут работать в тех средах, где пребывание человека опасно или невозможно, а также выполнять такие технологические операции, которые человеку недоступны.

Интересный класс проблем связан с поиском оптимальных расписаний и комбинаторикой. Классическим примером является *задача коммивояжера*, в которой требуется найти маршрут минимальной длины в пределах нескольких городов, начиная от некоторого исходного города, посещая каждый город один раз и возвращаясь в исходный город. Эта задача допускает обобщение как задача поиска пути минимальной стоимости по дугам графа, содержащего  $n$  вершин, такого, что этот путь проходит каждую из  $n$  вершин в точности один раз.

Многие головоломки носят такой же общий характер. Еще одним примером является *задача о восьми ферзях*, которая состоит в том, что восемь ферзей надо разместить на обычной шахматной доске таким образом, чтобы ни один из них не атаковал другого. Иными словами, на каждой вертикали, горизонтали и диагонали должно быть не более одного ферзя. В большинстве задач такого типа область возможных комбинаций или последовательностей, из которых предстоит выбирать ответ, чрезвычайно велика. Простые попытки решения задач такого типа вскоре порождают *комбинаторный взрыв* вариантов, которые быстро исчерпывают возможности больших вычислительных машин.

Некоторые из этих задач (включая задачу коммивояжера) относятся к задачам, которые теоретики-вычислители называют *NP-полными*. При этом трудности различных задач упорядочиваются по тому, как при применении теоретически лучшего метода решения в худшем случае растет время (или число *шагов*), по мере роста некоторой характеристики объема задачи. (Например, характеристикой объема задачи о коммивояжере может служить число городов.) Таким образом, сложность задачи может расти линейно, полиномиально или экспоненциально, например, с увеличением объема задачи.

Время, необходимое при использовании наилучшего из известных методов для решения NP-полных задач, растет экспоненциально с увеличением объема задачи. Пока еще не установлено, существуют ли более быстрые методы (дающие, скажем, лишь полиномиальное время), но было доказано, что если более быстрый метод существует для

одной из  $NP$ -полных задач, то он может быть преобразован в аналогичные быстрые методы для всех остальных  $NP$ -полных задач. А пока что мы должны обходиться методами, обеспечивающими экспоненциальный рост времени решения. Исследователи в области ИИ работали над методами решения нескольких типов комбинаторных задач. Их усилия были направлены на то, чтобы кривая, отражающая зависимость времени от объема задачи, росла возможно медленнее, даже когда она должна расти экспоненциально. Несколько методов было развито для того, чтобы задержать и несколько "умерить" неизбежный комбинаторный взрыв. И снова знания о проблемной области являются ключевыми для создания более эффективных методов решения. Многие из методов, созданных для работы с комбинаторными задачами, также полезны и в других задачах, не носящих чисто комбинаторного характера.

Еще один класс интеллектуальных систем, известный сегодня в искусственном интеллекте, это *обучающие системы*. Такие системы также возникли еще до появления работ в области искусственного интеллекта, но только методы, разработанные в новом направлении науки, позволили сделать такие системы эффективными. Прежде всего, это касается систем для индивидуального и группового обучения в школе или в высших учебных заведениях. Уже накоплен немалый опыт использования таких обучающих систем. И стало ясно, что в девяностых годах доля обучающих систем в человеческом образовании будет непрерывно возрастать.

Особый класс обучающих систем составляют *интеллектуальные тренажеры*. Они соединяют в себе обычный тренажер с системой, имитирующей деятельность инструктора. Такие тренажеры должны резко повысить качество профессиональной подготовки людей в различных сферах человеческой деятельности.

*Консультирующие системы*, обеспечивающие индивидуальную консультацию по широкому кругу проблем, интересующих людей различных социальных групп, также могут быть отнесены к обучающим системам, так как в процессе общения с ними люди приобретают новую информацию и новые знания, а, следовательно, обучаются.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какие принципиальные особенности отличают новую информационную технологию от существующей?
2. На какие типы подразделяются в настоящее время системы искусственного интеллекта, функционирующие на принципах новой информационной технологии?
3. Развитие каких трех основных теоретических проблем предопределяет дальнейший прогресс систем искусственного интеллекта и новой информационной

технологии в связи с тем, что все системы искусственного интеллекта ориентированы на знания?

4. Какие основные пути использования психологических знаний в практике автоматизации умственного труда необходимо наметить в связи с развитием исследований и разработок систем ИИ.

5. Сформулируйте собственно психологические проблемы автоматизации, решение которых определяет возможность и эффективность применения систем ИИ.

6. С какой формой применения ЭВМ (режимом работы) связано использование психологических знаний в практике автоматизации?

7. Сформулируйте психологические принципы проектирования систем «человек — ЭВМ».

8. Раскройте содержание психологического принципа проектирования систем «человек — ЭВМ» — *«Удовлетворение познавательных потребностей»*.

9. Раскройте содержание психологического принципа проектирования систем «человек — ЭВМ» — *«Увеличение творческих компонентов труда»*.

10. Раскройте содержание психологического принципа проектирования систем «человек — ЭВМ» — *«Возможность произвольного регулирования информационных потоков между человеком и ЭВМ»*.

11. Раскройте содержание психологического принципа проектирования систем «человек — ЭВМ» — *«Единство принципов совершенствования автоматизированного и неавтоматизированного управления»*.

12. Использование каких психологических знаний в практике автоматизации умственного труда связано с приближения машинных программ «искусственного интеллекта» к человеческому интеллекту?

13. Приведите основные различия чувственного образа и модели.

14. С чем связывается сегодня многими психологами расширение интеллектуальных возможностей человека?

15. Какие три основных вида мышления принято выделять в психологии?

16. Назовите четыре направления разработки систем ИИ в рамках информационного подхода.

17. Приведите примеры программ решения интеллектуальных задач.

18. Назовите типы игровых программ.

19. Приведите примеры переборных игр.

19. Приведите примеры топологических игр.

19. Приведите примеры стохастических игр.

20. Назовите основные типы естественно-языковых программ ИИ.
21. Назовите «интеллектуальные» музыкальные программы.
22. Опишите задачи, которые решают программы распознавания образов.
23. Что такое «Компьютерная графика и живопись»?
24. Кто первый создал программу, предназначенную для доказательства теорем?
25. Назовите классы систем, основанные на знаниях.
26. Что такое «Интеллектуальное программирование»?
27. Какие задачи решают программы когнитивной графики?
28. Назовите классы интеллектуальных систем.

### Литература

#### Словари

- АРСЛС, 1996      Англо-русский словарь по лингвистике и семиотике. Около 8000 терминов. Т 1 / А.Н.Баранов, Д.О.Добровольский, М.Н.Михайлов, П.Б. Паршин, О.И. Романова. – М.: Помовский и партнеры, 1996. – 656 с.
- Даль, 1989      *Даль В.* Толковый словарь живого великорусского языка: Т.1–4. – М.: Рус. яз., 1989–1991.
- Ожегов, 1992      *Ожегов С.И. и Шведова Н.Ю.* Толковый словарь русского языка: 72500 фразеол. Выражений. – М.: Азъ ltd., 1992 – 960 с.
- РАС, 1994      Русский ассоциативный словарь: Кн.1–6. / Ю.Н.Караулов, Ю.А.Сорокин, Е.Ф.Тарасов, Н.В.Уфимцева, Г.А.Черкасова. – М., 1994–1998.
- САР, 2001      Словарь Академии Российской 1789–1794. Т. 1–6. –М.: МГИ им. Е.Р. Дашковой. 2001–2006. Т.1: А–В. 2001. – 688 с. Т.3: З–Л. 2002. – 832 с.
- Синклер, 1999      *Синклер А.* Большой толковый словарь компьютерных терминов. Русско-английский, англо-русский. – М.: Вече, АСТ, 1999. – 512 с.
- СК, 1979      Словарь по кибернетике / Под ред. В.М.Глушкова. – Киев: Гл. ред. Украинской Советской Энциклопедии, 1979. – 624 с.
- СЛРЯ, 1979      Словарь русского языка XI–XVII вв.: Вып.1–25. / Российская АН. Ин-т рус. яз. – М.: Наука, 1975–2000. Вып.6: Зипун–Иянуарий. 1979. – 360 с.
- СЛРЯ, 2001      Словарь русского языка XI–XVII вв. Справочный выпуск. / Российская АН. Ин-т рус. яз. – М.: Наука, 2001. – 814 с.
- СЭС, 1980      Советский энциклопедический словарь. – М.: Советская Энциклопедия, 1980. – 1600 с.
- Терминология, 1989      Вычислительная техника. Терминология: Справочное пособие. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 168 с. (Вып. 1).
- ТТС IBM, 1978      Вычислительная техника и обработка данных. Терминологический толковый

словарь фирмы IBM. Перевод с англ. Т.Тер-Микаэляна. – М.: Статистика, 1978. — 231 с.. Data processing glossary. C20-1699. IBM, August, 1971.

Цитируемые источники

- Edelman, 1987–89 *Edelman G.* Neural Darwinism: The Theory of neuronal group selection; Topobiology; and The Remembered Present, Basic Books, 1987, 1988, 1989.
- Hebb, 1949 *Hebb D.O.* Organization of behavior. NY, Science Editions, 1949
- Kosko, 1994 *Kosko B.* Fuzzy systems of approximators. — IEEE TRANS. on Computers. v.43, 11., 1994 p.1329–1333.
- Kosko, 1997 *Kosko B.* Fuzzy Engineering. Prentice-Hall, New Jersey, 1997. –549 pp.
- Newell, 1972 *Newell A., Simon M.A.* Human Problem Solving. Englewood – Cliffs, NY: Prentice – Hall, 1972.
- Nilsson, 1971 *Nilsson N.J.* [1971] Problem Solving Methods in Artificial Intelligence. McGraw Hill, New York. (Русс, п е р.: Нильсон Н. Искусственный интеллект. Методы поиска решений / Пер. с англ. - М.: Мир, 1973)
- Penrose, 1990 *Penrose R.* The Emperor’s New Mind. Oxford University Press, 1990.
- Russell, 1994 *Russell S., Norvig P.* Artificial Intelligence: Amodern Approach. Prentice Hall, 1994. – 840 p.]
- Searle, 1984 *Searle J.R.* Minds, Brains and Science. Harvard University, 1984.
- Widrow, 1959 *Widrow B.* Adaptive sampled-data system, a statistical theory of adaptation. IRE Wescon Convention Record, part 4. NY.: Institute of Radio Engineers, 1959.
- Winston, 1977 *Winston P.H.* [1977] Artificial Intelligence. Addison-Wesley, Reading, Mass.
- Zadeh, 1965 *Zadeh L.F.* Fuzzy sets // Information and Control, 1965, n.8,3. – p. 338–353.
- Бенерджи, 1972 *Бенерджи Р.* Теория решения задач. Пер с англ. – М.: Мир, 1972.
- Г.Поспелов, 1988 *Поспелов Г.С.* Искусственный интеллект — основа новой информационной технологии. – М.: Наука, 1988. – 280 с.
- Глушков, 1976 *Глушков. В.М.* Научные проблемы развития вычислительной техники./ Вестник АН СССР, 1976, №2, с.28–44.
- Д.Поспелов, 1988 *Поспелов Д.А.* Послесловие / Горелов И.Н. Разговор с компьютером: психолингвистический аспект проблемы. – М.: Наука, 1988. С.230–250.
- Д.Поспелов, 1990 *Поспелов Д.А.* Структура исследований в области искусственного интеллекта / Лекции всесоюзной школы по основным проблемам искусственного интеллекта и интеллектуальным системам. Ч.1. Минск: Советская ассоциация искусственного интеллекта, научный совет по

- проблеме «Искусственный интеллект», Институт технической кибернетики АН СССР, Институт технической кибернетики АН БССР, 1990.
- Девятков, 2001 *Девятков В.В.* Системы искусственного интеллекта. - М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2001 - 352 с
- Заде, 1976 *Заде Л.А.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
- Левитин, 1991 *Будущее искусственного интеллекта.* – М.: Наука, 1991. – 302 с. – (Редакторы-составители: К.Е.Левитин и Д.А.Поспелов).
- Леонтьев, 1975 *Леонтьев А.Н.* Деятельность, сознание, личность. – М., 1975
- Нильсон, 1973 *Нильсон Н.* Искусственный интеллект. Методы поиска решений: пер. с англ. – М.: Мир, 1973. – 376 с.
- Нильсон, 1985 *Нильсон Н.* Принципы искусственного интеллекта: пер. с англ. Р.М.Абдусаматова и Ю.И.Крюкова, под ред В.Л.Стефанюка. – М.: Радио и связь, 1985. – 376 с. – Табл. 4. Ил. 142. Библиогр. 410 назв.
- Прохоров, 1976 *Прохоров А.М.* Физика твердого тела и ее роль в науке и практике / Вестник АН СССР, 1976. №2, с.19–27.
- Роуз, 1995 *Роуз С.* Устройство памяти: от молекулы к сознанию. Пер. с англ. – М.: Мир, 1995. – 384 с.
- Тихомиров, 1979 *Тихомиров О.К.* Предисловие / Интеллект человека и программы ЭВМ // Под ред. О.К.Тихомирова – М.: Наука, 1979.– С.3–10.
- Уинстон, 1980 *Уинстон П.* Искусственный интеллект. – М.: Мир, 1980. – 530 с.
- Фогель, 1969 *Фогель Л., Оуэнс А., Уоли М.* Искусственный интеллект и эволюционное моделирование: пер. с англ. Ю.П.Заиченко под ред. А.Г.Ивахненко. – М.: Мир, 1969. – 230 с.
- Хант, 1978 *Хант Э.* Искусственный интеллект: пер. с англ. – М.: Мир, 1978. –560 с.
- Эндрю, 1985 *Эндрю А.* Искусственный интеллект Перевод с английского канд. техн. наук В.Л. Стефанюка под редакцией д-ра техн. наук, проф. Д.А. Поспелова. – М.: Мир, 1985. – 264 с. Библиогр. 111 Назв.
- Эндрю, 1991



## Глава 2.

### ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ В СИСТЕМАХ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Глава 2. «Представления знаний в системах искусственного интеллекта» разделена на пять подразделов (параграфов), им соответствуют темы:

Тема 2.1. Формализация знаний в интеллектуальных системах

Тема 2.2. Формально-логические модели

Тема 2.3. Нечеткая логика

Тема 2.4. Продукционные модели

Тема 2.5. Сетевые модели

Каждая из тем может быть раскрыта в одной или нескольких лекциях. В первой теме (*лекция 7*) вводятся основные понятия и определения, а затем рассматривается классификация моделей представления знаний.

Во второй теме (*лекция 8*) сначала дается определение формальной системы, затем последовательно рассматриваются логики высказываний и предикатов

Третья тема (*лекции 9 и 10*) посвящена нечетким множествам. Сначала рассматриваются операции над нечеткими множествами, затем нечеткий вывод, в последующем делается сравнение моделей выводов *mamdani* и *tvfi*. Завершает тему рассмотрения понятий «нечеткость» и «вероятность».

В четвертой теме (*лекции 11 и 12*) сначала рассматриваются структура и состав продукционных моделей, а затем модели с использованием вероятностных продукций и смешанные.

В пятой теме (*лекция 13*) приведена классификация сетевых моделей и рассмотрены функциональные и семантические сети, фреймы и сценарии.

В материалах главы имеются ссылки на работы следующих ученых: Гаврилова Т.А., Червинская К. Р., Девятков В.В., Заде Л.А., Круглов **Х.Х.**, Минский М.

## 2.1. ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗНАНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

### *Основные понятия и определения*

*Знания людей представляют собой проверенный практикой результат познания действительности, являющийся верным ее отражением в их мышлении в виде "картины мира". Мышление как познавательная способность человека является средством формирования "картины мира", а сама "картина мира" — ее результатом. Это проявляется в таких мыслительных процессах как предвосхищение, понимание и других. Однако знания, используемые в этих процессах, рассматриваются как "прошлый опыт". В результате мышления формируются также и новые знания, но, будучи полученными, они тут же автоматически переходят в разряд "прошлого опыта". Таким образом, основной формой существования знаний является "прошлый опыт", который хранится в памяти человека.*

В настоящее время уделяется большое внимание исследованиям памяти: процессов запоминания, хранения, воспроизведения, забывания информации человеком, а также выявлению когнитивных структур, с помощью которых человек хранит информацию об окружающем его мире. Результаты этих исследований находят отражение при формализации знаний человека в интеллектуальных системах.

Каждая из интеллектуальных систем соотносится с определенной частью реального мира — сферой деятельности человека, выделенной и описанной в соответствии с некоторыми целями и называемой *предметной областью*. Описание предметной области представляет собой совокупность сведений о всех:

- предметах — объектах, процессах и явлениях, выделенных с точки зрения рассматриваемой деятельности;
- отношениях между выделенными предметами и/или их частями;
- проявившихся и возможных взаимодействиях между предметами, их частями и отношениями, возникших в результате осуществления деятельности человека.

В рамках предметной области осуществляется такая деятельность, которая воплощается в задачах пользователей информационных систем (АСОИУ), реализующих их цели. Особенностью предметных областей пользователей является их рекурсивность. Предметная область пользователя, для которого другой пользователь является объектом деятельности, включает в себя сведения о его предметной области.

Интеллектуальные системы обычно ориентированы на выполнение заданных функций в соответствующей им сфере деятельности человека. В рамках АСОИУ предметные

области могут быть независимыми, пересекаться, включаться или рекурсивно выражаться друг в друга.

Для обозначения сведений о предметной области в АСОИУ используется обобщенное понятие — *данные*. Состояние предметной области считается определенным, если известны данные об объектах и процессах соответствующей части реального мира.

*Данные о предметах представляются в знаковой форме*. В зависимости от типа знаковой системы данные могут быть представлены в виде естественно- или искусственно-языковых, графических, речевых, жестомимических образов, а также в другой форме, например, при использовании индексных знаковых систем, в виде показаний приборов.

*Представление или описание предметной области с использованием знаковых систем будем называть формализацией данных*.

Общедоступным является описание предметной области на естественном языке. В этом случае пользователи АСОИУ в каждый момент времени, опираясь на свои знания естественного языка, умеют установить истинность его конструкций по отношению к реальному миру. Совокупность конструкций естественного языка, определяющих все истинные в этот момент времени объекты и процессы реального мира, составляет описание предметной области в виде естественно-языковых данных.

В этом случае описание предметной области реального мира в виде естественно-языковых данных является конечным результатом процесса формализации знаний о нем, которые в свою очередь есть результат его познания.

Для формализации знаний о реальном мире может оказаться достаточным использовать такие конструкции естественного языка, которые позволяют однозначно именовать объекты и описывать процессы в виде системы понятий. Система понятий задается через их определения, которые могут строиться по следующей схеме: понятие подводится под более общее (родовое) понятие, а затем указываются его специфические (видовые) признаки. Возможна другая схема, когда понятия соотносятся как часть и целое и т.д. Таким образом, в определении устанавливается совокупность связей между понятиями, носящих характер логических отношений. Каждая такая пара связанных между собой элементов является логическим способом формализации знаний, называемым *суждением* или *утверждением*.

Для формализации знаний могут быть использованы искусственные знаковые системы — *формальные языки*. При этом вводятся абстрактные языковые конструкции, которым ставятся в соответствие объекты и процессы реального мира, тем самым осуществляется описание знаний в виде формальных моделей.

Произвольный формальный язык, используемый для описания предметной области, базируется на конкретном наборе первичных, абстрактных конструкций, которые определяют или описывают данные и изменяют их. Совокупность конструкций, определяющих данные, получила название языков определения данных, а изменяющих их — языков манипулирования данными.

Обобщая можно сделать вывод, что для рассмотренных способов формализации знаний характерным является представление их в виде некоторым образом организованных данных о предметной области. Эти данные отражают закономерности, существующие в предметной области, и позволяют установить новые факты, не зафиксированные в ней на данный момент времени, однако потенциально возможные и являющиеся моделью знаний пользователей о реальном мире.

Чтобы отличать данные о реальном мире, представленные в виде неорганизованных естественно-языковых конструкций или логически несвязанных между собой понятий, или абстрактных формально-языковых конструкций от организованных данных, принято для обозначения последних применять термин *формализованные знания* или просто *знания*<sup>11</sup>. Для определения степени организованности данных, которая превращает их в знания, используют различные критерии: *классифицирующая связанность, интерпретируемость, сложная структура, ситуативность, активность и т.д.*

*Классифицирующая связанность* свидетельствует о наличии или возможности установления различных семантических отношений между элементами знаний. Например, для сборки компьютера или другого сложного устройства недостаточно данных о деталях, из которых они состоят. Необходимо иметь знания о том, как они должны быть связаны между собой, в какой очередности должны собираться и какой тип соединения выбрать в случае нескольких альтернативных вариантов. Другим примером может служить знание (выявление) закономерности в статистических данных, собранных из разрозненных источников.

*Интерпретируемость* обеспечивает интенциональное определение знаний (через внутренние свойства, связи и структуру), которое противопоставляется экстенциональному (через набор фактов). Например, многие пользователи компьютеров имеют только экстенциональное представление о процессорах — знают несколько названий наиболее популярных моделей и факты, что они влияют на производительность компьютера, размещаются на материнской плате и т.д. При этом они не владеют интенциональным

---

<sup>11</sup> В настоящее время при построении информационных систем понятия *данные* и *знания* активно используются в связки с понятием *информация*. При этом под информацией, ориентируясь на теорию информации Шеннона, чаще всего подразумевают «полезные данные», которые впоследствии используются для извлечения знаний.

знанием, которое позволяет определить состав элементов процессора, его архитектурные особенности и принципы работы.

*Сложность структуры* знаний также может служить критерием, т.к. она практически всегда влияет на повышение степени связанности и необходимость интерпретации. Ее разветвленный или рекурсивный характер позволяет декомпозировать и синтезировать отдельные элементы знаний в различные комбинации, а также определять их смысл на разных уровнях абстракции и детализации. Например, при проектировании корпоративной информационной системы крупного предприятия необходимо иметь знания о протекающих в нем бизнес-процессах, начиная с верхнего уровня (направлений деятельности) и заканчивая самым нижним уровнем (отдельными операциями на рабочем месте). При большом количестве уровней данные необходимо структурировать с использованием единого принципа – иерархической вложенности или рекурсивности.

*Ситуативность* знаний связана с необходимостью их применения на практике в конкретных условиях и в различные моменты времени. По этой причине знания часто должны обладать *активностью*, т.е. способностью адаптации к заданному контексту, формированию новых целей и процедур их решения. Например, для определения производительности информационной системы или технического устройства необходимо знать квалификацию пользователей, условия эксплуатации и конкретные задачи, которые будут решаться. Если при организации локально-вычислительной сети пользователи будут постоянно делать массовые рассылки файлов больших размеров (оригинал-макеты печатных изданий с иллюстрациями) вместо размещения файлов изображений на сервере и передачи ссылок, то производительность сети резко упадет, несмотря на ее отличные технические показатели.

Формализация данных является частью деятельности человека в предметной области по реализации своих целей. Являясь составной частью интеллектуальных систем, предназначенных для поддержки этой деятельности, *знания существуют в декларативной и процедуральной (процедурной) формах.*

Основное отличие процедурных знаний от декларативных состоит в том, что формальная система процедурных знаний, заданная в явной форме, содержит описание процедур изменения данных. В формальной системе декларативных знаний описание такой процедуры отсутствует. В связи с этим для описания процедурных и декларативных знаний используются различные типы формальных систем<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup> Такое разделение легло в основу, часто используемой в литературе, но далеко не всегда верной, формулы знаний: *Знания = Данные + Обработка.*

Знания обладают свойством рекурсивности, которое проявляется в возможности рассматривать явное описание системы, лежащей в основе их формализации, как данные для следующего этапа формализации с помощью другой системы. Вообще все множество формализованных знаний может быть представлено в виде формализованных данных о предметной области деятельности человека, расширенной за счет введения в нее интеллектуальных систем. Таким образом, можно получить новое знание, которое в свою очередь также может стать основой для следующего цикла формализации.

*Знания или данные с рассмотренными особенностями с помощью специальных систем управления (систем управления базами знаний — СУБЗ) создают и ведут как единую систему, которую называют базой знаний (БЗ).* В этом случае для знаний существуют единые методы описания, хранения и преобразования, а также взаимодействия с ними пользователей и других баз знаний. Для описания перечисленных методов используют формальные системы, которые называют моделями представления, преобразования, хранения знаний, а также взаимодействия с ними.

#### *Модели представления знаний*

Существует множество формальных систем для представления знаний, которые также называют моделями или языками представления знаний (ЯПЗ). Несмотря на отличия между этими понятиями, чаще всего в рассматриваемом контексте их используют как синонимы. При описании ЯПЗ также не акцентируют внимания на отличиях между данными, знаниями и информацией, т.к. они представляются в виде конкретных элементов формализованной системы.

Среди ЯПЗ выделяют *модели структурированных и неструктурированных данных.* И те, и другие модели строятся на основе формально-языковых знаковых систем. Основные отличия связаны:

1. с содержанием тех знаний, которые предстоит формализовать;
2. с последующим использованием формализованных знаний или со спецификой интеллектуальной системы, частью которой они являются;
3. с технологией формализации.

Иллюстрируя первый тип отличий, можно указать, например, на разницу в знаниях о принципах функционирования какого-либо изделия и составе комплектующих его деталей.

Второе отличие может быть проиллюстрировано на примерах реальных систем обработки данных: модели данных, используемые в системах резервирования авиабилетов и системах расчета зарплаты, отличаются от библиотечных систем и систем научно-технической информации.

Формализация знаний о неструктурируемых данных реализуется в два этапа:

1. формализация знаний на основе естественно-языковой знаковой системы, в результате которой, например, получают данные в виде текстов различных жанров;
2. индексирование текстов, составление рубрикатора, тезауруса или онтологии.

В качестве моделей неструктурируемых данных рассматриваются формальные языки индексирования (индексные или информационно-поисковые языки).

Для хранения структурированных данных (как правило, декларативных знаний) в БД наиболее часто используются иерархические, сетевые, реляционные, объектные, объектно-реляционные и многомерные модели.

Для представления процедурных знаний требуется наличие специальных машин вывода, а, следовательно, и более сложных моделей: формально-логических, продукционных, фреймовых, семантических сетей и других.

Многие модели похожи между собой и часто используют общие принципы. Так, например, считается, что объектно-ориентированный подход для программирования, организации баз данных и их проектирования является одним из вариантов фреймовой модели. Фреймы и семантические сети относят к сетевым моделям, а большинство моделей, которые позволяют получить новые знания на основе существующих, можно свести к продукционному ЯПЗ.

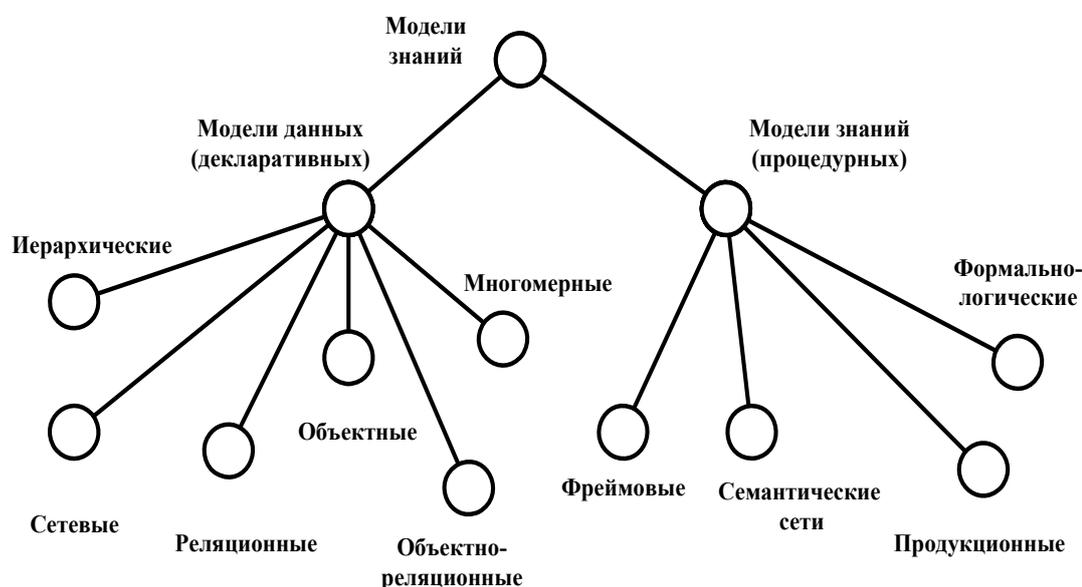


Рисунок 4.6. Модели представления знаний.

#### Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение понятиям «картина мира» и «предметная область».
2. В каких формах может быть представлено знание?

3. Что представляют собой данные, и в какой форме они могут быть представлены?
4. Какими свойствами обладают знания?
5. Чем отличаются экстенциональные знания от интенциональных?
6. Сформулируйте отличия между декларативными и процедурными знаниями.
7. Назовите подходы к формализации данных.
8. Каким образом формализуются неструктурированные данные?
9. Какие формальные модели используются для представления декларативных и процедурных знаний?
10. Какой ЯПЗ наиболее близок к объектно-ориентированным языкам?

## 2.2. Формально-логические модели

### *Определение формальной системы*

В основе большинства логических моделей представления знаний положено следующее определение формальной системы:

$M = \langle T, A, P, F \rangle$ , где:

$T$  — множество базовых элементов, т.е. все рассматриваемые объекты, процессы и события;

$A$  — множество априорно-истинных конструкций (правил), называемых аксиомами;

$P$  — множество синтаксических правил, позволяющих строить из  $T$  и  $A$  новые синтаксически правильные конструкции;

$F$  — семантические правила вывода, позволяющие расширить множество аксиом за счет других конструкций или рекомендаций, которые в рамках данной формальной системы также считаются истинными.

Модели, в зависимости от используемых принципов логического вывода, часто разделяют на две большие группы: *индуктивные* и *дедуктивные* логики.

*Дедуктивные модели* представления знаний используются для разрешения проблем, которые записываются в виде утверждения некоторой формальной системы. Цель решения проблемы также записывается в виде утверждения, справедливость которого следует установить или опровергнуть на основании аксиом и правил вывода формальной системы, в качестве которой обычно используют исчисление предикатов.

Основными чертами дедуктивных моделей представления знаний являются:

- универсальный характер процедур поиска решений;
- эвристическая направленность процедур оптимизации поиска<sup>13</sup>;
- полное описание состояния системы (например, в виде формул логики предикатов первого порядка);
- отделение синтаксического (структурного) знания от семантического;
- зависимость эффективности вывода от степени взаимодействия синтаксического и семантического знаний.

Под *индуктивными моделями* формализации знаний понимаются формальные системы имитации рассуждений с правилами правдоподобного вывода. Правдоподобными выводами называются заключения, полученные на основе истинных посылок, однако, не всегда являющиеся истинными высказываниями.

---

<sup>13</sup> Под эвристикой подразумевается метод выработки гипотезы и ее проверки.

Имея формальное описание правдоподобных выводов, можно построить формальные описания различных типов рассуждений, в которых одновременно присутствуют как точные дедуктивные выводы, так и эвристические соображения. Эвристические соображения по своему существу представляются в этом классе моделей как организованное некоторым образом множество правил правдоподобного вывода.

В развитии данного класса моделей формализации знаний выделяются два направления: первое связано с разработкой логических средств формализации правдоподобных рассуждений, а второе — с разработкой вероятностных процедур правдоподобного вывода.

Наиболее используемыми дедуктивными формально-логическими моделями являются *логика высказываний* и *логика предикатов*. На их основе разработаны более сложные (в том числе и индуктивные) модели, которые позволяют реализовывать приближенные, нечеткие, модифицируемые во времени и другие нестрогие рассуждения, используемые человеком на практике.

Большое распространение получили *модальные логики*, в рамках которых вводятся специальные операторы, модифицирующие интерпретацию формул логической системы.

Например, в *алетической логике (логике возможного)* вводятся операторы «возможно, что» и «необходимо, чтобы», *деонтическая логика* работает с модальностями «разрешено» и «обязательно», а *эпистемическая логика (логика знания)* использует понятия «веры» и «знания» при определении истинности утверждений. Особую группу представляют *темпоральные (или временные) логики*, которые используют такие операторы (модальности), как «иногда» и «всегда», «в будущем» и «в прошлом», «часто» и «никогда».

Развитием модифицируемых рассуждений являются *немонотонные логики*, в рамках которых уже принятые положения могут пересматриваться при появлении дополнительной или уточняющей информации. К числу известных немонотонных логик относится *логика умолчаний Рейтера*, логики *Мак-Дермотта и Дойла*, *автоэпистемические логики* [].

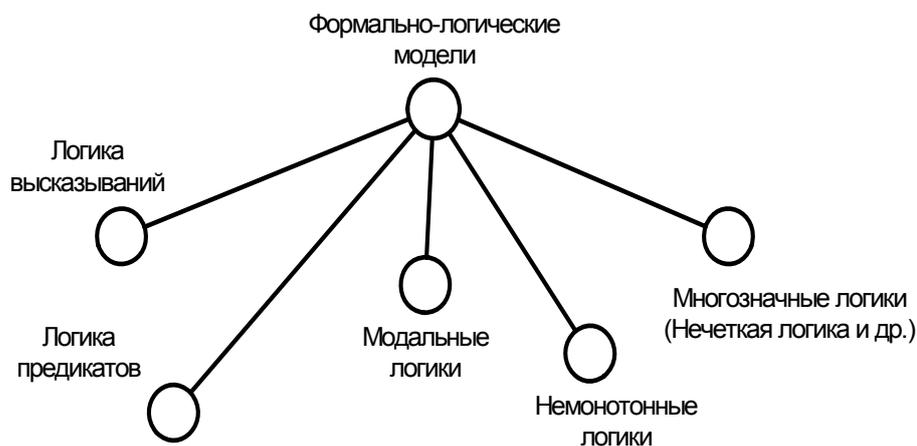


Рисунок 4.7. Классификация формально-логических систем.

Одним из ограничений классических логик является абсолютность оценок истинности утверждений (формула либо верна, либо неверна). Использование лингвистических переменных и модальных расширений позволяют существенно расширить и разнообразить шкалу оценивания утверждений логической системы, но для решения многих практических задач этого оказывается недостаточно.

В связи с этим разработаны специальные математические аппараты, позволяющие работать с много- или даже бесконечно-значными утверждениями. Одной из самых известных подобных формально-логических систем является *нечеткая логика*, которая будет более подробно рассмотрена ниже. Широкое распространение также получили *теория возможностей*, *теория доверия*, *теория уверенности Демпстера-Шеффера* и др.

При классификации формально-логических моделей иногда выделяют группу *псевдофизических логик*. Первоначально они противопоставлялись индуктивным моделям и рассматривались как расширение дедуктивных логик. Например, в работах Поспелова [???] они наделялись следующими особенностями:

- переменные в моделях являются лингвистическими, т.е. имеют в качестве своих значений либо слова естественного языка, либо функции принадлежности, соответствующие этим словам;
- все переменные измеряются в порядковых шкалах с отношением строгого порядка (для лингвистических переменных используются порядковые шкалы, для нелингвистических — метрические);
- правила, используемые в псевдофизических логиках, учитывают порядковые или метрические шкалы и расположение на них фактов и событий.

Эти особенности, которые позволяют более эффективно имитировать нестрогие человеческие рассуждения об окружающем его реальном (*физическом*) мире, впоследствии стали активно использоваться при построении моделей на базе логики предикатов [Девятков] и различных модальных логиках. В связи с этим на первый план стали выдвигаться другие аспекты: особенности предметной области и специфичные операторы, отражающие закономерности пространственно-временной и другой «физической природы» окружающего мира.

Ниже приведен фрагмент псевдофизического языка, предназначенного для моделирования связей между предметами в пространственно-временном континууме:

1)  $x < y$  (*предмет  $x$  есть часть предмета  $y$* );

2)  $xу \sim (\exists z), (x < z \ \& \ y < z)$  (*предмет x совместим с предметом y*);

3)  $x \equiv y$  (*предмет x тождественен предмете y*);

4)  $x/y$  (*предмет x раньше предмета y*);

5)  $x \rightarrow y$  (*предмет x есть причина предмета y*).

Рассматриваемые операторы можно заменить эквивалентными выражениями в логике предикатов, но с точки зрения наглядности и скорости разбора (обработки) выражений такое представление может оказаться более эффективным, особенно для робототехнических систем, вычислительные ресурсы которых сильно ограничены.

В настоящее время псевдофизические логики получили свое развитие в *онтологиях*, под которыми понимается общепринятая модель определенной области реального мира, содержащая необходимые процедурные и декларативные знания, а также интерфейсы взаимодействия с различными системами [Гаврилова]<sup>14</sup>.

Подводя итоги, можно отметить, что достоинства логических ЯПЗ [36] заключаются в высокой степени формализма и возможности оценки полноты и независимости системы аксиом, выявления противоречивых знаний в системе. Основной недостаток — отсутствие четких принципов организации фактов в базе знаний. Без выделения и последовательного проведения таких принципов большая модель превращается в плохо обозримый конгломерат независимых фактов, трудно поддающихся анализу и обработке.

### *Логика высказываний*

Логика высказываний, пожалуй, является одной из самых простых формальных моделей. На ее основе строятся предикатные, модальные и другие логические системы. Вычисление (получение выводов) на основе логических утверждений называется исчислением высказываний.

Для описания объектов предметной области используются константы и переменные, которые могут принимать только два значения: ИСТИНА (TRUE) и ЛОЖЬ (FALSE). Связи между объектами описываются с помощью логических связок, а утверждения с помощью формул, которые также могут быть либо ложными, либо истинными.

Таким образом, алфавит логики высказываний состоит из:

- двух констант ИСТИНА и ЛОЖЬ;
- логических переменных, записываемых буквами и цифрами;

<sup>14</sup> Приведенное определение является типичным для области ИИ, однако за ее пределами трактовку онтологии часто сильно упрощают, приравнивая ее к тезаурусу, семантической сети или еще более простым конструкциям. В качестве примера можно привести стандарт OWL от организации W3C.

- логических операторов: '&' (конъюнкция), '|' (дизъюнкция),  
'~' (логическое дополнение), '→' (импликация),  
= (эквивалентность).
- операторов очередности: '(' и ')'

Предложения языка (высказывания) называются формулами и строятся по следующим правилам:

1. любая логическая переменная или константа есть формула;
2. если  $L$  есть формула, то  $(L)$  тоже есть формула;
3. если  $L$  есть формула, то  $\sim L$  тоже есть формула;
4. если  $L_1$  и  $L_2$  являются формулами, то выражения  $L_1 \& L_2$ ,  $L_1 | L_2$  тоже есть формулы;
5. если  $X$  есть переменная и  $L$  есть формула, то выражения  $L \rightarrow X$  тоже есть формула.

Формула, которая не содержит логические связки, называется атомарной, а формула, истинная на всех наборах значений своих аргументов, — общезначимой. Например, формула с операцией импликации является общезначимой, т.е. правая часть формулы ( $L_2$ ) является истинной при всех истинных значениях левой части ( $L_1$ ).

$$L_1 \rightarrow L_2 = \sim L_1 | L_2$$

В логике высказываний существует множество общезначимых формул, часто называемых законами. Например, к ним относятся законы:

1. коммутативности  
 $L_1 \& L_2 = L_2 \& L_1$   
 $L_1 | L_2 = L_2 | L_1$
2. дистрибутивности  
 $L_1 \& (L_2 | L_3) = (L_1 \& L_2) | (L_1 \& L_3)$   
 $L_1 | (L_2 \& L_3) = (L_1 | L_2) \& (L_1 | L_3)$
3. ассоциативности  
 $L_1 \& (L_2 \& L_3) = (L_1 \& L_2) \& L_3$   
 $L_1 | (L_2 | L_3) = (L_1 | L_2) | L_3$
4. двойного отрицания  
 $\sim(\sim L_1) = L_1$
5. Де Моргана  
 $\sim(L_1 \& L_2) = (\sim L_1) | (\sim L_2)$   
 $\sim(L_1 | L_2) = (\sim L_1) \& (\sim L_2)$

С помощью операции импликации строятся формулы, которые называют правилами вывода. Каждое правило имеет одну или несколько посылок и следствие, соединенных различными операторами. Правила не требующие доказательства называются аксиомами.

Наиболее часто используются следующие аксиомы:

$$L_1 \rightarrow (L_2 \rightarrow L_1)$$

$$\begin{aligned}
&(L_1 \& L_2) \rightarrow L_1 \\
&(L_1 \& L_2) \rightarrow L_2 \\
&L_1 \rightarrow (L_1 \mid L_2) \\
&L_2 \rightarrow (L_1 \mid L_2) \\
&L_1 \rightarrow (L_2 \rightarrow (L_1 \& L_2)) \\
&(L_1 \rightarrow L_2) \rightarrow ((L_1 \rightarrow (L_2 \rightarrow L_3)) \rightarrow (L_1 \rightarrow L_3)) \\
&(L_1 \rightarrow L_3) \rightarrow ((L_2 \rightarrow L_3) \rightarrow ((L_1 \mid L_2) \rightarrow L_3)) \\
&(L_1 \rightarrow L_2) \rightarrow ((L_2 \rightarrow \sim L_1) \rightarrow \sim L_1)
\end{aligned}$$

Как видно из примера выше, некоторые правила вывода (формулы) включают несколько операций импликации и операторов очередности, что приводит к уменьшению наглядности и затрудняет разбор выражений. Чтобы избежать подобной ситуации осуществляется «свертка» формул за счет удаления промежуточных этапов вывода.

Для обозначения выводимости правой части из левой используют специальный оператор ( $\Rightarrow$ ), читаемый как СЛЕДУЕТ или ВЫВОДИТСЯ. Левую часть при этом называют посылкой или антецедентом, а правую – следствием или консеквентом.

Для правил, которые не являются общезначимыми, дополнительно указываются условия их выполнения (например, истинность или ложность посылок). Они соединяются с правилом посредством стандартных операторов (конъюнкции) или для наглядности отделяются запятыми. Примеры наиболее часто используемых выводов с использованием различного представления приведены ниже:

6. Модус поненс  
 $L_1, L_1 \rightarrow L_2 \Rightarrow L_2$
7. Простая резолюция  
 $L_1 \mid L_2, \sim L_2 \Rightarrow L_1$
8. Резолюция  
 $(L_1 \mid L_2) \& (\sim L_2 \mid L_3) \Rightarrow L_1 \mid L_3$
9. Силлогизм  
 $((L_1 \Rightarrow L_2) \& (L_2 \Rightarrow L_3)) \Rightarrow (L_1 \Rightarrow L_3)$
10. Исключение конъюнкта  
 $L_1 \& L_2 \& \dots \& L_n \Rightarrow L_i$
11. Введение дизъюнкции  
 $L_i \Rightarrow L_1 \mid L_2 \mid \dots \mid L_n$

Исчисление высказываний состоит в доказательстве или опровержении теорем, под которыми понимается произвольная формула, а под формальным доказательством — конечная последовательность формул  $L_1, \dots, L_i, \dots, L_k$ , такая, что каждая формула выводима посредством правил вывода из предыдущих формул:

$$L_1 \Rightarrow L_2 \Rightarrow \dots L_i \dots \Rightarrow L_k$$

Для иллюстрации рассмотрим пример моделирования перемещений  $n$  интеллектуальных агентов (ИА) в здании, имеющим  $m$  помещений. Чтобы задать действия агентов (например, выход из здания во время пожара) в зависимости от их местонахождения необходимо ввести в модель следующие формулы:

$L_{11}$  – ИА<sub>1</sub> находится в помещении  $X_1$ ;

$L_{12}$  – ИА<sub>1</sub> находится в помещении  $X_2$ ;

...

$L_{1m}$  – ИА<sub>1</sub> находится в помещении  $X_m$ ;

$L_{21}$  – ИА<sub>2</sub> находится в помещении  $X_1$ ;

$L_{22}$  – ИА<sub>2</sub> находится в помещении  $X_2$ ;

...

$L_{nm}$  – ИА<sub>n</sub> находится в помещении  $X_m$ ;

$A$  – В здании пожар;

$B_1$  – ИА<sub>1</sub> должен выйти из здания;

...

$B_n$  – ИА<sub>n</sub> должен выйти из здания;

Правила вывода вида «Если в здании пожар и ИА находится у выхода (помещение  $X_2$ ), то он должен выйти из здания» будут выглядеть следующим образом:

$A \ \& \ L_{12} \rightarrow B_1$ ;

$A \ \& \ L_{22} \rightarrow B_2$ ;

...

$A \ \& \ L_{n2} \rightarrow B_n$ .

Используя заданную систему правил (формул) и оказавшись в нужном помещении, ИА может определить (вывести, доказать) необходимость выйти из здания во время пожара.

### *Логика предикатов*

Логика предикатов в сравнении с логикой высказываний имеет более широкие возможности для представления и моделирования рассуждений в предметной области, что обеспечивается использованием лингвистических переменных, предикатов и кванторов.

При создании модели на базе логики предикатов каждому объекту, явлению или процессу предметной области присваивается уникальный идентификатор в виде одного или нескольких слов естественного языка. Например: *Компьютер*, *Процессор*,

*Оперативная память* и т.д. Переменные, которые могут принимать в качестве своих значений подобные идентификаторы (константы) называются *лингвистическими*<sup>15</sup>.

Такой подход позволяет не только повысить наглядность и читабельность модели, но и существенно упростить представление объектов по сравнению с логикой высказываний, где переменные и константы могут иметь только два значения.

Для расширения возможностей языка и увеличения степени структурированности модели используются *предикаты*, под которыми понимаются логические функции от одной или нескольких переменных, выражающие существующие отношения и зависимости между объектами. В качестве иллюстрации запишем в терминах логики предикатов пример, рассмотренный выше:

Зададим переменные *Событие*, *Агент*, *Помещение* и соответствующие им значения (константы):

*Событие*, {*Пожар\_в\_здании*, ...};

*Агент*, {*ИА<sub>1</sub>*, *ИА<sub>2</sub>*, ... *ИА<sub>n</sub>*};

*Помещение*, {*Ауд. 1*, *Коридор\_около\_выхода*, ... , *Крыша*}.

Далее определим предикаты связи, действия и события:

*Находится* ( *Агент*, *Помещение* );

*Выйти\_из\_здания* ( *Агент* );

*Произошло\_событие* ( *Событие* ).

Правила вывода (формулы) вида «Если в здании пожар и ИА находится у в коридоре около выхода, то он должен выйти из здания» будут выглядеть следующим образом:

*Произошло\_событие* ( *Пожар\_в\_здании* ) & *Находится* ( *ИА<sub>1</sub>*, *Коридор\_около\_выхода* )  
=> *Выйти\_из\_здания* ( *ИА<sub>1</sub>* );

*Произошло\_событие* ( *Пожар\_в\_здании* ) & *Находится* ( *ИА<sub>2</sub>*, *Коридор\_около\_выхода* )  
=> *Выйти\_из\_здания* ( *ИА<sub>2</sub>* );

...

*Произошло\_событие* ( *Пожар\_в\_здании* ) & *Находится* ( *ИА<sub>n</sub>*, *Коридор\_около\_выхода* )  
=> *Выйти\_из\_здания* ( *ИА<sub>n</sub>* ).

Важным преимуществом логики предикатов является возможность задания не только двуместных (бинарных), но и многоместных отношений, размерность ("местность") которых определяется количеством переменных-аргументов предиката. Например,

---

<sup>15</sup> Понятие лингвистической переменной введено относительно недавно в работах Заде, поэтому часто переменные такого типа называют объектными или предикатными.

трехместный предикат, описывающий передачу сведений между агентами, может выглядеть следующим образом:

*Передача\_сведений ( Агент, Агент, Информация )*

Ключевым достоинством логики предикатов (первого порядка) является возможность использования при вычислениях *кванторов существования и всеобщности*, которые необходимы для выражения общих свойств группы объектов.

Квантор всеобщности ( $\forall$ ) означает справедливость формулы или термина<sup>16</sup> для всех возможных значений переменных. Например, множество правил вывода, представленных выше, можно записать в виде одной формулы:

*( $\forall$  Агент) Находится (Агент, Коридор\_около\_выхода ) & Произошло событие (Пожар\_в\_здании) => Выйти из здания (Агент)*

Квантор существования ( $\exists$ ) означает справедливость формулы или термина для отдельного значения переменной. Например, в рамках рассматриваемой системы формул можно утверждать, что существует, по крайней мере, одно помещение, из которого ИА<sub>1</sub> должен выйти в случае пожара:

*( $\exists$  Помещение) Находится (ИА<sub>1</sub>, Помещение) & Произошло событие (Пожар\_в\_здании) => Выйти из здания (ИА<sub>1</sub>)*

Кванторы можно комбинировать между собой. Например, рассмотренную выше формулу можно обобщить на все агентов:

*( $\exists$  Помещение) ( $\forall$  Агент) Находится (Агент, Помещение) & Произошло событие (Пожар\_в\_здании) => Выйти из здания (Агент)*

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Дайте определение «формально-логической модели». Из каких компонент она может состоять?
2. Сформулируйте отличия дедуктивных и индуктивных логик.
3. Приведите примеры правдоподобного вывода.
4. Дайте определение и приведите примеры модальных логик.
5. Чем отличаются темпоральные логики от немонотонных?
6. Назовите несколько многозначных логик.
7. Для каких целей используются псевдофизические логики и онтологии?
8. Перечислите достоинства и недостатки формально-логических моделей.

<sup>16</sup> Термами являются константы, переменные и предикаты. Иногда к ним относят аксиомы, не содержащие кванторов. Из-за того, что свойства выражаются с помощью термов и формул, кванторы отдельно не употребляются.

9. Перечислите основные операции и законы логики высказываний.
10. Какие формулы называются общезначимыми?
11. Чем отличаются операторы импликации ( $\rightarrow$ ) и выводимости ( $\Rightarrow$ )?
12. Приведите примеры выводов, часто используемых в логике высказываний.
13. Какие преимущества имеет логика предикатов по сравнению с логикой высказываний?
14. Приведите примеры одно-, двух-, трех- и четырехместного предикатов.
15. Какие кванторы используются в логике предикатов первого порядка?
16. Проиллюстрируйте преимущества, которые дает использование кванторов и лингвистических переменных.

### 2.3. Нечеткая логика

#### *Нечеткие множества*

Одной из особенностей человеческого интеллекта является его способность к логическому мышлению. Классическая логика оперирует утверждениями и умозаключениями, которые могут быть либо верны, либо неверны, поэтому такую логику часто называют *двухзначной*. При решении реальных практических задач такой подход далеко не всегда применим, т.к. часто возникают ситуации, в которых нельзя однозначно (четко) определить исходные данные, истинность фактов и гипотез.

Для преодоления существующих ограничений применяют *многозначные* логики. Например, в современных СУБД при проверке условий выполнения запросов широко используется трехзначная логика:

1. *True* – условие запроса выполняется;
2. *False* – условие запроса не выполняется;
3. *Null* – неизвестно, может ли быть выполнено условие запроса.

В качестве иллюстрации рассмотрим таблицу, содержащую два поля: *Оборудование* и *Цена* (см. Таблица 2). Предположим, что необходимо выбрать все оборудование, цена которого больше 300 у.е. Для строки, соответствующей значению *Принтер HP LJ1100*, условие выполняется; для строки, соответствующей значению *Сканер Umax 3200*, - не выполняется, а определить истинность или ложность условия для записи, соответствующей *ФНА Heidelberg Hercules* невозможно, т.к. необходимая информация о цене отсутствует.

**Таблица 2. Использование Null-значений**

Оборудование	Цена
Принтер HP LJ1100	395
ФНА Heidelberg Hercules	NULL
Сканер UMAX 3200	123

Другим примером многозначных логик является *нечеткая логика* (fuzzy logic) [Zadeh, 1975], предложенная Лотфи А. Заде (Lotfi A. Zadeh). Она построена на базе теории нечетких множеств (fuzzy set theory) [Zadeh, 1965], позволяет оперировать бесконечным количеством значений логических утверждений и оценивать их с помощью таких понятий как *достаточно, почти, очень сильно, умеренно сильно* и др.

Рассмотрим основы теории нечетких множеств и нечеткой логики на примере задачи, которая может возникнуть при подсчете стоимости заказа на издание полиграфической продукции. Для этого из множества допечатных процессов выделим

операцию ввода рукописного текста машинисткой, и попробуем оценить стоимость работ исходя из ее сложности и трудоемкости.

Имеется рукопись книги *PAGES*, которую необходимо ввести в ЭВМ. Она состоит из множества страниц формата А4, общее количество которых равно  $N$ .

$$PAGES = \{P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_N\},$$

где  $P_i$  — конкретная страница.

Пусть необходимо разбить рукопись на множества простых (*SIMPL*) и сложных (*DIFCL*) страниц:

$$SIMPL = \{P_{s1}, P_{s2}, \dots, P_{si}, \dots, P_{sM}\}$$

$$DIFCL = \{P_{d1}, P_{d2}, \dots, P_{di}, \dots, P_{dK}\}$$

где  $P_{si}$  — конкретная простая страница;

$M$  — количество простых страниц;

$P_{di}$  — конкретная сложная страница;

$K$  — количество сложных страниц.

Для того чтобы отнести произвольную страницу к одному из двух множеств необходимо ввести критерий, например, оценивающий время набора страницы  $T(P_i)$ . Если ввод текста занимает более 20 минут, то страница считается сложной, если менее 20 минут — то простой. Критерий позволяет разделить рукопись на две непересекающиеся части, из чего следует, что произвольная страница принадлежит либо множеству *DIFCL*, либо *SIMPL*:

$$(\forall i) T(P_i) \geq 20 \Rightarrow P_i \in DIFCL, \text{ где } i = [1, N]$$

$$(\forall i) T(P_i) < 20 \Rightarrow P_i \in SIMPL, \text{ где } i = [1, N]$$

$$DIFCL \cap SIMPL = \emptyset$$

$$DIFCL \cup SIMPL = PAGES$$

Представленные выше утверждения можно отобразить графически (рис. 4.8), приняв, что принадлежность страницы соответствует значению 1 (True), а непринадлежность — значению 0 (False).

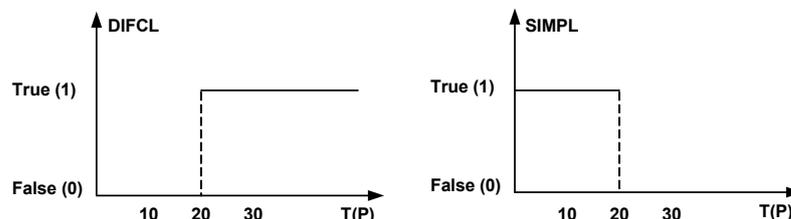


Рис. 4.8. Множества *DIFCL* и *SIMPL*

Согласно выбранному критерию, страница, набираемая за 19,5 минут является простой, а страница, набираемая за 20,5 минут — сложной. Если принять, что стоимость набора простых и сложных страниц отличается в два раза, то выбранный критерий окажется

несправедливым по отношению к исполнителям работ. Чтобы этого избежать, можно ввести множество несложных (средних по сложности) страниц и назначить им соответствующую цену, но тогда точно такая же проблема возникнет уже на двух границах (между несложными и простыми, несложными и сложными страницами). Дальнейшее применение выбранного подхода приведет в конечном итоге к сильному дроблению и переходу к поминутной оплате.

Воспользуемся альтернативным подходом с применением нечетких множеств, которые характеризуются тем, что элементы могут входить в них не полностью, а в какой-то степени. Формально, это представляется следующим образом:

$$\tilde{A} = \{x, \mu_{\tilde{A}}(x)\}, \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1]$$

где  $x$  — элемент множества;

$\mu_{\tilde{A}}(x)$  — функция (степень) вхождения элемента  $x$

в нечеткое множество  $\tilde{A}$ .

Из этого утверждения следует, что в нечеткое множество могут войти все существующие элементы со степенью вхождения 0. На практике, диапазон  $\mu$  сокращают до строгого неравенства  $(0, 1]$  и называют основой (Support).

$$Sup(\tilde{A}) = \{x, \mu_{\tilde{A}}(x)\}, \mu_{\tilde{A}}(x) \in (0,1]$$

Как правило, нечеткие множества задаются с помощью нескольких характерных точек, а остальные интерполируются. Для построения нечетких множеств *FUZZY\_SIMPL* и *FUZZY\_DIFCL*<sup>17</sup> примем, что если время набора больше 30 минут, то страницу можно с полной уверенностью считать сложной. В случае, когда она набирается менее чем за 10 минут, ее можно считать простой. Если время ввода больше 20 минут, то страница скорее сложная, чем простая. Ниже показаны графическое отображение множеств (рис. 4.9) и их аналитическая запись.

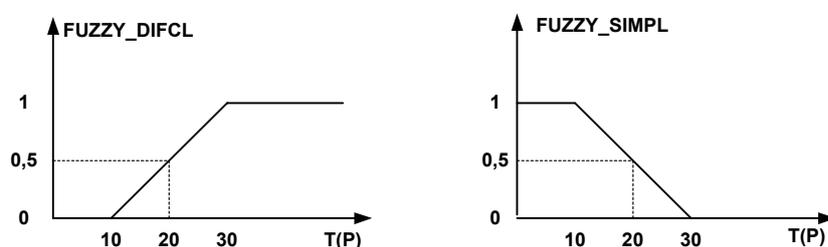


Рисунок 4.9. Нечеткие множества *FUZZY\_SIMPL* и *FUZZY\_DIFCL*.

<sup>17</sup> В тех случаях, когда будет требоваться более компактная запись, будем сокращать обозначение множеств до *FS* и *FD* соответственно.

$$\text{FUZZY\_SIMPL} = \{x, \mu_{FS}(x)\}, \quad \mu_{FS}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 10 \\ \frac{30-x}{20}, & 10 < x \leq 30 \\ 0, & x > 30 \end{cases}$$

$$\text{FUZZY\_DIFCL} = \{x, \mu_{FD}(x)\}, \quad \mu_{FD}(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 30 \\ \frac{x-10}{20}, & 10 < x \leq 30 \\ 0, & x < 10 \end{cases}$$

Использование нечетких множеств позволяет более гибко проводить разбиение рукописи на простые и сложные страницы, учитывая степень принадлежности тому или иному множеству. Для определения стоимости работ можно, например, использовать степень принадлежности к множеству как коэффициент к базовой цене.

#### *Операции над нечеткими Множествами*

Основными операциями над нечеткими множествами являются *объединение*, *пересечение* и *отрицание*. Они будут подробно рассмотрены в этом разделе. В качестве специфических операций используются *концентрирование (сжатие)*, *растяжение*, *умножение на число*, *увеличение нечеткости* и др. Более подробно о них можно узнать в [Круглов].

Первоначально правила выполнения операций были определены Заде, основателем нечеткой логики, однако впоследствии предложены и другие варианты выполнению действий над нечеткими множествами.

**Объединение.** Согласно методу *Max Combination*, предложенному Заде, в результате объединения все непересекающиеся элементы исходных множеств входят в результирующее с имеющейся степенью принадлежности. Если множества имеют общие элементы, то выбирается та, которая имеет максимальную степень принадлежности. Формальная запись операции приведена ниже, а ее графическая интерпретация представлена на рис. 4.10 слева.

$$\mu_{Sum}(x) = \max \{ \mu_i(x) \}, (\forall x) i \in [1, n]$$

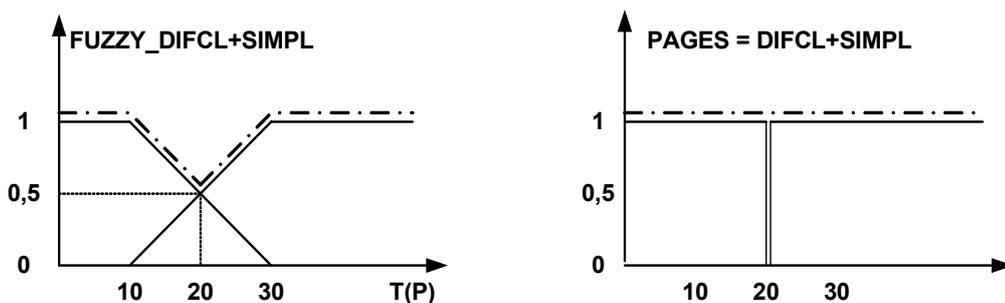


Рисунок 4.10. Объединение нечетких множеств.

В правой части рисунка для сравнения представлен результат объединения четких множеств, который демонстрирует один из недостатков рассматриваемого метода объединения: результат объединения составных подмножеств не дает исходного множества.

Формально почти все операции классической логики выполняются в нечеткой логике Заде, но исключение составляют операции объединения и пересечения множеств  $A$  и  $\bar{A}$ , когда они не должны иметь общие элементы (как в рассматриваемом примере).

Чтобы преодолеть этот недостаток используют метод Sum Combination<sup>18</sup>, аналитическая запись которого выглядит следующим образом:

$$\mu_{Sum}(x) = \sum_{i=1}^n \mu_i(x), (\forall x) i \in [1, n]$$

На рис. 4.11 схематично показано объединение двух произвольных нечетких множеств с помощью метода Sum Combination. Недостатком этого метода является его высокая «оптимистичность», которая проявляется в случаях объединения большого количества множеств с малой степенью принадлежности.

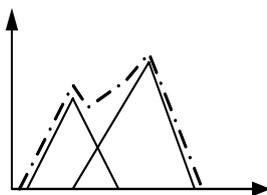


Рисунок 4.11. Метод Sum Combination

Еще одним недостатком метода объединения Max Combination является то, что в нем учитывается уровень принадлежности только одного (максимального) элемента. При этом любое изменение значений других параметров не будет оказывать влияние на конечный результат, хотя на практике они должны учитываться.

Для преодоления указанных трудностей и уменьшения степени «оптимистичности» метода Sum Combination используют так называемые «мягкие вычисления»<sup>19</sup>, формальная запись которых для операции объединения выглядит следующим образом:

$$\mu(A \cup B) = \mu(A) + \mu(B) - \mu(A) * \mu(B)$$

Недостатком этого метода (с учетом правил выполнения операции пересечения) является возможность невыполнения существенно большего (по сравнению с логикой Заде) количества эквивалентностей классической логики:

$$A \wedge A = A, A \vee A = A, A \wedge (B \vee C) = (A \wedge B) \vee (A \wedge C),$$

$$A \vee (B \wedge C) = (A \vee B) \wedge (A \vee C), A \wedge (B \vee A) = A, A \vee (B \wedge A) = A.$$

<sup>18</sup> Более строгое разрешение указанной проблемы достигается с помощью нечеткой логики антонимов.

<sup>19</sup> В настоящее время понятие мягких вычислений имеет широкую трактовку и подразумевает целое научное направление, включающее нечеткие, вероятностные, генетические, нейросетевые и другие вычисления.

Суммируя вышесказанное, можно отметить, что не существует оптимального метода выполнения операций с нечеткими множествами – для каждого конкретного случая необходимо выбирать наиболее подходящий вариант.

**Пересечение.** Для пересечения множеств наиболее часто используется предложенный Заде метод *Min Combination*, графическая иллюстрация которого представлена на рис. 4.12.

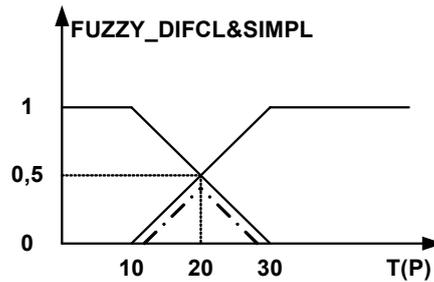


Рисунок 4.12. Пересечение нечетких множеств

Ниже приведена аналитическая запись операции пересечения, с использованием метода *Min Combination* и «мягких вычислений» соответственно:

$$\mu_{\text{кон}}(x) = \min_i \{ \mu_i(x) \}, (\forall x) i \in [1, n]$$

$$\mu(A \cap B) = \mu(A) * \mu(B)$$

**Отрицание.** Операция отрицания, которую также называют дополнением, носит более универсальный характер и ее аналитическая запись выглядит следующим образом:

$$\mu(\bar{x}) = 1 - \mu(x)$$

В качестве примера можно привести множества FUZZY\_SIMPL и FUZZY\_DIFCL (рис. 4.8), которые являются отрицанием друг друга. Более сложный пример, иллюстрирующий отрицание конъюнкции (объединения) множеств FUZZY\_SIMPL и FUZZY\_DIFCL, представлен на рис 4.12.

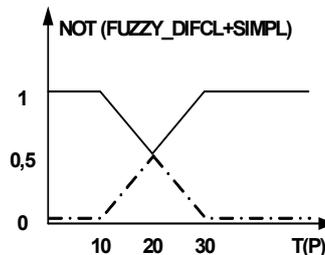


Рисунок 4.12. Отрицание (дополнение) нечетких множеств

## НЕЧЕТКИЙ ВЫВОД

Нечеткая логика (НЛ) является развитием теории нечетких множеств и построена на схожих принципах. Основным элементом НЛ – суждение (высказывание) – может принимать несколько, а не два альтернативных, как в классической логике, значений. При этом каждому из них соответствует специальная мера – уровень истинности суждения. В большинстве случаев понятие уровня истинности высказывания можно выразить через уровень принадлежности элемента к нечеткому множеству, поэтому основные логические операции конъюнкции и дизъюнкции в НЛ выполняются аналогично операциям пересечения и объединения. Исчисления в НЛ (нечеткий вывод) обычно реализуются в три этапа (рис.4.13

Рисунок 4.):

- фазификация (fuzzification) исходных данных;
- вывод с использованием нечетких правил;
- дефазификация (скаляризация) результатов.



Рисунок 4.13. Этапы нечеткого вывода

**Фазификацией** называется процесс перехода от значения величины реального (внешнего) мира к уровню истинности суждения или степени принадлежности нечеткому множеству. Например, для страницы, набиваемой за 15 минут, уровень принадлежности множеству FUZZY\_SIMPL будет соответствовать значению 0,75 (рис. 4.14).

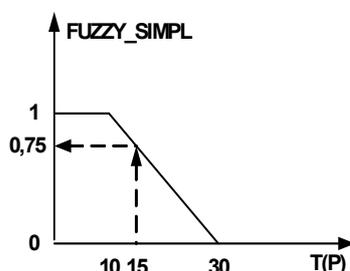


Рисунок 4.14. Фазификация

**Нечеткие правила** в наиболее конкретизированном случае строятся аналогично классической операции импликации ( $L_1 \rightarrow L_2$ ), где в качестве посылки и следствия выступают значения уровней истинности (степеней принадлежности):

$$\mu_A(x) = a_i \rightarrow \mu_B(y) = b_j$$

На практике вместо использования множества подобных правил для каждого уровня истинности их представляют обобщенно следующими способами:

$$\mu_A(x) \rightarrow \mu_B(y)$$

$$A \rightarrow B$$

*Если  $x$  есть  $A$ , то  $y$  есть  $B$*

В качестве иллюстрации рассмотрим пример нечеткого правила с использованием двух нечетких множеств «много иностранных слов» и «сложная страница»:

*Если на странице присутствует много иностранных слов,*

*То страница является сложной.*

Обобщенные формулы с одной стороны упрощают процесс задания правил, а с другой стороны - требуют введения дополнительных методов расчета конкретизированных значений, поэтому для их иллюстрации часто используют графические представления.

Метод "минимума" (*correlation-min encoding*) модифицирует нечеткое множество (функцию принадлежности) в правой части правила, используя конкретное значение уровня истинности (полученного в ходе фазификации) в левой части (рис. 4.15). Результирующее конкретизированное значение в правой части рассчитывается на третьем этапе вывода во время дефазификации.

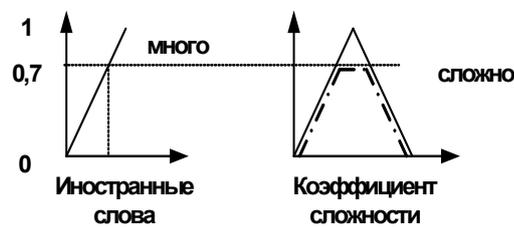


Рисунок 4.15. Правило "минимума"

Метод "произведения" (*correlation-product encoding*) значение истинности левой части используется как коэффициент сжатия функции принадлежности, представленной в правой части (рис. 4.16).

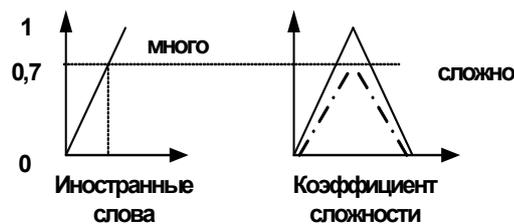


Рисунок 4.16. Правило "произведения"

Если при выводе используется несколько правил, имеющие в правой части однотипные множества, то результирующие нечеткие множества объединяются с помощью одного из методов, описанных в разделе *Операции над нечеткими Множествами*. Этот процесс называют агрегацией (aggregation). На рис.4.17 показано агрегирование множеств «Простая страница» и «Сложная страница» для двух правил.

*Дефазификацией* называется процесс перехода от нечеткого множества к конкретному значению (или диапазону) величины реального мира. Существует несколько способов дефазификации: метод "центра тяжести" (centroid), метод максимума (Maximizer), метод взвешенного среднего и др. На рис.4.18 Рисунок 4. представлены (слева направо) методы *центра тяжести* (для решения используется только значение абсциссы), методы *крайне левого, крайне правого* и *среднего* (между левым и правым максимумом) *максимума*.

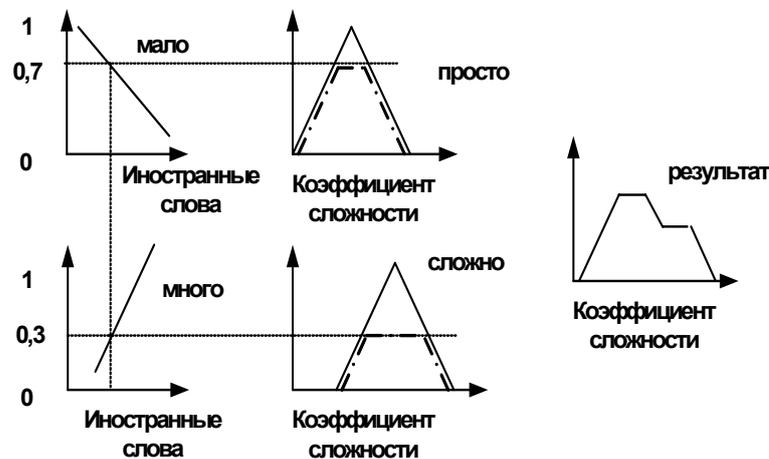


Рисунок 4.17. Агрегация нечетких множеств.

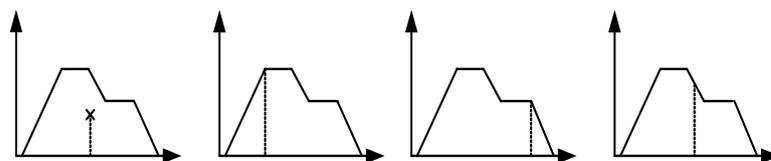


Рисунок 4.18. Методы дефазификации

#### Сравнение Моделей выводов Mamdani и TVFI

Рассмотренная выше модель нечеткого вывода является наиболее распространенной и носит название *модель Мамдани*. Ее отличительными особенностями являются:

- использование правил, левая и правая часть которых содержит нечеткие множества;
- процесс вывода включает операции фазификации, применения нечетких правил, агрегации и дефазификации.

*Truth Value Flow Inference (TVFI)* является одной из разновидностей модели Мамдани и позволяет существенно упростить операции выполнения нечетких правил, агрегации и деаггрегации за счет использования в правой части правил одноэлементных множеств (singleton). На рис. 4.19 представлена графическая визуализация много- и одноэлементного нечетких множеств.

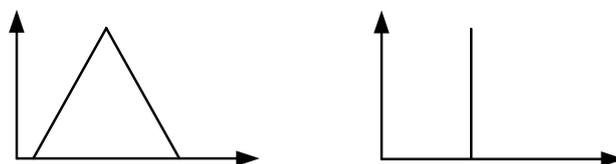


Рисунок 4.19. Одноэлементное множество

Для иллюстрации отличий и сравнения двух моделей рассмотрим пример их использования для системы из двух сложных правил:

1. Если иностранных слов *много* и формул *много*, то страница *сложная*;
2. Если иностранных слов *мало* и формул *мало*, то страница *простая*.

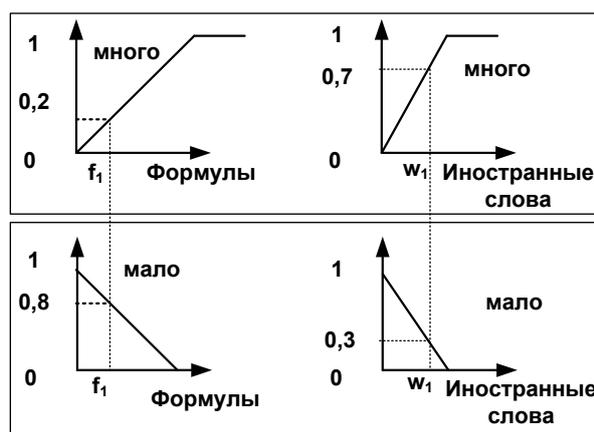


Рисунок 4.20. Левая часть системы правил.

На рис. 4.20 графически представлена левая часть правил - нечеткие множества, исходные данные о количестве формул ( $f_1$ ) и иностранных слов ( $w_1$ ) на странице, а также соответствующие им значения истинности, полученные в результате фазификации.

Для выбора уровня конъюнкции двух множеств воспользуемся оператором максимума<sup>20</sup> (с точки зрения оператора ввода лучше дать завышенную оценку сложности текста, чем заниженную).

<sup>20</sup> Одним из достоинств нечеткой логики является возможность использования абстрактных суждений и множеств. Так в рассматриваемом примере используется только одно множество «Много», хотя с формальной стороны конъюнкция выполняется для двух различных множеств «Много формул» и «Много иностранных слов», а в результате получается третье множество «Много сложных элементов на странице».

$$\mu_{\text{много}}(f_1) \& \mu_{\text{много}}(w_1) = \max(\mu_{\text{много}}(f_1), \mu_{\text{много}}(w_1))$$

$$\mu_{\text{мало}}(f_1) \& \mu_{\text{мало}}(w_1) = \max(\mu_{\text{мало}}(f_1), \mu_{\text{мало}}(w_1))$$

$$\mu_{\text{много}}(f_1) \& \mu_{\text{много}}(w_1) = \max(0.2, 0.7) = 0.7$$

$$\mu_{\text{мало}}(f_1) \& \mu_{\text{мало}}(w_1) = \max(0.8, 0.3) = 0.8$$

В верхней части рис. 4.21 показана правая часть правил (следствия). Пунктирной линией указывается результат применения правила "минимума", согласно которому полученные ранее уровни истинности посылок используются для усечения нечетких множеств заключения. В нижней части рисунка указаны операции агрегации и дефазификации.

Дефазификации в рамках модели Mamdani осуществляется путем нахождения центра тяжести по следующей формуле:

$$k_1 = \frac{\int_{\Omega} k * \mu(k) dk}{\int_{\Omega} \mu(k) dk}; \text{ где } \Omega - \text{область допустимых значений коэф. сложности } k$$

Дефазификации в рамках модели TVFI осуществляется путем нахождения взвешенного среднего, которое можно найти с помощью следующих соотношений:

$$a_1 = \frac{(a_1 + a_2) * m_1}{m_1 + m_2}; a_2 = \frac{(a_1 + a_2) * m_2}{m_1 + m_2}, \text{ где } a_1 = |k_2 - k_3|; a_2 = |k_4 - k_2|.$$

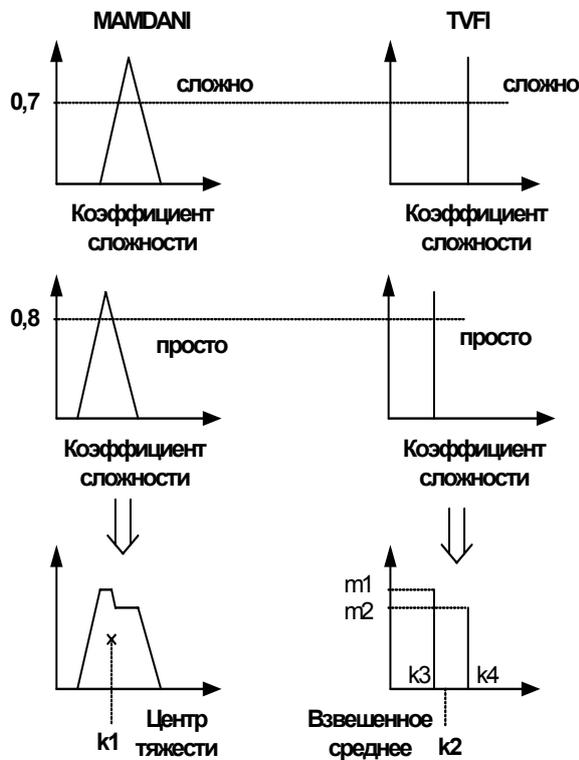


Рисунок 4.21. Сравнение методов Mamdani и TVFI.

### *Нечеткость и вероятность*

Очень часто путают или отождествляют понятия нечеткости и вероятности, однако с формальной точки зрения между ними существуют принципиальные различия. Рассмотрим их на конкретном примере.

Пусть имеется два ( $A$  и  $B$ ) внешних носителя данных (дискеты, оптические диски, флеш-память или любые другие). Необходимо определить возможность записи на них большого файла (например, postscript-файла для вывода сверстанного оригинал-макета на пленку или видеофайла для просмотра фильма) и выбрать наиболее подходящий экземпляр.

Для носителя  $B$  известна вероятность того, что он не является поврежденным, а для носителя  $A$  известно значение функции принадлежности к множеству неповрежденных носителей ( $Good$ ).

$$\mu_{Good}(A) = 0.9 \qquad P(B \in Good) = 0.9$$

Если выбрать носитель  $B$ , то вероятность потери данных составит 10%, т.е. в одном из десяти случаев записать файл не удастся.

Что касается носителя  $A$ , то из заданных условий можно сделать вывод, что он на 90% является неповрежденным, и на 10% сбойным. Если записываемая информация занимает меньше 90% объема носителя, то при размещении файла на неповрежденных участках, они успешно сохраняются.

Допустим, что удалось с помощью программных утилит проверить оба носителя на ошибки и выяснить, что носитель  $B$  является поврежденным. Тогда его вероятностная оценка изменится, а нечеткая оценка носителя  $A$  останется прежней.

$$\mu_{Good}(A) = 0.9 \qquad P(B \in Good) = 0$$

Подведя итог, можно отметить, что вероятность и нечеткость характеризуют различные понятия. Нечеткость (степень принадлежности) показывает степень схожести заданного объекта с идеальным, а вероятность дает информацию об ожидаемой величине на основании большого числа экспериментов.

### *Вопросы для самопроверки*

1. В чем состоит отличие нечеткого множества от четкого?
2. Какие значения может принимать функция принадлежности нечеткого множества?
3. Что такое основа нечеткого множества?
4. Приведите пример графической и аналитической записи нечеткого множества.
5. Какие основные и специфические операции используются в теории нечетких множеств?

6. Сравните методы выполнения основных операций над нечеткими множествами.
7. Назовите основные этапы нечеткого вывода.
8. Как и для чего осуществляется фазификация данных?
9. Приведите примеры нечетких правил.
10. Проиллюстрируйте различные методы выполнения нечетких правил.
11. В каких случаях используется агрегация нечетких множеств?
12. Какие методы дефазификации Вы знаете?
13. Какие преимущества и недостатки имеет модель вывода TVFI?
14. Сформулируйте отличия между понятиями вероятности и нечеткости.

## 2.4. ПРОДУКЦИОННЫЕ МОДЕЛИ

### *Структура и состав продукционных моделей*

Под продукционными системами понимается метод формализации знаний, при котором знания представляются в виде организованного множества правил-продукций, преобразующих некоторую информационную структуру, моделирующую элементы реального мира. Правило-продукция имеет вид:

$\langle \text{условие применения} \rangle \rightarrow \langle \text{действие} \rangle$ ,

где  $\langle \text{условие применения} \rangle$  правила специфицируют некоторые требования к текущему состоянию информационной структуры, а  $\langle \text{действие} \rangle$  содержит описание тех операций, которые нужно произвести, если структура удовлетворяет этим требованиям.

Такое определение продукционных систем позволяет отнести к их классу практически все рассматриваемые формальные системы, так как каждая из них в той или иной мере использует продукционный механизм. Так формальные языки описываются грамматиками, которые как компонент включают множество правил-продукций построения правильных цепочек в специфицированном алфавите, а все формальные системы вывода и доказательства содержат продукции, состоящие из аксиом и правил вывода. В продукционных системах информационная структура, подлежащая преобразованию, представляет собой некоторое декларативное знание, а правила продукции — процедурное знание о предметной области.

Как правило, продукционные системы решают следующие задачи:

1. Определение возможной или необходимой ситуации (состояния), удовлетворяющей некоторому критерию, которая может быть получена из заданной начальной ситуации.
2. Определение начальной ситуации (состояния), удовлетворяющей некоторому критерию, из которой может быть получена текущая ситуация.
3. Отыскание алгоритма преобразования начальной ситуации в конечную.

Продукции удачно моделируют человеческий способ рассуждений при решении проблем. Поэтому продукции широко используются во многих ЭС: MYCIN, EMYCIN, Image Expert, G2 и др.

Иерархическое разбиение множества продукций позволяет более эффективно организовать их выполнение, существенно сократив затраты на перебор множества продукций при проверке условия их срабатывания, что определяет дополнительный интерес к продукционным системам.

Сами продукции могут быть элементами смешанных систем представления знаний, например, выступать в качестве значений некоторых слотов фреймов или приписываться вершинам семантической сети.

Практическое понимание термина "продукционная система" основано на толковании его как некоторой системы программирования. С появлением специализированных языков программирования таких как: РЕФАЛ, PROLOG и других этот термин характеризует стиль программирования. Среди достоинств продукционных систем выделяют следующие:

- универсальность метода программирования, что обеспечивает возможность создания многообразия различных проблемно-ориентированных продукционных систем, различающихся средствами представления правил вывода и обрабатываемых структур;
- модульность организации знаний в продукционных системах, при которой каждая продукция представляет собой законченный фрагмент знаний о предметной области, все множество продукций может быть декомпозировано на подмножества, относящиеся к одинаковым компонентам знаний;
- в значительной степени эта модульность обеспечивается: независимостью каждой продукции от содержания других; ограниченностью фрагмента знаний, представляемого каждой продукцией; его функциональной локальностью в общей сумме информации о предметной области; отсутствием взаимодействия продукций друг с другом (эффект применения каждой из них определяется изменением, которое она производит в информационной структуре, что обеспечивает легкость и естественность спецификации продукционных знаний, простоту их модификации и расширения);
- частью продукционных систем является некоторым образом описанная информационная структура, являющаяся декларативным знанием о предметной области, что позволяет рассматривать продукционные системы как синтетические, в которых достигнуто большее единство в представлении процедурной и декларативной составляющих знаний;
- асинхронность, недетерминированность и возможная параллельность продукционных систем делают их весьма перспективными для реализации на параллельных ЭВМ, ориентированных на продукционное программирование.

Основными недостатками продукционных систем являются:

- во-первых, низкая эффективность в сравнении с традиционными методами программирования, объясняющаяся главным образом конвейерным способом обработки информации;

- во-вторых, сложность или даже невозможность контроля правильности программ продукционных систем методом воображаемой или реальной прокрутки соответствующего вычислительного процесса, что характерно для недетерминированных систем.

### *Вероятностные продукции*

Для представления знаний в виде вероятностных продукций используются понятия гипотезы, свидетельства и факта.

*Гипотезой* является утверждение, которое необходимо проверить или оценить. Под *свидетельством* понимается истинное или ложное утверждение, дающее оценку гипотезы. *Фактом* является априорно истинное утверждение (аксиома) или доказанное утверждение, которое также может выступать в качестве свидетельства.

Одним из способов оценки гипотезы  $H_i$  может выступать значение вероятности ее истинности  $P(H_i)$ . Значение вероятности может изменяться в диапазоне  $[0,1]$ . При значении  $P(H_i)=1$  гипотеза считается истинной, а при  $P(H_i)=0$  – ложной.

Обычно при решении задач имеется несколько исходных предположений (гипотез), которые оцениваются с помощью априорной вероятности  $P_0(H_i)$ .

Свидетельство  $C_j$  позволяет установить новые или изменить существующие значения нескольких гипотез, а также сделать возможным использование других свидетельств:

$$C_j \Rightarrow P(H_i) \text{ или } C_j \Rightarrow \delta P(H_i),$$

где  $P(H_i)$  – новое (абсолютное) значение вероятности гипотезы  $H_i$ ;

$\delta P(H_i)$  - относительное приращение (уменьшение) вероятности гипотезы  $H_i$ .

$$C_j \Rightarrow C_{j+1}$$

В общем случае истинность свидетельства также может определяться вероятностной оценкой  $P(C_j)$ .

Рассмотрим Байесовскую стратегию вывода, основанную на одноименной теореме. Её основная идея заключается в оценке апостериорной вероятности гипотезы при наличии свидетельств (фактов), подтверждающих или опровергающих гипотезу.

Пусть  $P(H)$  — априорная вероятность гипотезы  $H$  при отсутствии каких-либо свидетельств,

$P(H:C)$  — апостериорная вероятность гипотезы  $H$  при наличии свидетельства  $C$ .

$P(H\&C)$  — вероятность одновременной истинности гипотезы  $H$  и свидетельства  $C$ .

Если гипотеза и свидетельство независимы, то совместная вероятность вычисляется как произведение вероятностей:

$$P(H \& C) = P(H) * P(C)$$

Согласно теореме Байеса:

$$P(H : C) = \frac{P(H \& C)}{P(C)}$$

$$P(C : H) = \frac{P(C \& H)}{P(H)}$$

Из этих двух выражений можно вывести новую вероятность гипотезы  $P(H)^+$  при существовании свидетельства:

$$P(H)^+ = P(H : C) = \frac{P(C : H) * P(H)}{P(C)}$$

Вероятность свидетельства  $C$  можно также представить через условные вероятности: при наличии гипотезы  $H$ , и при ее отсутствии:

$$P(H)^+ = \frac{P(C : H) * P(H)}{P(C : H) * P(H) + P(C : \bar{H}) * P(\bar{H})}$$

Вероятность  $P(C:H)$ , как правило, вычисляется на основании статистического эксперимента. Каждой паре  $C_j, H_i$  ставится в соответствие две характеристики:

$R(C_j:H_i)$  — статистическая частота появления  $j$ -го свидетельства при свершении гипотезы  $i$ .

$R(C_j:\sim H_i)$  — статистическая частота появления  $j$ -го свидетельства при отсутствие гипотезы  $i$ .

В том случае, когда возникает возможность выбора нескольких свидетельств, появляется задача выбора наилучшего варианта, который максимально изменяет вероятности существующих гипотез.

Наиболее часто используется подход *метод цен свидетельств (ЦС)*, согласно которому наилучшим считается свидетельство, имеющее наибольшее значение показателя ЦС, равного сумме влияний свидетельства на все множество гипотез. Влияние на гипотезу вычисляется как абсолютная разность между вероятностями гипотезы при наличии и отсутствии свидетельства:

$$ЦС(C_j) = | P^+(H_i:C_j) - P^+(H_i:\sim C_j) |,$$

где  $P^+(H_i:C_j)$ ,  $P^+(H_i:\sim C_j)$  — значения вероятностей, которые будут достигнуты в случае применения правила.

Для вывода выбирается свидетельство с максимальным показателем ЦС.

$$j = \text{index max } (ЦС(C_j))$$

Если используется вычисление нескольких ( $n$ ) гипотез одновременно, то выбор оптимального свидетельства определяется по следующей формуле:

$$ЦС(C_j) = \frac{\sum_{i=1}^n | P^+(H_i : C_j) - P^+(H_i : \sim C_j) |}{n}$$

Выполнение всех правил продукции на шаге  $k$ , содержащих в качестве антецедента свидетельство  $C_j$ , осуществляется по следующим формулам:

1. Вычисляется вероятность гипотезы  $H_i$  при наличии свидетельства  $C_j$ :

$$P_{k+1}(H_i : C_j) = \frac{P_k(H_i) * R(C_j : H_i)}{P_k(H_i) * R(C_j : H_i) + P_k(\sim H_i) * R(C_j : \sim H_i)}$$

2. Вычисляется вероятность гипотезы  $H_i$  при отсутствии свидетельства  $C_j$ :

$$P_{k+1}(H_i : \sim C_j) = \frac{P_k(H_i) * (1 - R(C_j : H_i))}{P_k(H_i) * (1 - R(C_j : H_i)) + P_k(\sim H_i) * (1 - R(C_j : \sim H_i))}$$

3. Учитывается вероятность наличия свидетельства  $C_j$ :

$$P_{k+1}(H_i) = P_{k+1}(H_i : \sim C_j) + P(C_j) * (P_{k+1}(H_i : C_j) - P_{k+1}(H_i : \sim C_j))$$

Установление факта окончания логического вывода происходит в случае, если выполняется одно из правил:

1. Осуществлен перебор всех свидетельств.

2. Имеется такая гипотеза, наименьшая достижимая вероятность  $PP_{min}$  которой не меньше наибольшей достижимой вероятности  $PP_{max}$  любой другой гипотезы, а также заданной пороговой величины.

$$\forall (m \ll i) (PP_{min}(H_i) > \text{ПОРОГ}) \& (PP_{min}(H_i) \geq PP_{max}(H_m))$$

Наименьшая и наибольшая достижимая вероятности вычисляются по следующим формулам:

$$PP_{min}(H_i) = \min(P_{end}(H_i)),$$

$$\forall (m \ll i) PP_{max}(H_m) = \max(P_{end}(H_m)),$$

где  $end$  — последний шаг итерации,

$\min(P_{end}(H_i))$  и  $\max(P_{end}(H_m))$  — минимальная и максимальная вероятности соответственно  $H_i$  и  $H_m$  гипотезы после выполнения всех продукций (правил).

Более простой подход для выбора свидетельства предложил Шортлифф (Shortliffe), который основан на использовании некоторой вероятностной величины  $q$  в качестве коэффициента уверенности правила. После применения правила новое значение вероятности  $p$  объекта доказательства (гипотезы) вычисляется по формуле  $p + (1 - p) * q$ . Эта нестрогая, в смысле научного обоснования, формула, позволяет упростить процесс вероятностного вывода, заменяя необходимость предварительного сбора статистических данных.

Ниже описывается еще один метод, базирующийся на формуле Шортлиффа. Каждому продукционному правилу соответствует некоторая эмпирическая величина  $Q(H_i : C_j)$ , которая может быть интерпретирована как вероятность подтверждения  $H_i$  гипотезы при наличии  $C_j$  свидетельства.

Выбор свидетельства осуществляется аналогично процедуре выбора по методу ЦС. Исключение составляет вычисление значений новых вероятностей гипотез  $P_{k+1}(H_i:C_j)$  и  $P_{k+1}(H_i:\sim C_j)$ :

$$P_{k+1}(H_i:C_j) = P_k(H_i) + (1-P_k(H_i)) * Q(H_i:C_j)$$

$$P_{k+1}(H_i:\sim C_j) = P_k(H_i)$$

Выполнение всех правил продукции, содержащих в качестве антецедента свидетельство  $C_j$ , и установление факта окончания логического вывода осуществляется аналогично с предыдущим методом.

Оба метода аналогичны по своим возможностям. Отличие состоит в том, что в первом случае для учета вероятности правил необходимы достоверные статистические данные, получить которые в общем случае довольно затруднительно. Упрощенный характер второго метода предполагает использование эмпирических зависимостей. Формально, соответствующие продукционные отношения можно определить следующим образом:

$$x1, (x1 \rightarrow x2, p1, p2) \Rightarrow x2 \text{ и } x1, (x1 \rightarrow x2, q) \Rightarrow x2,$$

где  $x1$  и  $x2$  — некоторые сущности (объекты) реального мира. В этом случае база знаний представляет собой направленный граф, вершинами которого являются высказывания по поводу сущностей, а дуги задают правила преобразования. При этом каждой дуге ставится в соответствие коэффициент уверенности ( $p1, p2$  или  $q$ ).

Корневыми вершинами БЗ являются гипотезы, т.е. сущности реального мира, представляющие собой цели, определение значений вероятностей которых является смыслом функционирования системы.

Множество принятых в предметной области понятий, через которые строится логический вывод, определяются как свидетельства. Объекты этих классов содержат в себе фундаментальные знания, а отношения между ними являются статистически обоснованными или эмпирическими закономерностями предметной области. Терминальные вершины представляют собой конкретные факты реального мира и непосредственно связаны с процедурами получения информации.

Логический вывод осуществляется под управлением данных. Критерий цен свидетельств (ЦС) обеспечивает выбор объекта БЗ, использование которого в качестве антецедента (посылки) продукционного правила в наибольшей степени изменит состояние целей. Кроме того, представление пространства поиска в виде направленного графа делает возможным использовать критерий стоимости данных (СД) для организации управления выводом.

Для обеспечения единого управления логическим выводом на основе знаний, представляющих собой продукционные и трансформационные правила преобразования

предлагается использовать комбинированную стратегию, выраженную следующей последовательностью действий:

1) Применяется метатеорема  $L, L \rightarrow X \Rightarrow X$ . В случае, если формула  $L$  определена и не является ложной, то для дальнейших вычислений выбирается переменная (объект)  $X$ .

2) Из всего множества объектов, являющихся антецедентами правил, которые могут быть применены на текущем шаге доказательства, к рассмотрению принимается тот показатель  $СД$ , который является наименьшим.

3) При получении нескольких объектов, имеющих одинаковое значение показателя  $СД$ , окончательный выбор осуществляется по критерию ЦС.

Действия 2 и 3 продолжают до тех пор, пока полученный объект не будет представлять собой "элементарный" факт, то есть принадлежать уровню данных.

### *Смешанные модели*

Можно утверждать, что для различных предметных областей подходят разные модели представления знаний. Возникает закономерный вопрос о разработки интегрированной модели, единой базы знаний и общей машине вывода.

Данный параграф посвящен интеграции продукционных моделей и предикатной логики первого порядка (логики высказывания). Описание модели интеграции имеет следующий вид:

#### *1. Алфавит:*

- литеры: буквы и цифры;
- логические операторы: '&' (конъюнкция), '|' (дизъюнкция), '~' (логическое дополнение), '→' (импликация), '⇒' (оператор "следует" метауровня формальной системы);
- скобки: '(' и ')'

#### *2. Определение базовых классов и объектов:*

В формальной системе определены следующие три класса:

- гипотеза (h),
- свидетельство (с)
- данные (d).

Сущности реального мира, представляющие собой цели, достижение которых является смыслом функционирования системы, определяются через класс гипотеза h.

Множество принятых в предметной области понятий, через которые строится логический вывод объявляются как объекты класса свидетельство с.

Объекты классов с и h содержат в себе фундаментальные знания, а отношения между ними являются законами предметной области.

Структуры данных этих классов идентичны:

Объект  $X = \{ \text{Строковая\_константа}; L \rightarrow X; R \}$

где Строковая\_константа — некоторое высказывание по поводу сущностей реального мира;

$X$  — имя (или идентификатор) объекта;

$L$  — правильно построенная формула;

$L \rightarrow X$  — есть теорема, в соответствие с которой определяется значение вероятности объекта  $X$ .

$R$  — множество продукций, содержащих в качестве консеквента объект  $X$ .

Предложения, содержащие в себе некоторую фактическую (ситуационную) информацию о реальном мире, именуется фактами и представляются в виде объектов класса данных  $d$ . Объекты этого класса предназначены для организации взаимодействия с внешней средой и связаны с некоторой процедурой получения информации:

Объект  $X = \{ \text{Строковая\_константа}; \text{Процедура} \}$

Поле Процедура задает имя процедуры получения информации. Значение вероятности объекта определяется в результате обращения к этой процедуре.

### 3. Строковые константы и переменные

- строковые константы определяются как последовательность литер;
- имена (идентификаторы) объектов являются именами переменных;
- логические переменные указывают на вероятность высказывания по поводу некоторой сущности или факта реального мира и определены в диапазоне  $[0,1]$ ;
- логические переменные разделяются на логически-выводимые и логически-задаваемые;
- логически-выводимые переменные (с,h) определяются путем логического вывода;
- логически-задаваемые переменные (d) определяются путем обращения к процедурам получения информации;

### 4. Построение формул:

- любая логическая переменная есть формула;
- если  $L$  есть формула, то  $(L)$  тоже есть формула;
- если  $L$  есть формула, то  $\sim L$  тоже есть формула;
- если  $L1$  и  $L2$  являются формулами, то выражения  $L1 \& L2$ ,  $L1 | L2$  тоже есть формулы;
- если  $X$  есть логически-выводимая переменная и  $L$  есть формула, то выражение  $L \rightarrow X$  тоже есть формула.

### 5. Определено 2 типа правил продукции:

$X1 \rightarrow X2, p1, p2;$

$X1 \rightarrow X2, q1.$

где  $X_1$  — любая логическая переменная, является антецедентом правила;

$X_2$  — логически-выводимая переменная, консеквент продукции.

$p_1, p_2$  — константы, которые являются "коэффициентами уверенности правила" и предназначены для манипулирования неточными знаниями с использованием теоремы Байеса.

$q_1$  — "Коэффициент уверенности", который необходим для обработки продукций по методу Шортлифа.

#### 6. Правила вывода

Определены три правила вывода, являющиеся некоторыми вариантами правила Modus ponens соответственно для трансформационных, продукционных по методу Байеса и методу Шортлифа правил преобразования:

$L, L \rightarrow X \Rightarrow X$  — интерпретируется как: "Если  $L$  и  $(L \rightarrow X)$  есть теоремы, то переменная  $X$  выводима из формулы  $L$ ".

$$X_1, (X_1 \rightarrow X_2, p_1, p_2) \Rightarrow X_2 ;$$

$X_1, (X_1 \rightarrow X_2, q) \Rightarrow X_2$  — интерпретируются как: "Если  $X_1$  и  $X_2$  — есть значения логических переменных, то переменная  $X_2$  выводима из переменной  $X_1$  с учетом соответствующих коэффициентов уверенности".

#### 7. Метатеоремы

Для управления логическим выводом в модели интеграции определено множество метатеорем, обеспечивающее последовательность логического вывода. Метатеоремы записываются в виде правил вывода  $(L, L \rightarrow X \Rightarrow X)$  и интерпретируется следующим образом: "Если значение вероятности формулы  $L$  не равно нулю и требуется определить значение вероятности переменной  $X$  ( $L \rightarrow X$ ), то приступить к обработке переменной  $X$ ".

#### 8. Поиск решения

Логический вывод определяется как конечная последовательность правил преобразования: формул  $L$  и продукций  $R$ , задающих множество означенных переменных  $X_1, \dots, X_i, \dots, X_k$ , такое что каждая переменная  $X_i$  выводима посредством правил вывода из предыдущих переменных, а  $X_k$  принадлежит множеству решений задачи ( $X_k$  есть  $h$ ).

Разработать стратегию поиска решений в таком пространстве поиска означает:

— Определить для каждого шага логического вывода объект нижнего уровня (класс данные), использование которого приведет к наибольшему "прояснению" состояния объектов верхнего уровня (класс гипотеза);

— Установить факт получения решения.

Использование нечетких знаний требует специального критерия для организации поиска решения в БЗ, объекты которой задаются посредством трансформационных правил. Такой критерий должен отвечать требованиям семантической "совместимости" с

рассмотренным критерием цен свидетельств (ЦС). Это необходимо для организации непротиворечивого управления поиском решения в пространстве объектов предметной области, отношения между которыми задаются одновременно формулами и продукциями.

В соответствии с критерием ЦС на каждом шаге логического вывода к рассмотрению принимается тот объект нижнего уровня, применение которого в качестве антецедента (посылки) правила приведет к наибольшему суммарному изменению вероятностей объектов верхнего уровня.

Некоторым аналогом критерия ЦС может являться критерий максимума неопределенности (МН). В соответствии с ним для доказательства выбирается наиболее неопределенная цель, характеризуемая максимальным значением разности между максимальной и минимальной достижимыми вероятностями. Формально это можно определить следующим образом:

Имеется множество объектов  $X_j, j=1, m$ . На этом множестве определено множество объектов типа гипотеза, являющихся целями,  $H_i, i=1, n$ . Определение гипотез через объекты нижнего уровня задается либо посредством продукционных правил  $X_j \rightarrow H_i$ , либо трансформационными правилами  $L \rightarrow H_i$ . Любая формула  $L$  может быть представлена в виде:

$L_1 \circ L_2 \circ \dots \circ L_k \circ \dots$ , где

$\circ$  — один из логических операторов (либо '&', либо '|'),

$L_k$  — правильно построенные формулы (подформулы).

Выбор гипотезы  $H_i$  для текущего шага логического вывода производится по следующим правилам:

$i = \text{index max (МН}(H_i)), i=1, n$ .

$\text{МН}(H_i) = P_{\text{max}}(H_i) - P_{\text{min}}(H_i)$ .

Для продукционных правил:

$P_{\text{max}}(H_i) = P_{\text{MAXe}}(H_i), P_{\text{min}}(H_i) = P_{\text{MINe}}(H_i)$ ,

где  $e$  — последний шаг итерации,

$P_{\text{MINe}}(H_i)$  и  $P_{\text{MAXe}}(H_i)$  — минимальная и максимальная вероятности соответственно  $i$ -ой гипотезы после выполнения всех продукций.

Для трансформационных правил:

$P_{\text{max}}(H_i) = P_{\text{max}}(L) = \min (P_{\text{max}}(L_k))$  (для конъюнкции),

$P_{\text{max}}(H_i) = P_{\text{max}}(L) = \max (P_{\text{max}}(L_k))$  (для дизъюнкции),

$P_{\text{max}}(H_i) = P_{\text{max}}(L) = 1 - P_{\text{min}}(L_k)$  (для отрицания),

$P_{\text{min}}(H_i) = P_{\text{min}}(L) = \min (P_{\text{min}}(L_k))$  (для конъюнкции),

$P_{\text{min}}(H_i) = P_{\text{min}}(L) = \max (P_{\text{min}}(L_k))$  (для дизъюнкции),

$P_{\text{min}}(H_i) = P_{\text{min}}(L) = 1 - P_{\text{max}}(L_k)$  (для отрицания).

Выбранная таким образом цель задается либо множеством продукций  $R$ , либо формулой  $L$ . Следующим шагом является анализ объектов, являющихся соответственно антецедентами продукций или составляющими формулы. Для дальнейшей обработки выбирается тот, потенциальное воздействие которого на объект верхнего уровня максимально. Выбранный таким образом объект, в свою очередь, раскладывается на составляющие, и этот процесс продолжается до тех пор, пока не будет определен объект самого нижнего уровня, то есть принадлежащий классу данные.

Анализ объектов осуществляется следующим образом:

1) На множестве продукций используется модифицированный критерий цен свидетельств (ЦС), когда указанный показатель, характеризующий ценность объекта для логического вывода определяется не на всем множестве использующих его продукций, а на одной, связывающей его с текущей целью.

$$\text{ЦС}(X_j) = P(H_i: X_j) - P(H_i: \sim X_j), \text{ где:}$$

$$j=1, m \text{ и для всех } X_j \text{ выполняется } X_j \rightarrow H_i.$$

$$j = \text{index max} (\text{ЦС} (X_j)).$$

2) Анализ формулы  $L$  осуществляется путем разбиения ее на подформулы  $L_1, \dots, L_n$ , связанные одинаковыми логическими операторами, что можно представить в виде И/ИЛИ графа. Самая "ценная" подформула  $L_i$  при использовании операций дизъюнкции и конъюнкции определяется соответственно по формулам:

$$k = \text{index max}(P_{\text{max}}(L_k)) \text{ и}$$

$$k = \text{index min}(P_{\text{min}}(L_k)),$$

где:  $P_{\text{min}}(L_k)$ ,  $P_{\text{max}}(L_k)$  — минимально и максимально возможные значения вероятности подформулы  $L_k$ . В свою очередь, полученная подформула раскладывается далее и этот процесс продолжается рекурсивно, пока  $L_k$  не будет представлять собой простую переменную, то есть:

$$j = \text{index } X_j, \text{ такое что: } X_j = L_k.$$

Предложенный способ управления поиском решения использует критерий максимума неопределенности (МН). Возможны также варианты применения некоторого ранжированного множества критериев. В этом случае анализ и оценка пути, по которому может осуществляться логический вывод, будет производиться на основе нескольких критериев. Окончательный выбор направления поиска при этом будет производиться в соответствии с приоритетами показателей. Предлагается использовать два критерия оценки:

1. Критерий стоимости данных;
2. Критерий максимума неопределенности.

Причем их приоритет можно изменять в зависимости от специфики предметной области. Так, если пространство поиска представляет собой сильносвязанный граф, то целесообразно наивысший приоритет определить для критерия максимума неопределенности.

Использование критерия СД формально можно определить следующим образом:

Выбор гипотезы  $H_i$ :  $i = \text{index } \min(\text{СД}(H_i))$ ,  $i=1, n$ . Для продукционных правил справедливо:

$$\text{СД}(H_i) = \text{СД}(X_j),$$

где:  $j=1, m$  и для всех  $X_j$  выполняется  $X_j \rightarrow H_i$ .

Для трансформационных правил:

$$\text{СД}(H_i) = \text{СД}(X_j),$$

где:  $j=1, m$  и для всех  $X_j$  выполняется  $L(X_j) \rightarrow H_i$ .

Выбор объекта  $X_j$  для текущего шага логического вывода для продукционных правил:

$$j = \text{index } \min(\text{СД}(X_j)), \text{ где}$$

$j=1, m$  и для всех  $X_j$  выполняется  $X_j \rightarrow H_i$ .

Для трансформационных правил справедливо:

$$k = \text{index } \min(\text{СД}(L_k)), \text{ где}$$

$\text{СД}(L_k)$  — значение показателя стоимости данных корневой вершины подформулы  $L_k$ .

$j = \text{index } X_j$ , такое что:  $X_j = L_k$ .

Кроме того, для более эффективного управления имеется возможность использовать метаправила.

Установление факта окончания логического вывода происходит в случае, если выполняется одно из правил:

1. Все объекты нижнего уровня, то есть класса данные, уже получили свои значения и были использованы. Эта ситуация означает, что больше неоткуда брать информацию о реальном мире.

2. Имеется такая гипотеза  $H_i$ , минимально возможная вероятность  $P_{\min}(H_i)$  которой не меньше наибольшей достижимой вероятности  $P_{\max}(H_m)$  любой другой гипотезы, а также заданной пороговой величины. То есть условие:  $P_{\min}(H_i) > \text{ПОРОГ}$  и (для всех  $m$ , не равных  $i$ )  $P_{\min}(H_i) \geq P_{\max}(H_m)$  является условием окончания логического вывода. Проверка такого условия одинаково легко осуществляется для гипотез, заданных как множеством продукций, так и формулой (аналогично вычислению критерия максимальной неопределенности).

Таким образом, наличие единого (для продукционных и трансформационных правил) подхода при решении проблем, связанных с выбором направления логического

вывода и установлением факта получения решения, позволяет говорить о единой стратегии поиска решения для предложенной модели интеграции знаний.

*Вопросы для самопроверки*

1. Запишите формулу записи правила-продукции.
2. Какие задачи решают продукционные системы?
3. Назовите достоинства продукционных систем.
4. Назовите основные недостатки продукционных систем.
5. Что такое вероятностные продукции?
6. Запишите гипотезы, свидетельства и факты вероятностных продукций.
7. Запишите формулу теоремы Байеса.
8. Как вычисляется вероятность гипотезы  $H_i$  при наличии свидетельства  $C_j$ ?
9. Как вычисляется вероятность гипотезы  $H_i$  при отсутствии свидетельства  $C_j$ ?
10. Каковы условия установления факта окончания логического вывода?
11. Изложите метод для выбора свидетельства Шортлифа
12. Что такое смешанные продукционные модели?
13. Опишите интеграцию продукционных моделей и предикатной логики первого порядка (логики высказывания).

## 2.5. СЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ

### *Классификация сетевых моделей*

Дальнейшее развитие формализации знаний связано с построением моделей, в которых для явно выделенной структуры отношений описана их семантика. Таковыми являются сетевые модели. В основе их лежит определение сети, вершинами которой являются понятия, соответствующие объектам и процессам в предметной области, а связующим дугам — отношения различного типа, существующие между объектами и процессами. Сетевые модели формально можно задать в виде:

$H = \langle I, C, \Gamma \rangle$ , где

$I$  — множество информационных единиц,

$C$  — множество типов связей между ними,

$\Gamma$  — отображение, которое задает между информационными единицами, входящими в  $I$ , связи из заданного набора типов связей.

В зависимости от того, какие ограничения наложены на описание вершин и связей выделяют: *сети простого типа*, их вершины не имеют внутренней структуры; *иерархические сети*, их вершины рекурсивно сами обладают сетевой структурой; *однородные сети*, отношения между вершинами которых могут быть одинаковыми; *неоднородные сети*, отношения между вершинами которых различаются по смыслу. В зависимости от отношений, соответствующих связям между объектами и процессами в предметной области, выделяют следующие типы сетей (рис. 4.22): функциональные, семантические, фреймовые, сценарии.

Достоинства сетевых ЯПЗ заключаются в высокой степени структурирования модели и наличие мощного механизма задания отношений подчинения и вложенности понятий, что обеспечивает эффективное описание производных понятий (в том числе и макроситуаций) на основе базовых понятий и отношений. Основной недостаток — большая сложность процедур логического вывода по сравнению с логическими языками.

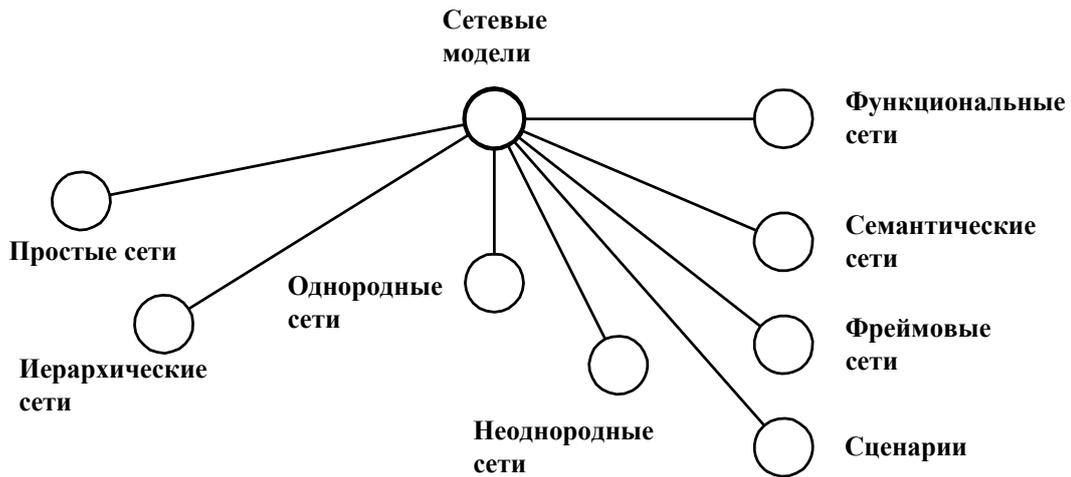


Рисунок 4.22. Классификация сетевых моделей.

### *Функциональные сети*

В *функциональных сетях* вершины (узлы) соответствуют функциям, которые необходимо выполнить для аргументов, соответствующих дугам. Число входящих дуг определяет число аргументов функций, а выходящих — число направлений выдачи значений функции. Таким образом, сложная вычислительная или информационная процедура декомпозируется на составляющие части, связи между которыми показывают дуги сети. Наиболее полно такое представление сложных процедур нашло в изображении их в виде схем алгоритмов или программ.

В функциональных сетевых моделях вершины сети задают некоторое математическое или иное функциональное соотношение. Разрешением этого отношения называется выбор той или иной ориентации ребер сети, инцидентных данной вершине. Такая ориентация соответствует тому, что соотношение начинает рассматриваться как функция, ибо ориентация именуется аргументы и значения функции, определяемой видом соотношения, приписанного данной вершине функциональной модели.

Поскольку такие модели играют сейчас важную роль при работе различных планировщиков в тех или иных предметных областях, то проиллюстрируем сказанное на примере простой функциональной модели, относящихся к предметной области — планиметрия треугольника (рис. 4.23).

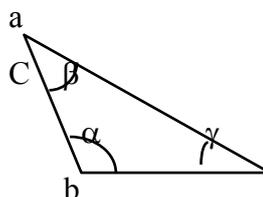
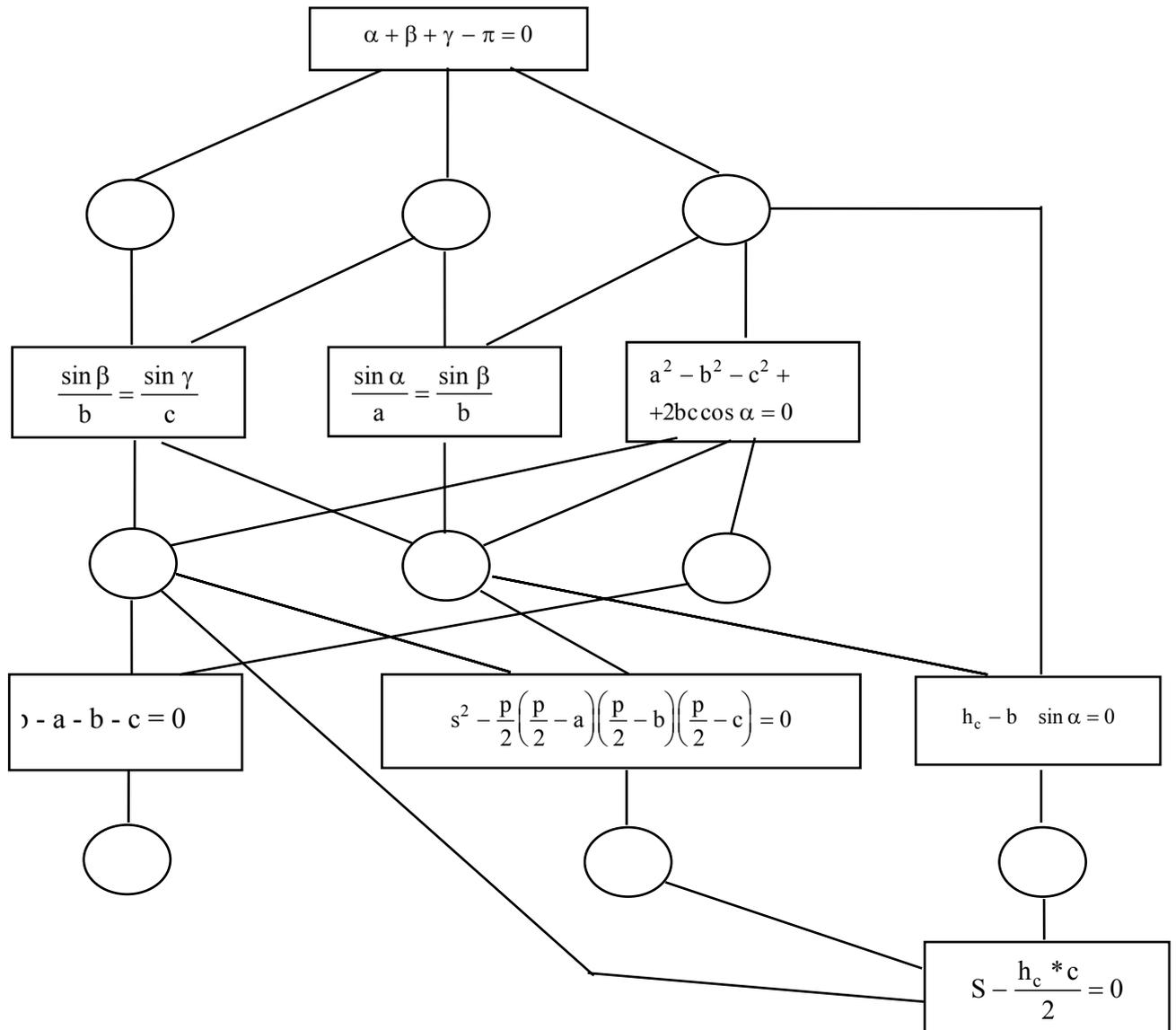


Рисунок 4.23.

На этом рис. 4.23 прямоугольниками обозначены некоторые математические соотношения, характерные для этой предметной области, в вершинах – кружках написаны имена тех параметров, которые входят в соотношения. Пусть, например, необходимо решить следующую задачу: "Найти площадь треугольника, если известны его углы  $\alpha$  и  $\beta$  и сторона  $C$ .

На рис. 4.24 исходные известные данные отмечены штриховкой в вершинах-кружках, а целевая вершина-кружок отмечена заполнением точками. Теперь необходимо найти такую ориентацию ребер в функциональной модели, которая позволит найти путь, ведущий от исходных вершин в целевую. Для этого нужно в вершинах-прямоугольниках разрешить математические соотношения относительно неизвестных, оставив в качестве аргументов лишь ребра, определяемые уже известными величинами. На рис. 4.25 стрелками ориентации показано одно из трех возможных в данном случае решений. После разрешения функциональная модель превращается в функциональную сеть.



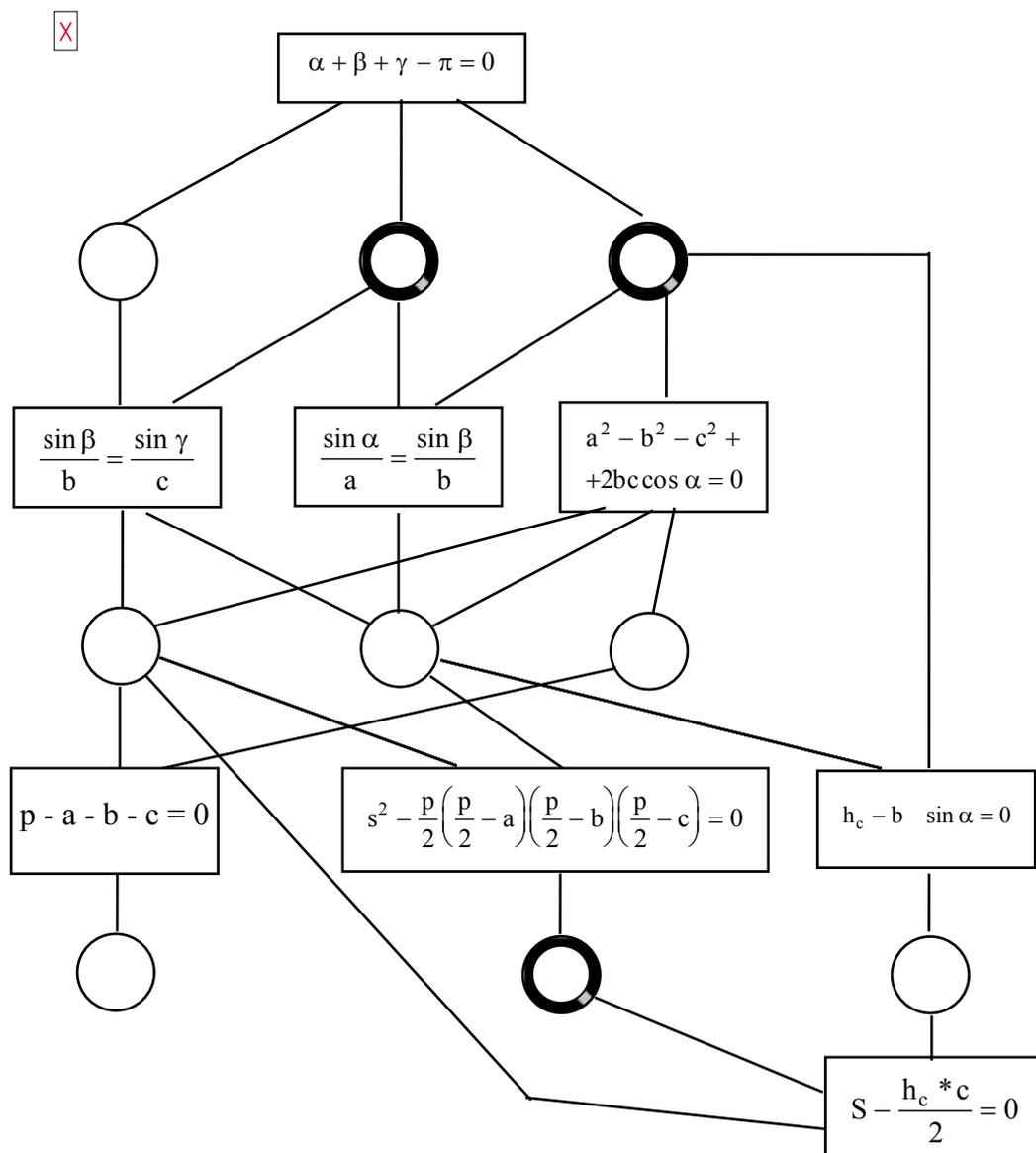


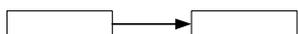
Рисунок 4.25.

### Семантические сети

Семантическая сеть – это граф, вершины которого соответствуют объектам или понятиям, а дуги, связывающие вершины, определяют отношения между ними. Используется также специальный тип вершины связи. Она не соответствует ни объектам, ни отношениям и используется для указания связи.

Основными отношениями в семантической сети являются отношения принадлежности к классу, свойства, специфические для данного понятия и примеры данного понятия.

Отношение принадлежности элемента к некоторому классу либо части к целому в литературе определяется соответственно как "есть часть", например, фразе "Плакат есть один из видов продукции" соответствует семантический фрагмент, изображенный на рис. 4.26а.



**Рисунок 4.20. Основные семантические отношения**

Свойства передаются через связки "есть" и "имеет", например, высказывание "плакат имеет красочность" интерпретирует фрагмент сети, показанный на рис. 4.26б, а фраза "заказ срочный" передается фрагментом на рис. 4.26в.

Если обозначить фрагменты, показанные на рис. 4.26 через  $\Phi_i$ , то в общем случае семантическая сеть образуется как соединение ( $\circ$ ) этих фрагментов, т.е. как  $\Phi_1 \circ \Phi_2 \circ \dots \circ \Phi_n$ . Важный момент в организации модели базы знаний на основе семантической сети заключается в представлении событий и действий. Концептуализация действий строится из следующих элементов:

**а)**

*Деятель* - понятие исполнителя АКТа.

*АКТ* - действие, производимое по отношению к объекту.

*Объект* - вещь, над которой производится действие.

*Реципиент* - получатель объекта в результате АКТа.

*Направление* - местоположение, к которому направлен АКТ.

*Состояние А* - состояние, в котором находится какой-либо объект.

Для описания семантики действий используются следующие основные группы обозначений и концептуальных схем [39]:

*PP* - класс физических объектов;

*O* - физические объекты;

*ACT* - действия;

*PA* - свойства объектов;

*LOC* - местоположение;

*T*-времена;

*AA* - атрибуты (характеристики) действий;

*PA* - атрибуты (характеристики) объектов;

**Плакат**

**есть  
часть**

**Про**

**б)**

**Плакат**

**имеет**

**Кра**

**в)**

**Заказ**

**есть**

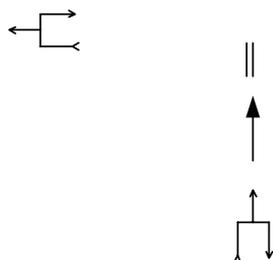
**Ср**

*R* - реципиенты;

*I* – инструменты, посредством которых выполняется действие;

*D* - направление действия;

На рис. 4.27 показан пример, который демонстрирует использование введенных понятий. Семантическая сеть формирует высказывание "Работник отсканировал изображение".



**У – некоторое неизвестное местоположение**

Рисунок 4.27. Пример семантической сети.

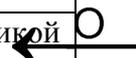
Концептуальные схемы:

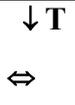
↔	- используется для обозначения концепта действия
PP ↔ АСТ	- некоторые объекты могут производить действия
PP ↔ РА	- объекты обладают свойствами
АСТ ← <sup>o</sup> PP	- АКТы имеют объекты
← [ ]	- АКТы имеют направление
← [ ]	- АКТы имеют реципиентов
АСТ ↑ АА	- АКТы могут изменять характеристики
PP ↔ PP	- один PP эквивалентен другому или является его частной характеристикой
LOC ↑ ↔	- концепт действия характеризуется местоположением
↔ ↑ R ↔	- один концепт действия является причиной другого

Работник



сканировать



	- концепт действия характеризуется временем
	- концепт действия характеризуется изменением состояния
$ACT \leftarrow^1$	действие АСТ характеризуется инструментом
$ACT \leftarrow^0$	действие характеризуется объектом

Кроме рассмотренных понятий, на семантической сети могут быть определены также сетевые продукции, которые позволяют: добавлять или удалять фрагменты сетей; добавлять или удалять связи и вершины; проверить, что некоторый фрагмент содержится в сети; строить примеры отношений; находить фрагменты, общие для двух и более сетей.

Особенностью и в то же время недостатком семантической сети является ее представление в виде такой целостной структуры, которая не позволяет разделить базу знаний и механизм вывода. Это означает, что процесс вывода, как правило, связан с изменением структуры сети путем применения сетевых продукций.

#### *Фреймовая модель*

Фреймовые сети являются одним из перспективных способов формализации знаний. Существуют два вида фреймов: фреймы-описания и ролевые фреймы. В общем случае фреймом называют структуру формализации знаний, включающую: имя фрейма и множество слотов, представленных своими именами и значениями. Фрейм связывается с другими фреймами ссылками. Если ссылки не учитывают имена слотов, то образуются однородные сети фреймов. В противном случае связи именуется в соответствии с именем слота, где они зародились, а сеть фреймов становится неоднородной. Во фреймах слоты могут быть рекурсивно вложены друг в друга, что приводит к иерархической структуре взаимосвязанных слотов и фреймов.

Фреймы соответствуют понятиям, отражающим объекты и процессы реального мира. Сложным понятиям могут соответствовать фреймы, объединяющие взаимосвязанные фреймы в системе. Различные фреймы системы могут описывать объекты и процессы реального мира с различных точек зрения: внутреннего устройства, функционального назначения, причинно-следственных отношений, действия и других.

Фреймовые ЯПЗ обычно считают частным видом сетевых языков. Основная идея фреймового подхода к представлению знаний — более жесткое, чем при подходе, основанном на семантической сети, выделение объектов и ситуаций предметной области и

их свойств, т.е. всего того, что касается объекта или ситуации и важно с позиций решаемых задач, не размывается по сети, а представляется во фрейме.

Фреймовая модель знаний предложена Марвином Минским. Фрейм определяется как структура следующего вида:

$$(\langle \text{имя-фрейма} \rangle \langle \text{имя слота}_1 \rangle \langle \text{значение слота} \rangle_1, \dots \\ \dots \langle \text{имя слота}_n \rangle \langle \text{значение слота} \rangle_n)$$

фрейм для объекта "Допечатная\_фирма":

$$\{ \langle \text{Допечатная\_фирма} \rangle \\ \langle \text{Расположение} \rangle \quad \langle \text{Москва} \rangle \\ \langle \text{Количество\_сотрудников} \rangle \quad \quad \quad \langle 17 \rangle \\ \langle \text{Специализация} \rangle \langle \text{Рекламные\_листы} \rangle \}$$

Если значения слотов не определены, то фрейм называется *фреймом-прототипом*. Фрейм, в котором все слоты заполнены, называется *конкретным фреймом*.

Основной процедурой над фреймами является поиск по образцу. *Образец* или *прототип*, это - фрейм, в котором заполнены не все структурные единицы, а только те, по которым среди фреймов, хранящихся в памяти ЭВМ, отыскиваются нужные фреймы. Другими процедурами, характерными для фреймовых языков, являются наполнение слотов данными, введение в систему новых фреймов-прототипов, а также изменения некоторого множества фреймов, сцепленных по слотам (т.е. имеющих одинаковые значения для общих слотов).

Фрейм может быть декларативного, процедурного и процедурно-декларативного типа. В фреймах процедурного типа процедуры привязываются к слоту путем указания последовательности выполняемых операций. Различают два вида процедур: процедуры-"демоны" и процедуры-"слуги".

*Процедура-демон* запускается автоматически, когда фрейм удовлетворяет некоторому образцу, по которому осуществляется поиск в базе знаний.

*Процедура-слуга* запускается по внешнему запросу, а также используется для задания по умолчанию значений слотам, если они не определены.

Внутренняя процедура используется для изменения содержимого данного фрейма, в то время как внешняя - для изменения содержимого других фреймов. Процедура выполняет изменения в той части фрейма, которая называется терминальной (образована множеством терминалов – ячеек для хранения и записи информации).

### *Сценарии*

*Сценарии* представляют собой однородные сети, в которых устанавливаются отношения нестрогого порядка с различной семантикой. Установленные отношения определяют возможные последовательности событий. Семантика отношений может быть: каузальной, временной, родо-видовой, часть-целое и др. Сценарии используются в псевдофизических логиках для проведения выводов. Сценарии могут быть простыми и иерархическими (вложенными).

Понятие сценария введено Р. Шенком и Р. Абельсоном. Сценарий – это фреймоподобная структура, в которой определены такие специальные слоты как сценарий, цель, сцена, роль. Рассмотрим следующий пример сценария:

< сценарий: *Вывод фотоформ*  
 Роли: Оператор фотовывода, верстальщик  
 цель: Вывести цветоделенные пленки на основе файла, созданного верстальщиком.  
 сцена 1: *Прием файла*  
 Переслать по сети файл  
 Проверить файл на ошибки  
 сцена 2: *Расположение файла на пленке*  
 Проверить количество красок  
 Осуществить ориентацию  
 Выбрать режим отражения  
 сцена 3: *Вывод фотоформы*  
 Запустить растривание  
 Контроль за выводом  
 Обрезка пленки  
 сцена 4: *Проявка*  
 Проявить пленку  
 Проверить на дефекты  
 Разрезать на фрагменты >

Сценарии, отражая причинно – следственные цепочки предметной области, имеют более развитую семантику в сравнении с "классическими" фреймами. Таким образом, сценарии рассматриваются как средство представления проблемно-зависимых каузальных знаний.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Приведите классификацию сетевых моделей.
2. Запишите сетевую модель в формальном виде.
3. Каковы достоинства сетевых ЯПЗ?
4. В чем основной недостаток сетевых ЯПЗ?
5. Какие отношения задаются в функциональных сетях?

6. Перечислите основные отношения семантических сетей?
7. Как построить концептуальную схему?
8. Что такое сетевые продукты и для чего они используются?
9. Опишите какую-либо фреймовую модель.
10. Почему фреймовые сети считают одним из перспективных способов формализации знаний?
11. Перечислите достоинства фреймовых ЯПЗ.
12. Кем была предложена фреймовая модель знаний?
13. Определите структура фрейма.
14. Какой фрейм называется конкретным?
15. Что собой представляет основная процедура над фреймами?
16. Что такое фрейм-образец или фрейм-прототип?
17. Назовите типы фреймов.
18. Что такое процедура-демон и процедура-слуга?
19. Дайте определение сценарию.
20. Какова семантика отношений в сценариях?
21. Где и для каких целей используются сценарии?
22. Перечислите типы сценариев.
23. Кто первый ввел понятие сценария для представления знаний?
24. Приведите какой либо пример сценария.

### *Литература*

#### **Цитируемые источники**

- |                |  |
|----------------|--|
| Девятков, 2001 | <i>Девятков В.В.</i> Системы искусственного интеллекта. - М.: Изд-во МГТУ им.Баумана, 2001 - 352 с   |
| Заде, 1976     | <i>Заде Л.А.</i> Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. — М.: Мир, 1976. — 165 с.                            |
| Круглов        |  |
| Минский, 1978  | <i>Минский М.</i> Структура для представления знания.— В сб. Психология машинного зрения. Под ред. П.Уинстона.— М.: Мир, 1978.                             |
| Минский, 1979  | <i>Минский М.</i> Фреймы для представления знаний: Пер. с англ. О.Н.Гринбаума под ред. Ф.М.Кулакова. — М.: Энергия, 1979.-152 с., с ил. Библиогр. 65 назв. |

## Глава 3.

### Библиотека

#### "Начала искусственного интеллекта"

**Акофф, 1974**

*Акофф Р. и Эмери Ф. О целеустремленных системах. М.: Сов. радио, 1974. — 272 с. — Рис. 21, табл. 3, библи. 171 наз.*

#### **Аннотация.**

Эта книга представляет собой попытку выработать систему понятий, позволяющих описать и объяснить человеческое поведение, как «систему целеустремленных действий». Пока на эту сложную проблему не выработался единый взгляд, и нельзя говорить о создании объективной научной теории. Акофф и Эмери критически переработали обширный материал и предложили свою концепцию, их книга знакомит читателя как с их собственными взглядами, так и с историей вопроса.

Книга написана вполне доступно, хотя для ее чтения необходимо понимание философских и социологических вопросов. Круг возможных читателей довольно широк: кроме исследователей операций и разработчиков «человеко-машинных» систем ею заинтересуются философы, психологи, социологи.

#### **Оглавление**

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ. 1. Человеческое поведение как система. 2. Структура, функция и цель. 3. Индивидуальность психологических систем.

ПРОЦЕСС ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ НАМЕРЕНИЙ. 4. Генерация входной информации: восприятие, осознание и память. 5. Моделирование ситуации: убеждения. 6. Оценивание ситуации: чувства и виды отношения. 7. Формулирование и оценка выборов: мышление и интуиция. 8. Целеустремленные системы и их окружения. Заключение к части II: Схема разбора ситуации.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЦЕЛЕУСТРЕМЛЕННЫХ СИСТЕМ. 9. Чувства и общение. 10. Знаки, сообщения и язык. II. Модели общения. 12. Конфликт, сотрудничество и конкуренция.

СОЦИАЛЬНЫЕ И ЕЩЕ БОЛЕЕ КРУПНЫЕ СИСТЕМЫ. Социальные группы как системы. Системы, стремящиеся к идеалу. Эпилог: замыкание круга понятий.

ПРИЛОЖЕНИЯ. Ошибки наблюдения. Форма восприятий и наблюдений. О гипотезах Ньюкомба и Рапопорта.

**Из предисловия.**

Системные исследования в последние годы получили широкое развитие в самых различных сферах человеческой деятельности. Существуют многочисленные попытки сформулировать, что такое системный анализ, исследование операций, системотехника и другие междисциплинарные исследования, дать им более или менее четкое определение. Нам бы не хотелось предлагать читателю очередную ( $n+1$ )-ю попытку такого определения, которая наверняка также окажется неудачной.

Системный подход, системные исследования не являются чем-то принципиально новым, возникшим лишь в последние годы. Это естественный и единственно научный метод решения и теоретических, и практических проблем, используемый на протяжении веков. Можно, пожалуй, говорить лишь о том, что в последние годы происходит определенное осознание этого метода. В настоящее время на Западе в рассматриваемой сфере наблюдается относительно четкое разделение ученых на два лагеря: сторонников построения абстрактной теории систем и сторонников прагматического использования системной методологии. К первому можно отнести, в первую очередь, Л.Берта-ланфи, впервые сформулировавшего около 40 лет назад свою концепцию общей теории систем, и М.Месаровича. Во второй лагерь входит большая группа ученых, занимающихся прикладными проблемами (Ф.Морз, В.Черчмен, Р.Макол, П.Райвет, А.Кофман, Т.Саати и др.). Одним из наиболее ярких представителей этой группы можно считать и автора данной книги — Р.Акоффа.

Он много лет занимался практическими приложениями методов исследования операций к решению различных промышленных, экономических и социальных проблем. Многие книги, автором которых он является, переведены на русский язык и с большим интересом были встречены в нашей стране. Примером конструктивного использования системного подхода к сложным проблемам социально-экономического характера может служить книга Р.Акоффа «Планирование в больших экономических системах», вышедшая в 1972 г. в издательстве «Советское радио».

Данная книга Р.Акоффа и Ф.Эмери представляет собой попытку выработать систему понятий, относящихся к целеустремленным системам и к поведению таких систем. Нужно заметить, что изучению поведения подобных систем посвящено большое число работ, однако пока еще нельзя говорить о том, что выработался достаточно четкий единый взгляд, позволяющий подойти к созданию объективной научной теории.

Вопросы исследования бихевиоральных систем, т.е. систем, обладающих поведением, занимают авторов данной книги уже давно. Как отмечал Р.Акофф в одной из своих работ, существенной чертой бихевиоральной системы является то, что она состоит из частей, каждая из которых обнаруживает собственное поведение. Само поведение складывается из множества взаимозависимых действий, необходимых для достижения некоторого желаемого результата.

Насколько сложны и сами понятия, относящиеся к этим системам, и взаимоотношения между ними, можно убедиться, даже бегло просмотрев книгу Р.Акоффа и Ф.Эмери. Для хорошего понимания содержания книги от читателя потребуется знание элементов психологии и социологии, кибернетики и математики.

Хотелось бы только особо подчеркнуть, что данная книга выходит за рамки очередного ординарного исследования. Как отмечали советские исследователи (Садовский В. Н., Юдин Э. Г. Задачи, методы и приложения общей теории систем (вступительная статья к сб. «Исследования по общей теории систем». М., «Прогресс», 1969), в настоящее время в системных исследованиях отсутствует специфическая система логико-методологических средств, решение ряда системных проблем затрудняется из-за отсутствия адекватного аппарата исследования.

Попытку построить фундаментальную систему понятий для изучения бихевиоральных систем и внутренней структуры этой системы понятий и предприняли Р.Акофф и Ф.Эмери. Подобного рода работа является необходимой для всякого более или менее строгого построения формальной теории, позволяющей проводить истинно научные исследования бихевиоральных систем.

#### **Из предисловий авторов**

В этой книге Фред Эмери и я попытались заложить основы для более плодотворных научных исследований в области поведения людей и социальных групп. Эти основы уходят глубоко в философскую почву и существенно отличаются от тех, на которых покоились предыдущие бихевиористские исследования. По этой причине развиваемые здесь идеи часто могут оказаться трудными для восприятия. Я надеюсь, что ... читатели этой книги обнаружат, что затраты времени и сил на ее прочтение окупаются тем, что они смогут извлечь из нее. Более того, я надеюсь, что они найдут пути улучшения и углубления этих идей, так что мы сможем совместно развивать эту важную науку, которая может быть эффективно использована при решении серьезных проблем, стоящих перед миром.

Работа над этой книгой началась в 1941 г., когда доцент кафедры философии Пенсильванского университета Томас А.Коуэн предложил преподавателю С.У.Черчмену и ассистенту Р.Л.Акоффу продолжить исследования профессора И.А.Сингера-младшего, старейшины кафедры, который не только учил всех троих, но и сделал их друзьями. Сингер разработал систему понятий, предназначенную для того, чтобы показать совместимость телеологии и механицизма, и остановился на пороге психологических проблем. (Его работа была опубликована позднее, уже после его смерти, под названием «Опыт и размышление» под редакцией С.У.Черчмена.) Коуэн настоятельно рекомендовал Черчмену и Акоффу развить и углубить идеи Сингера в приложении к наукам о поведении. Вскоре после начала

совместной работы Черчмен и Акофф оказались разлученными второй мировой войной и продолжали по мере возможности сотрудничать с помощью переписки, нередко приводя в замешательство военных цензоров. В 1946 г. с интервалом в несколько месяцев Акофф и Черчмен вернулись в Пенсильванию и в том же году завершили первый вариант разрабатываемой ими теории. Часть этой работы Акофф использовал в своей докторской диссертации по философии. Полностью монография «Психологистика» была опубликована в 1947 г.

Черчмен и Акофф продолжали исследования в университете Вейна (1947—1951 гг.) и Кейсовском Технологическом институте (в середине 50-х годов). Они развили эти идеи в применении к новым областям и переработали значительную часть всего материала. Некоторые результаты были ими опубликованы в научных журналах.

Черчмен перешел в Калифорнийский университет (в г.Беркли) в конце 50-х годов, где часть работы, проделанной совместно с Акофф-фом, включил в свою книгу «Прогноз и оптимальные решения» (1961). Акофф пытался обобщить разработанную систему, чтобы включить в рассмотрение некоторые ранее не охваченные психологические аспекты, а также проблемы общения, конфликта и организации. Результаты этой работы были опубликованы в статьях в конце 50-х и начале 60-х годов.

В 1964 г. Акофф вернулся в Пенсильванский университет и вскоре получил от Национального научного фонда субсидию, которая дала ему возможность построить новый вариант разрабатываемой теории. В результате в ноябре 1967 г. был подготовлен доклад Научного центра по проблемам управления «Выбор, общение и конфликт».

Ко времени появления этого второго варианта Акофф начал сотрудничать с Фредом И.Эмери, работавшим тогда в Центре изучения людских ресурсов Института Тависток в Лондоне. Совместно они попытались применить разработанную систему понятий для объяснения обнаруженных Эмери во время его исследований в Европе типов поведения потребителей напитков. Кроме того, важным вкладом Эмери в совместную работу явилось его давнее знакомство с проблематикой открытых систем вообще и социально-технических систем в частности, а также глубокое понимание работ Г.Зоммергоффа. Это сотрудничество приняло форму переработки, развития и обновления «Выбора, общения и конфликта», и в результате появился третий вариант теории, который мы и предлагаем читателю. Хотя эту книгу писали на разных стадиях только трое, думали над ней многие. Особо важная критическая роль в ее создании принадлежит трем специалистам. Леон Прицкер не только стойко выдержал в 1946 г. первый семинар, посвященный ее обсуждению, но и в дальнейшем во многом способствовал ее созданию. Томас А.Коуэн, инициатор всего этого начинания, существенно определил направление исследования, отразившееся в первом и

втором вариантах. Эрик Трист был наиболее конструктивным критиком второго варианта, и многие его идеи значительно повлияли на разработку третьего варианта.

В течение всей работы нам очень помогали студенты, в частности А.С.Сковил, Дж.Р.Эмшоф и Р.В.Корт. Их энтузиазм, интерес и усердие были весьма необходимой поддержкой в работе при ее длительном созревании.

Само собой разумеется, что эта книга не изложение результатов полностью, завершенной работы. Скорее это сообщение о ходе выполнения программы, которая, мы надеемся, будет разрабатываться еще много лет все возрастающим кругом специалистов.

За тридцать лет работы над этой книгой литература, имеющая отношение к ее теме, просматривалась много раз. В первых вариантах содержались солидные обзоры, призванные доказать эрудицию авторов. То же самое предусматривалось сделать и в третьем варианте, но объем книги оказался при этом столь велик, что мы предпочли отказаться от ссылок, несущественных для хода наших рассуждений. Мы надеемся, что это не будет воспринято как неуважение или недооценка идей множества специалистов, которые мы широко заимствовали.

В первых главах преобладают ссылки на более ранние работы. Это связано с тем, что поведенческие понятия, с которых мы начинаем, стали изучаться сравнительно давно и основополагающие идеи по этим вопросам появились раньше, чем аналогичные по важности результаты в более современных областях исследования. Мы стремились по возможности цитировать оригинальные статьи, а не их более позднее изложение.

Поскольку даже после сокращения числа ссылок объем рукописи оставался слишком велик, мы часто прибегаем к телеграфному стилю. В нашем изложении есть много других недостатков, далеко не все из них могут быть оправданы сложностью темы. В итоге получилась нелегкая для чтения книга, требующая серьезного изучения. Мы надеемся, что найдутся терпеливые читатели, склонные преодолеть все трудности.

### **Алиев, 1990**

*Алиев Р.А., Абдикеев Н.М., Шахназаров М.М.* Производственные системы с искусственным интеллектом. — М.: Радио и связь, 1990.—264 с.: Табл. 13. Ил. 66. Библиогр. 217 назв.

### **Аннотация.**

Книга посвящена вопросам теории, практики создания и использования производственных систем с искусственным интеллектом (ПСИИ) — систем качественно нового типа, ориентированных на знания. Выделяются роль и место этих систем в составе

автоматизированных систем управления различного назначения. Рассматриваются архитектура ПСИИ, принципы ее основных компонентов, формы и методы представления знаний. Описывается технология проектирования, а также программные и технические инструментальные средства разработки ПСИИ. Освещается опыт реализации на промышленных предприятиях ПСИИ, функционирующих в реальном масштабе времени, дается анализ их работы и перспективы развития.

Для научных работников, специализирующихся в области управлений производством и прикладных систем искусственного интеллекта.

### **Оглавление.**

1. НОВАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ. Эволюция систем управления производством. ПСИИ — системы, базирующиеся на знаниях. Состояние и перспективы развития ПСИИ

2. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ В ПСИИ. Проблема представления знаний. Представление знаний в виде фреймов. Продукционные модели представлений знаний. Другие формы представления знаний. Применение теории нечетких множеств при формализации знаний.

3. АРХИТЕКТУРА ПСИИ. Структура ПСИИ. База знаний. Механизм вывода. Стратегия управления и механизм вывода в ПСИИ. Общие методы поиска решений в пространстве состояний. Дедуктивные методы поиска решений. Методы поиска решений в больших пространствах состояний. Методы поиска решений в условиях неопределенности. Нечеткая логика и приближенные рассуждения. Диалоговый интерфейс и взаимодействие с внешней средой. Объяснение и обоснование решений в ПСИИ.

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПСИИ. Этапы проектирования и стадии существования ПСИИ. Предметная область и работа с экспертами.

5. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПСИИ. Программные средства для разработки и реализации ПСИИ. Технические средства разработки и реализации ПСИИ.

6. ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ПСИИ. Интеллектуальная система планирования производства. Интеллектуальная система диспетчерского управления производством. Интеллектуальные системы управления и регулирования технологическими процессами. Интеллектуальная система диагностирования состояния технологических объектов. Интеллектуальные роботы в ГАП испарителей. Общие сведения. Модели координации функционирования роботизированных участков в условиях нечеткой исходной информации. Построение технологических шкал для роботизированного участка холодной сварки теплообменников. Принятие решений по координации функционирования

роботизированного участка холодной сварки теплообменников. Пример реализации процесса принятия решений по координации роботизированного участка холодной сварки. Принятие решений по координации функционирования роботизированного участка образования каналов теплообменников. Пример реализации процесса принятия решений по координации роботизированного участка образования каналов теплообменников.

### **Из предисловия авторов**

Одним из важнейших направлений интенсификации общественного производства является широкое внедрение в народное хозяйство средств автоматизации и вычислительной техники. Важную роль в этом направлении должны сыграть высокоэффективные автоматизированные системы управления (АСУ).

В настоящее время накоплен большой опыт создания АСУ в различных отраслях народного хозяйства. Этот опыт позволяет сделать вывод о том, что резерв повышения эффективности АСУ заключается в увеличении уровня интеллектуализации этих систем, переходе к так называемым «разумным» производственным системам, ориентированным на знания. Число публикаций по отдельным вопросам теории и практики создания интеллектуальных систем стремительно растет, равно как и приток ассигнований в эту область.

Область применения существующих на сегодняшний день систем искусственного интеллекта (ИИ) охватывает медицинскую диагностику, интерпретацию геологических данных, научные исследования в химии, биологии, военном деле и ряде других отраслей. Что касается применения таких систем в сфере управления промышленными производствами, то эти вопросы пока еще не нашли должного отражения ни в зарубежной, ни в отечественной литературе.

Таким образом, несмотря на значительные успехи в области искусственного интеллекта, пока еще существует определенный разрыв между имеющимися аппаратными и программными средствами ИИ и возможностями их практического применения в производстве. В этой связи целью данной книги является попытка на базе анализа опыта разработки, тенденций развития этой области приложения искусственного интеллекта обеспечить возможность активного внедрения систем ИИ на всех уровнях управления производством. При этом производственные системы с искусственным интеллектом (ПСИИ) рассматриваются не только как системы качественно нового типа, но и как органичное звено в структуре современных АСУ производством (АСУП).

**Букатова, 1991**

*Букатова И.Л., Михасев Ю.И., Шаров А.М.* Эвоинформатика: Теория и практика эволюционного моделирования. — М.: Наука, 1991. — 206 с. Табл. 29. Ил. 67. Библиогр.: 194 назв.

**Аннотация.**

Систематизировано излагается современное состояние эволюционного моделирования, предназначенного для синтеза структурированных моделей в задачах предсказания, распознавания, идентификации, восстановления сигналов, автоматизации научных экспериментов и т.д. Рассматриваются элементы теории, позволяющие исследовать синтезированные модели в различных прикладных задачах. Рассмотрены вопросы аппаратной реализации эволюционных алгоритмов.

Книга рассчитана на математиков и инженеров, занимающихся моделированием сложных систем на ЭВМ.

**Оглавление**

1. МОДЕЛИ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ. Автоматизированные системы научных исследований. Актуальные задачи обработки измерений. Имитационные модели в глобальном моделировании.

2. ПРОБЛЕМА СИНТЕЗА МОДЕЛЕЙ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ Программные методы структурной идентификации Спецпроцессорные и аппаратные средства моделирования.

3. ЭВОИНФОРМАТИКА КАК ЭЛЕМЕНТ ИНФОРМАТИКИ. Новые информационные и вычислительные технологии. Методологические предпосылки эволюционного моделирования. Моделирование механизмов эволюции в сложных системах.

4. ЭВОЛЮЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК МЕТОД АДАПТИВНОЙ СТРУКТУРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ. Основные понятия эволюционного моделирования. Основные задачи и этапы идентификации. Анализ процедур структурного случайного поиска. Теоретическое исследование глобальных характеристик процесса идентификации. Вопросы сходимости и устойчивости.

5. МЕТОДИКИ СТРУКТУРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ В ЗАДАЧАХ ОБРАБОТКИ ИЗМЕРЕНИЙ. Классы С-моделей и их формирование при обработке измерений. Методика синтеза конечно-автоматных предсказывающих моделей. Методика синтеза распознающих древовидных моделей. Методика синтеза многорядных однородных решающих моделей.

6. ЭВОЛЮЦИОННЫЕ СРЕДСТВА В ЗАДАЧАХ ПРЕДСКАЗАНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ. Эволюционный предсказывающий алгоритм. Предсказание нестационарных радиопомех. Эволюционный распознающий алгоритм. Распознавание объектов по кривым.

7. ЭВОЛЮЦИОННЫЕ СРЕДСТВА В ЗАДАЧАХ КЛАССИФИКАЦИИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ. Многорядные алгоритмы классификации. Восстановление неполных замеров параметра сигнала. Сходимость многорядных алгоритмов.

8. ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ ЭВОЛЮЦИОННЫЕ СРЕДСТВА. Проблемы программной и спецпроцессорной реализации эволюционных алгоритмов. Элементная база эволюционных спецпроцессоров.

9. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССОРЫ (СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ). Оптоэлектронный предсказывающий процессор. Микроэлектронный процессор-идентификатор.

10. АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА. Концепция структурной идентификации и автоматизация. Общая схема автоматизации. Имитационно-эволюционный подход в моделировании.

ПРИЛОЖЕНИЕ I. Доказательства теорем многорядного синтеза.

ПРИЛОЖЕНИЕ II. Краткое описание алгоритма СМЛ.

### **Из предисловия**

Важнейшим фактором научно-технического прогресса на современном этапе являются широкая информатизация и компьютеризация. В последнее десятилетие на базе достижений кибернетики, численного моделирования, программирования и вычислительной техники, в том числе микроэлектроники как компьютерной технологии, произошел переход от использования ЭВМ для обработки массивов данных к индустрии информатики. Одним из следствий такого перехода является превращение знания в стратегический ресурс и в этой связи создание интеллектуальных информационных технологий, ядром которых являются вычислительные технологии, ориентированные на решение интеллектуальных задач.

Традиционно на решение этих задач направлены работы по искусственному интеллекту, которые изначально велись по пути моделирования интеллектуального поведения человека (эвристик) и воспроизведения функционирования его мозга и нервной системы. В начале 80-х годов произошло значительное продвижение теории и практики искусственного интеллекта, связанное в основном с разработкой программ компьютеров пятого поколения и автономных роботов. Сформировалась совокупность методов и систем манипулирования знаниями, нашедших конкретное применение в экспертных системах, предназначенных для принятия компетентных решений в различных областях социальной

практики. С учетом таких недостатков современных экспертных систем, как узкая специализация, быстрое устаревание базы знаний, фрагментарность и ограниченность данных, в настоящий момент проявилась особая значимость адаптивных форм представления знаний и использования механизмов обучения. Неслучайно внимание вновь обращается на идеи эволюционного моделирования, предложенного в свое время в качестве альтернативного подхода к решению интеллектуальных задач [Фогель, 1969].

Массовый читатель познакомился впервые с этим методом в 1966 г. при выходе книги Л.Фогеля, А.Оуэнса, Л.Уолша «Искусственный интеллект и эволюционное моделирование» (русский перевод под ред. А.Г.Ивахненко в 1969 г.). Основная идея эволюционного моделирования и сейчас звучит грандиозно и весьма привлекательно — "заменить процесс моделирования человека процессом моделирования его эволюции". Также очевиден разрыв с потребностями практики и возможностями реализации, поэтому не удивительна оживленная критика данного метода в литературе тех лет (преимущественно в американской). С тех пор до 1980 г. новых работ, развивающих или использующих эволюционное моделирование, в США не появилось [Нильсон, 1985]. Иная судьба метода в нашей стране, где был сделан упор на более простой и созвучной запросам сложных систем идее — "заменить процесс моделирования сложного объекта процессом моделирования его эволюции" [Букатова, 1979]. В результате произошло теоретическое и прикладное развитие эволюционного моделирования как метода структурной идентификации объекта при частичной информации относительно его поведения и модели. Этому в значительной мере способствовало наличие методов, которые пусть в иных аспектах, но использовали механизмы стохастичности и имитации эволюции. Речь идет о методе группового учета аргумента, называемого также методом эвристической самоорганизации, предложенного и успешно применяемого школой чл.-корр. АН УССР А.Г.Ивахненко, а также об алгоритмах случайного поиска, развитых и широко распространенных как эффективные методы оптимизации усилиями школы проф. Л.А.Растргина. Идея эволюционного моделирования в СССР возникла под влиянием фундаментальной теории адаптивных систем, разработанной чл.-корр. АН СССР Я.З.Цыпкиным. Были созданы и эффективно применены в системах, характеризующихся наличием непараметрических неустранимых неопределенностей, эволюционные алгоритмы предсказания, распознавания, классификации и восстановления, а также адаптивного проектирования и структурной адаптации вычислительных систем. В этот период "прагматического" становления метода были апробированы различные эволюционные механизмы, исследованы частные теоретические схемы, определены механизмы достигаемых эффективностей в конкретных задачах.

Параллельно становлению информатики в последние годы работы по эволюционному моделированию поднялись на принципиально новый уровень. В данном случае комплексный взгляд на информатику как на триаду модель-алгоритм-программа нашел свое непосредственное воплощение. В успешных попытках аппаратной реализации эволюционных алгоритмов, включающих теоретическую разработку требуемой элементной базы, подтвердилось также плодотворное понимание информатики как единства алгоритмических, программных и аппаратных средств. Таким образом, сформировался современный взгляд на теорию и практику эволюционного моделирования, на совокупность алгоритмических, программных и аппаратных эволюционных средств как на раздел информатики — эволюционная информатика. Наиболее полному представлению эвоинформатики посвящена данная работа.

В первых главах обсуждаются особенности формирования и использования моделей в системах обработки измерений при решении важных практических задач. Анализируются причины недостаточной эффективности параметрических адаптивных алгоритмов при обработке недостоверных и нестационарных измерений в условиях информативной неопределенности относительно операторов их формирования. В связи с этим рассматриваются проблемы синтеза моделей с переменной структурой при машинной, спецпроцессорной и аппаратной реализациях. Обсуждаются внутренние и внешние предпосылки необходимости применения алгоритмических, программных и аппаратных средств, входящих в эвоинформатику.

Две последующие главы книги посвящены изложению элементов теории эволюционного моделирования как метода адаптивной структурной идентификации. В остальных главах описывается опыт применения эволюционных средств при решении конкретных задач предсказания, распознавания, классификации и восстановления измерений. Обсуждаются общие схемы и модели обработки информации с помощью как программных, так и программно-аппаратных средств в автоматизированных системах научных исследований, в глобальной экологии, для проектирования технических устройств. Таким образом, в целом сделан упор на практику эволюционного моделирования, что позволяет привлечь внимание разработчиков современных технологий и проектировщиков сложных систем обработки информации. Надеемся, что монография окажется полезной широкому кругу специалистов по автоматизации процессов и в других приложениях: системах автоматизированного проектирования, гибких производственных системах и т.п.

Необходимо отметить, что предлагаемая книга не претендует на полноту изложения работ, ведущихся по данному направлению. Здесь отражены в основном результаты многолетних совместных исследований авторов, которыми потенциальные возможности

эволюционного моделирования лишь обозначаются, но далеко не исчерпываются. В частности, не нашли отражения эволюционные методы проектирования и адаптации вычислительных систем, интенсивно развиваемые рижской школой, а также другие работы, лишь упомянутые нами в списке литературы. В основу данной книги положена докторская диссертация И.Л. Букатовой.

### **Горелик, 1989<sup>21</sup>**

*Горелик А. Л., Скрипкин В. А.* Методы распознавания: Учеб. пособие для вузов. —3-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1989. —232 с.

#### **Аннотация.**

В пособии изложены основные методы распознавания объектов и явлений, особое внимание уделено системотехническому подходу к проблеме распознавания, построению оптимального признакового пространства, задачам обучения и самообучения, оптимизации процесса распознавания, и оценке эффективности систем распознавания.

Третье издание (2-е-1984 г.) дополнено новым материалом по экспертным системам распознавания, регуляризации задач распознавания и селекции.

#### **Оглавление.**

##### **ВВЕДЕНИЕ.**

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОБЛЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ И ЯВЛЕНИЙ. Качественное описание задачи распознавания. Основные задачи построения систем распознавания. Классификация систем распознавания. Экспертные системы распознавания.

2. ОБЩАЯ ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ И ЯВЛЕНИЙ. Содержательная трактовка проблемы распознавания. Постановка задачи распознавания. Метод решения задачи распознавания.

3. ОБРАБОТКА АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ. Системы распознавания без обучения. Обучающиеся системы распознавания. Самообучающиеся системы распознавания.

4. ВЕРОЯТНОСТНЫЕ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ И ЯВЛЕНИЙ. Некоторые сведения из теории статистических решений. Критерий Байеса. Минимаксный

---

<sup>21</sup> В марте 2003 г. 4-е издание этой книги рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов по университетскому политехническому образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 220200 — Автоматизированные системы обработки информации и управления направления подготовки дипломированных специалистов 654600 – Информатика и вычислительная техника.

критерий. Критерий Неймана—Пирсона. Процедура последовательных решений. Регуляризация задачи распознавания. Задача селекции объектов и явлений.

5. РАБОЧИЙ СЛОВАРЬ ПРИЗНАКОВ СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ И ЯВЛЕНИЙ. Построение рабочего словаря детерминированных признаков при ограниченных ресурсах. Построение рабочего словаря признаков с учетом вероятности их определения. Игровой подход к построению рабочего словаря признаков. Построение рабочего словаря признаков при вероятностном описании классов. Сравнительная оценка признаков. Построение рабочего словаря признаков при отсутствии априорного словаря признаков.

6. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ АЛГЕБРЫ ЛОГИКИ. Основные понятия алгебры логики. Изображающие числа и базис. Восстановление булевой функции по изображающему числу. Зависимость и независимость высказываний. Булевы уравнения. Замена переменных. Г. Решение логических задач распознавания.

7. ЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ И ЯВЛЕНИЙ. Решение задач распознавания при большом числе элементов. Алгоритм построения сокращенного базиса. Распознавание состояний научно-технического прогресса. Распознавание объектов в условиях их маскировки. Распознавание в условиях противодействия. Алгоритмы распознавания, основанные на вычислении оценок.

8. СТРУКТУРНЫЕ МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ. Общая характеристика структурных методов распознавания. Основные элементы аппарата структурных методов распознавания. Реализация процесса распознавания на основе структурных методов.

9. УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ И ЯВЛЕНИЙ. Постановка задачи оптимизации процесса распознавания. Алгоритм управления процессом распознавания. Частные подходы к принятию решений при распознавании. Алгебраический подход к задаче распознавания.

10. ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ. Эффективность вероятностных систем распознавания. Эффективность логических систем распознавания.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

### **Из предисловия**

С момента выхода в свет предыдущего издания настоящего учебного пособия прошло 5 лет. Эти годы в плане интересующей нас проблемы распознавания объектов и явлений ознаменовались дальнейшим расширением области применения систем распознавания. В этой связи следует прежде всего назвать сферу материального производства — промышленного и сельского хозяйства. На промышленных предприятиях методы распознавания нашли применение при построении систем технической диагностики

технологического оборудования, разработке «интеллектуальных» роботов, в автоматизированных системах управления предприятиями (АСУП), в частности оперативного управления производством.

В сельском хозяйстве системы распознавания находят все большее распространение не только в процедурах технической диагностики сельскохозяйственной техники, но также и при создании современного и перспективного технологического оборудования.

Несмотря на то, что методы и алгоритмы распознавания все в большей степени становятся неотъемлемым элементом медицинской и технической диагностики, метеорологического прогноза и геологической разведки, локационных средств наблюдения, систем ввода текстовой, графической и речевой информации в ЭВМ и т. д., в литературе по проблеме распознавания, как отечественной, так и зарубежной, системотехнический подход к проблеме распознавания еще не стал доминирующим.

И сегодня, как и 30 лет тому назад, проблема распознавания отождествляется с построением в том или другом смысле оптимальных алгоритмов распознавания, с исследованием условий, обеспечивающих возможность построения таких алгоритмов. Именно поэтому усилия исследователей-теоретиков концентрируются на постановке и решении хотя и важных, но тем не менее частных задач. К их числу в первую очередь относятся задачи наилучшего с точки зрения достоверности распознавания подразделения пространства признаков, на языке которых описываются распознаваемые объекты, на области, соответствующие классам, т. е. задачам определения наилучших решающих границ (правил) между классами. Решение этих задач возможно только тогда, когда априори известны классы объектов (алфавит классов) и признаки, на языке которых описываются объекты и их классы (словарь признаков). Однако, как правило, разработчики, приступая к построению систем распознавания, не располагают такой информацией. Даже при построении распознающих устройств, предназначенных для распознавания букв конкретного алфавита, слов определенного языка или отпечатков пальцев, в ситуациях, где нет вопросов о классах объектов (каждая буква, слово или отпечаток составляют классы), информативные признаки и аппаратура для их определения априори не известны. Это предмет нетрадиционных исследований.

Почему же несмотря на то что задачи описания классов объектов на языке признаков и построения оптимальных в том или другом смысле алгоритмов собственно распознавания не являются определяющими в проблеме распознавания, им по-прежнему уделяется столь незаслуженно большое внимание?

Причин здесь, по-видимому, несколько. Первая состоит в том, что названные задачи сравнительно легко поддаются формализации и аналитическому решению, что и определяет

их привлекательность для исследователей. Вторая заключается в том, что значительная их часть ограничивает свою деятельность только теоретическими изысканиями. Третья обусловлена тем, что традиционный подход к проблеме распознавания базируется (хотя этого никто не утверждает) на предположении об автономности систем распознавания. Хотя в ряде частных ситуаций такая постановка вопроса оправдана, однако в общем случае она неправомерна. И в системах технической и медицинской диагностики, и в автоматизированных системах управления промышленными и сельскохозяйственными предприятиями распознавание неисправности или дефектов машин и механизмов, болезней пациентов, возникших производственных ситуаций — не самоцель. Их распознавание есть лишь средство получения исходной информации, необходимой системе управления, стоящей над системой распознавания, для принятия управленческих решений, адекватных результатам распознавания неизвестных объектов и явлений.

Можно утверждать следующее. Достоверное распознавание неизвестных объектов или явлений не является достаточным условием для реализации потенциально достижимой эффективности системы управления. Однако, оно является условием необходимым. Трудно предположить, чтобы врач (или система медицинской диагностики — безразлично), установивший ошибочный диагноз, выработал правильную стратегию лечения, адекватную истинному заболеванию. Конечно, он (или она) предложит стратегию лечения, соответствующую тому диагнозу, который он поставил. К каким последствиям это приводит, многие из читателей, к сожалению, узнали не из газет, журналов или книг.

При разработке любых систем распознавания необходим системный подход, смысл которого в данном случае состоит в следующем. Система распознавания должна строиться так, чтобы в условиях неизбежных ограничений результаты ее работы обеспечивали возможность системе управления реализовать потенциально достижимую эффективность.

По мнению авторов, дальнейший прогресс в области разработки и применения систем распознавания связан с системным подходом к проблеме распознавания, необходимостью разработки системных аспектов проблемы. Это побудило их подготовить настоящее издание книги.

Авторы считают своим долгом сказать, что на начальной стадии их работы в области проблематики распознавания они имели возможность пользоваться советами и рекомендациями выдающихся советских ученых — акад. В.М.Глушкова и чл.-кор. АН СССР Н.П.Бусленко. Связано это с тем, что по инициативе Н.П.Бусленко под руководством одного и при весьма плодотворном участии другого автора свыше 25 лет тому назад была начата разработка большой системы распознавания. В.М.Глушков этой работе всегда уделял неизменное и доброжелательное внимание. Именно в ходе проектирования и построения

этой системы у авторов сформировались определенные представления о том, в чем состоит суть проблемы распознавания, с какими задачами приходится сталкиваться при создании реальных систем распознавания и как их решать. В последующие годы при разработке других систем распознавания авторы неоднократно имели возможность утвердиться в своих взглядах, убедиться в том, что только на путях системотехнического подхода к проблеме распознавания можно добиться реальных успехов при решении задач разработки конкретных систем распознавания.

### **Ковальски, 1990**

*Ковальски Р. А.* Логика в решении проблем: Пер. с англ. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. - (Пробл. искусств, интеллекта.) - 280с.

Табл. 2. Ил. 146. Библиогр. 107 назв.

#### **Аннотация.**

Изложены основы так называемой клаузуальной логики, являющейся средством логического программирования. Последнее лежит в основе проектирования ЭВМ пятого поколения, над которыми в настоящее время работают специалисты ряда стран.

Для научных работников и инженеров, занимающихся проблемами искусственного интеллекта. Полезна аспирантам и студентам втузов.

#### **Оглавление**

1. ВВЕДЕНИЕ. Пример "Родственные связи" и клаузуальная форма. Более строгое определение клаузуальной формы. Нисходящий и восходящий варианты определений. Семантика клаузуальной формы. Пример «Грекам свойственно ошибаться». Пример "Факториал числа». Универсум дискурса и интерпретации. Более строгое определение несовместности. Семантика альтернативных заключений. Клаузы Хорна. Пример "Простые грибы и поганки. Упражнения.

2. ПРЕДСТАВЛЕНИЯ В ФОРМЕ КЛАУЗ. Инфиксная нотация. Переменные и типы. Существование. Отрицание. Отрицания заключений, являющихся импликациями. Условия, являющиеся импликациями. Определения и словосочетания если-и-только-если. Семантические сети. Расширенные семантические сети. Представление информации при помощи бинарных предикатных символов. Преимущества бинарного представления. Базы данных. Языки запросов. Описание данных. Ограничения целостности. Пример "База данных кафедры. Равенство. Упражнения.

3. НИСХОДЯЩИЕ И ВОСХОДЯЩИЕ ПРОЦЕДУРЫ ДОКАЗАТЕЛЬСТВ, ОСНОВАННЫЕ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ КЛАУЗ ХОРНА. Предварительные замечания. Задача грамматического разбора. Описание задачи грамматического разбора на языке

логики предикатов. Восходящий вывод. Нисходящий вывод. Пример "Родственные связи. Правила вывода и стратегии поиска. Бесконечные поисковые пространства: натуральные числа . Определения. Подстановка и согласование. Корректность и полнота систем логического вывода. Упражнения.

4. ОСНОВЫ ПОИСКА РЕШЕНИЙ НА ЯЗЫКЕ КЛАУЗ ХОРНА. Поиск пути. Задача о сосудах с водой. Упрощенная задача поиска пути. Представление поисковых пространств в виде графов. Пространство поиска для задачи о сосудах с водой. Поисковые стратегии для задачи поиска пути. Процесс редукции поиска решений и его представление в виде И-ИЛИ дерева. Интерпретация клауз Хорна в терминах поиска решений. Расщепление и независимые подцели. Зависимые подцели. Поиск versus доказательство. Леммы, повторяющиеся подцели и циклы. Стратегии поиска для пространств редукции задач. Двухнаправленный поиск решений. Обозначения для описаний двухнаправленного поиска решений. Другая формулировка задачи поиска пути. Иные аспекты поиска решений. Упражнения.

5. ПРОЦЕДУРНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КЛАУЗ ХОРНА. Термы как структуры данных. Вычисление методом последовательного приближения к выходному значению. Изменение назначений параметрам ролей входов и ролей выходов. Недетерминизм первого рода: несколько процедур согласуются с одним процедурным вызовом. Последовательный поиск как итерация. "Не знаю" versus "не забочусь" в условиях недетерминизма первого рода Недетерминизм второго рода: планирование процедурных вызовов. Выполнение программ способом снизу вверх. Прагматическая сторона логических программ. Отделение структур данных. Структуры данных: термы versus отношения. Формальные средства описания баз данных и языки программирования... Алгоритм = Логика + Управление. Спецификация управляющего компонента. Естественный язык = Логика + Управление. Упражнения.

6. ПОСТРОЕНИЕ ПЛАНОВ И ПРОБЛЕМА ОСТОВА. Построение плана и мир блоков. Описание задачи блочного мира на языке клауз. Восходящее применение аксиомы пространства состояний. Восходящее применение аксиомы остова. Смешанное нисходящее и восходящее выполнение аксиомы остова. Нисходящее выполнение в пространстве состояний и применение аксиомы остова. Приложения методов построения планов. Ограничения. Упражнения.

7. РЕЗОЛЮЦИЯ. Негативные цели и утверждения. Резолюция. Расходящиеся от центра рассуждения, использующие клаузы Хорна. Пример "Пропозициональная логика. Стрелочная нотация для нехорновских клауз. Дизъюнктные решения задач, сформулированных в терминах нехорновских клауз. Факторизация. Упражнения.

8. ПРОЦЕДУРА ДОКАЗАТЕЛЬСТВА МЕТОДОМ ГРАФА СОЕДИНЕНИЙ. Начальный граф соединений. Резолюция связей в графе соединений. Смешанный нисходяще-восходящий поиск в задаче грамматического разбора. Макропроцессирование и рассуждения, расходящиеся от центра. Использование стрелочных обозначений для управления выбором связей. Авторезольвентные клаузы. Удаление связей, резольвентами которых являются тавтологии. Процедура доказательства методом графа соединений. Упражнения.

9. ГЛОБАЛЬНЫЕ СТРАТЕГИИ ПОИСКА РЕШЕНИЙ. Удаление избыточных подцелей. Добавление замещающих подцелей. Устранение несовместных целевых предложений. Обобщение использования диаграмм в геометрических доказательствах. Цели как обобщенные решения. Преобразование целей и информационный взрыв. Распознавание зацикливаний путем анализа различий. Пример "Факториал числа. Инвариантные свойства процедур. Упражнения.

10. СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ КЛАУЗАЛЬНОЙ ФОРМОЙ И СТАНДАРТНОЙ ФОРМОЙ ЛОГИКИ. Введение в стандартную форму логики. Перевод в клаузальную форму. Сравнение клаузальной и стандартной форм. Конъюнктивные заключения и дизъюнктивные посылки. Дизъюнктивные заключения. Только-если части определений. Импликации как посылки импликаций. Вывод (извлечение) программ из спецификаций. Упражнения.

11. ЕСЛИ-И-ТОЛЬКО-ЕСЛИ. Необходимость только-если частей определений. Термы versus отношения при использовании в качестве структур данных Неформулируемые только-если посылки. Двусмысленность только-если частей. Решения в объектном языке и в мета-языке. Объектноязыковые и метаязыковые интерпретации отрицания. Клаузы Хорна, дополненные отрицанием, интерпретируемым как неудача Доказательство свойств программ. Критика свойства монотонности логического следования. Упражнения.

12. ФОРМАЛИЗАЦИЯ ДОКАЗУЕМОСТИ. Корректная представимость. Простое определение отношения доказуемости. Непосредственное исполнение versus имитация. Добавление и подавление посылок. Раскрутка. Комбинация объектного языка и мета-языка. Неполнота комбинации объектного языка и мета-языка. Более полная форма отношения. Продемонстрировать. Упражнения.

13. ЛОГИКА, ИЗМЕНЧИВОСТЬ И ПРОТИВОРЕЧИЕ. Информационные системы. Динамика изменения информационных систем. Восстановление совместности. Логическая программа для естественного языка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

ИМЕННОЙ И ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛИ.

### **Из предисловия Д.А.Поспелова**

В мире существуют тысячи различных языков программирования. Подавляющее большинство известны лишь их создателям и никогда не применялись широкой армией пользователей. Законы выживаемости языков программирования пока известны не до конца, хотя многое в этом вопросе уже ясно. Например, никакой язык программирования не сможет выжить и распространиться (особенно сейчас), если он не обладает весьма большим набором вспомогательных средств, составляющих для него дружественную программную среду, куда входят сервисные программы, редакторы, трансляторы и многое другое. Язык без среды обречен на вымирание, как только исчезнет энтузиазм его создателей.

Поэтому появление в наше время нового жизнеспособного языка программирования - событие редкое. Нужен какой-то мощный стимул, чтобы новичок вошел в ряды "джентльменского набора" языков, признанных мировым сообществом программистов.

Среди пионерских исследований, связанных с решением нечисловых задач на вычислительных машинах, появившихся вскоре после появления самих вычислительных машин, были исследования по машинному переводу. К чести лингвистов надо сказать, что из всех весьма далеких от точных наук специалистов они первыми сумели оценить те возможности, которые несли в себе новые технические устройства. Попытки использовать алгоритмический подход к созданию программ для перевода предложений с одного языка на другой, а позже для автоматического реферирования текстов, фактографического поиска информации и синтеза естественно-языковых текстов выдвинули перед специалистами по программированию ряд новых задач. Обработка текстов во многом оказалась не такой, как работа с числовыми данными. Например, вся система базовых операций, из которых строятся процедуры работы с текстом, не совпадала с традиционным набором базовых операторов, оказавшимся удобным (и универсальным) для программирования вычислений. Поэтому программы обработки текстов, которые, в принципе, можно было свести к последовательности традиционных для вычислений базовых операторов, получались все же неуклюжими, плохо интерпретируемыми и неэффективными.

И поэтому с самого начала проникновения лингвистов, а вслед за ними логиков и других специалистов, которые видели в вычислительных машинах средство для автоматизации символьных преобразований, характерных для их областей науки, не покидала идея о создании языков и систем программирования, ориентированных именно на такие задачи.

Недостатка в предложениях такого рода не было. Но на первом этапе, когда всякий язык программирования мыслился как алгоритмический (в том духе понимания этого термина, как оно было сформулировано создателями языка Алгол), все эти предложения были всего лишь паллиативами, не способными привести к созданию того, что нужно.

Постепенно становилось ясно, что в основе эффективных языков для автоматизации процесса символьной обработки должна лежать идея не алгоритма, а исчисления со свободным поиском в нем доказательства целевого утверждения, однозначно связанного с решением интересующей пользователя задачи.

И первый заметный шаг в этом направлении был сделан специалистами, работавшими с естественно-языковыми текстами. Это произошло в Марселе в начале семидесятых годов. Предложенный в этой группе язык был скромно назван  $Q$ -языком. Первые публикации о  $Q$ -языке сначала не привлекли к нему особого внимания специалистов. Он казался весьма специализированным языком, ориентированным, в основном, на описание процедур формирования ответов на вопросы, поступающие к базам данных, когда эти вопросы сформулированы на естественном языке.

... Работая в Имперском колледже в Лондоне, Ковальски читал студентам курсы, связанные с прикладной логикой и использованием вычислительных машин при решении логических задач (в частности, для доказательства теорем). Это естественным образом привело его к идее истолкования процесса решения задачи, как поиска доказательства соответствующего ей утверждения в логических исчислениях (как правило, в исчислении предикатов первого порядка). Он понимал необходимость создания нового класса языков программирования (потом они будут названы языками логического программирования), специально ориентированных на решение задач символьной обработки текстов (не только естественно-языковых, а любых символьных). Знакомство с  $Q$ -языком показало, что путь построения языков такого типа может быть результативным. Отталкиваясь от  $Q$ -языка, Р.Ковальски вызвал к жизни язык Пролог, ставший наряду с Фортраном, Лиспом или Паскалем очередным мировым языком программирования, прародителем целого семейства языков логического программирования.

Итак, перед вами книга основоположника нового направления в программировании, в которой содержатся все основные предпосылки и идеи, положенные в основу теории таких языков и практики их использования при решении разнообразных задач символьной обработки.

Книга, как отмечает и сам ее автор, является изложением того курса лекций, которые он много лет читал в Имперском колледже и других учебных заведениях Великобритании и других стран. Именно это свойство книги, ее направленность на обучение, является, по моему мнению, особенно ценным. В нашей стране еще очень мало книг, которые могли бы выполнить роль учебника для специалистов, готовящихся овладеть логическими языками программирования и теорией таких языков. Книга Ковальски будет для них верным путеводителем и помощником на этом пути.

Несколько замечаний по поводу терминологии, встречающейся на страницах этой книги. К сожалению, в нашей стране для ряда понятий, связанных с программированием и прикладной логикой, нет однозначного перевода терминов, используемых в англоязычной литературе.

Прежде всего это касается основного для данной книги понятия "clause". На русский язык оно переводится либо как "калька", "клауза", либо как "дизъюнкт". Переводчики предпочли первый перевод. Тут они были не оригинальны. Аналогичное решение было принято при переводе на русский язык известной книги [Карри, 1969]. Поясняя свою позицию, переводчики данной книги мотивировали свое решение тем, что термин "дизъюнкт" плох хотя бы потому, что дизъюнкт не обязательно универсально замкнут. Другие возможные способы перевода термина "clause" ("предложение" или "кюз") были также отвергнуты. Термин "предложение" слишком перегружен другими смыслами (как и термин "утверждение"), а галлицизм "кюз" явно проигрывает по сравнению с привычным для отечественной научной терминологии латинизмом.

Кроме того, в книге везде (за исключением заглавия) известное словосочетание "problem solving" переводится, как "поиск решения", что определяется той спецификой его употребления, которая характерна для данного текста.

Роберт Ковальски проявил большое внимание к переводу своей книги на русский язык и оказал переводчикам неоценимую помощь. Переводчики и редактор книги приносят ему за это свою искреннюю и глубокую благодарность.

В заключение необходимо отметить, что в последние годы на русском языке вышел ряд отечественных и переводных книг, посвященных как математическим, так и чисто программистским аспектам логики в решении проблем. Можно смело считать, что почти все эти работы в той или иной мере развивают идеи, впервые увидевшие свет на страницах настоящей книги. Для удобства читателя ниже приведен не претендующий на полноту перечень таких работ - [Грей, 1989; Кларк, 1987; Кпоксин, 1987; Сборник, 1988; Маслов, 1986; Мейер, 1987; Стерлинг, 1990; Хоггер, 1988; ЭВМ пятого поколения, 1984; Пролог, 1988]

### **Из предисловия автора**

Те десять лет, что истекли с момента, когда англоязычное издание этой книги впервые увидело свет, отмечены значительным прогрессом в теории и практике логических методов поиска решений. Широкую известность и использование получил язык программирования Пролог. Начали развиваться языки параллельного логического программирования и языки логического программирования ограничений целостности. Появились дедуктивные базы данных, которые можно рассматривать как естественные преемники реляционных баз данных. Логиками и специалистами по компьютерной информатике проводились

разнообразные исследования в области логического программирования и интерпретации отрицания как неудачи. Японский научный комитет по ЭВМ пятого поколения в Токио, Европейский центр исследований по компьютерной информатике в Мюнхене и Шведский институт компьютерной информатики в Стокгольме положили логическое программирование в основу своих разработок.

И все же я уверен, что, хотя много событий произошло в мире с тех пор как книга была впервые опубликована, она по-прежнему созвучна нашему времени. То особое значение, которое придавалось логике клауз Хорна в главах 3—5, да и повсюду в книге вполне соотносится с нынешним пониманием важности клауз Хорна как основы и для логического программирования, и, в общем случае, для представления знаний. Описание и сопоставление клаузальной и стандартной форм логики в главах 1, 7, 8 и 10 можно считать подходящей основой для развития логики клауз Хорна как таковой. Процедура доказательства методом графа соединений, описанная, в частности, в главе 8, в последнее время послужила предметом серьезных исследований в Стэнфордском исследовательском институте и в Кайзерслаутерн. И остальные темы, затронутые в книге (среди них использование ситуационного исчисления для задач построения плана в главе 6, глобальные стратегии поиска решений в главе 9, использование метауровневых способов рассуждения в главе 12) продолжают оставаться предметом пристального изучения. Например, метауровневые рассуждения оказались весьма полезным инструментом для построения оболочек экспертных систем.

Если бы мне представился случай написать книгу снова, то я бы придал большее значение тематике трех последних глав. Я ввел бы отрицание по неудаче много раньше главы 11 и показал бы его важность как в логическом программировании, так и в рассуждениях по умолчанию в теории искусственного интеллекта. Я бы обратил большее внимание на изложение тех намеченных в главе 13 вопросов, где логика сочетается с изменчивостью, и в особенности, на важность абдукции для таких разнообразных и разнородных приложений, как диагностика неисправностей, понимание естественного языка и рассуждения по умолчанию. И, наконец, я отвел бы большую роль изложению затронутой в главе 2 теме представления знаний, распространив область исследования и на временные факторы, и на соотношение между логикой, фреймами и объектами и подчеркнул бы важность как процедурного, так и декларативного представления знаний.

Однако гораздо более важным я посчитал бы возможность убедить читателя в том, что последние достижения в области логической технологии могут с успехом использоваться и компьютерами и людьми. Эти достижения, конечно, способны сделать компьютерные языки более мощными и более дружественными по отношению к человеку, но не только. Их могут использовать сами люди для того, чтобы яснее и четче понимать своих соседей по

планете. И, наконец, я надеюсь, что и в своем существующем виде эта книга внесет хотя бы небольшой вклад в достижение этой заманчивой цели.

\*\*\*

Эта книга посвящена исследованию приложений логики к методам поиска решений и к программированию. Она не предполагает никакой предварительной подготовки в этой области, и поэтому ее можно рассматривать как введение в логику, теорию поиска решений и программирование.

### *Логика*

Логика — это важное инструментальное средство, применяемое при анализе методов рассуждений. Логика интересуется прежде всего тем, можно ли вывести заключения из некоторых посылок, не учитывая при этом истинность или ложность этих посылок и заключений как таковых. В нашей книге делается попытка приложить эти традиционные логические методы к теоретическим аспектам таких современных прикладных научных направлений, как поиск решений и программирование.

Если взглянуть на нашу книгу как на введение в логику, то ее главным отличием от остальных руководств является то, что она основана на клаузуальной форме логики. Такое построение книги обеспечивает некоторые преимущества. Клаузуальная форма логики проще, чем стандартная форма, но обладает такой же выразительной силой. Она настолько проста, что ее можно изучать сразу, без обычного предварительного изучения пропозициональной логики; она также имеет большее, чем стандартная форма логики, сходство с формальными методами, которые используются в обработке данных и в программировании.

Книга не затрагивает теоретическую сторону математической логики, а касается лишь ее приложений. За более интересными и полными сведениями о связях между логикой и языками читателю следует обратиться к книгам Квайна и Ходжеса [Quine, 1941], [Hodges, 1977].

### *Поиск решений*

Клаузуальная форма логики годится для выяснения сути моделей поиска решений, появившихся в областях когнитивной психологии и искусственного интеллекта. В настоящей книге рассматриваются модели поиска решений для эвристического поиска, редукции задач и программного исполнения и высказываются доводы в пользу того, что средства логического вывода обеспечивают построение более простых и более выразительных моделей.

Интерпретация логического вывода как метода поиска решений исходит из различия между *восходящими рассуждениями*, проводящимися по направлению от посылок к

заклучениям, и *нисходящими рассуждениями*, проводящимися в обратном направлении, от целей к подцелям. Интерпретация логического вывода как метода поиска решений есть прежде всего нисходящая интерпретация. При восходящем выводе решения считаются уже полученными и обоснованными, в то время как на пути нисходящего вывода решения большей частью порождаются. Восходящий вывод является синтезом новой информации на основе старой; нисходящий же вывод выступает как сведение *анализа* целей к анализу подцелей.

Наша книга описывает основания поиска решений почти так же, как это сделано в книге Нильсона [Nilsson, 1971], Уинстона [Winston, 1977] и Банди [Bundy, 1978]. Но в то время как упомянутые книги используют в качестве общего метода формализации системы продукций, Лисп или Лого, наша книга последовательно применяет клаузальную форму логики.

### *Программирование*

Если взглянуть на использование логики для общения с компьютером, то легко обнаружить, что она является более высокоуровневым и более человекоориентированным формальным средством, чем другие средства, специально созданные для компьютеров. В противовес обычной компьютерной методологии, использующей разные формальные методы для написания программ, выражения спецификаций, построения баз данных и запросных систем, установления ограничений целостности, логика обеспечивает единую форму языка для всех этих задач. Мы коснемся использования логики в базах данных, но сконцентрируем внимание на ее использовании в качестве языка программирования.

Смысл программ, написанных на обычных языках программирования, может быть определен в рамках тех процессов, которые они вызывают в компьютере как в аппарате. Смысл программ, выраженных средствами логики, может быть определен в машинно-независимых, человекоориентированных понятиях. Поэтому-то логические программы проще создавать, проще понимать, проще совершенствовать и проще адаптировать для других целей.

Те же самые методы нисходящего вывода, благодаря которым логика приобретает интерпретацию поиска решений, можно использовать для эффективного исполнения программы на компьютере. Нисходящий вывод согласует поиск решений и программирование. Вдобавок он обеспечивает такие возможности для исполнения интеллектуальных программ как недетерминизм, параллелизм, вызов процедур по образцам, которые еще недостаточно развиты в обычных языках программирования. В качестве эффективного языка программирования, применяющегося в приложениях искусственного интеллекта, базах данных и проектировании, можно указать базирующийся на клаузальной

форме логики язык Пролог [Colmerauer, 1972], [Roussel, 1975], [Bruynooghe, 1976], [Warren, 1977], [Clark, 1979].

#### *Автоматическое доказательство теорем*

Использование клаузуальной формы логики и связанных с ней систем вывода основывается на достижениях в автоматическом доказательстве теорем при помощи компьютеров. Главными предтечами систем вывода, представленных в этой книге, явились правило резолюции Робинсона [Robinson, 1965a] и процедура доказательства методом исключения Лавлэнда [Loveland, 1968; 1969], которые, в свою очередь, базируются на более ранних исследованиях Эрбрана [Herbrand, 1930] и Правица [Prawitz, 1960].

Хотя методы вывода в этой книге строятся в предположении их последующего использования на компьютере, нет никаких препятствий в использовании их людьми. Ведь стратегии поиска решений, развитые для реализации эффективных методов автоматического доказательства теорем, похожи на стратегии, вызванные к жизни исследованиями по компьютерному моделированию процессов поиска решений человеком. В частности, мы попытались представить такую точку зрения на логику, которая согласовывала бы машинно-ориентированную сторону метода резолюций с эвристическими процедурами доказательства Бледшоу и его коллег [Bledsoe, 1979].

Эта книга может рассматриваться и как пособие по автоматическому доказательству теорем в ряду таких книг, как работы Ченя и Ли [Chang, 1973], Лавлэнда [Loveland, 1978] и Робинсона [Robinson, 1979]. Однако наша книга менее формализована и в ней не предпринимаются попытки широкого охвата все адекватной области знания.

#### *Структура книги*

Книга может быть условно разбита на три части. Первая часть, включающая главы 1 и 2, посвящена машинно-независимой семантике клаузуальной формы логики и использованию клаузуальной формы для представления информации; вторая часть, включающая главы 3-8, содержит сведения о системах вывода для клаузуальной формы логики; третья часть, включающая главы 9—13, предлагает расширения клаузуальной формы и некоторые более сильные методы поиска решений.

В первой части книги подчеркивается, что логику, в отличие от большинства других формализмов, можно понимать, не вдаваясь в конкретные подробности. Приводятся примеры использования логики при описании программ и баз данных, а клаузуальная форма соотносится с семантическими сетями в аспекте представления смысла предложений естественного языка.

Во второй части книги в порядке возрастания сложности излагаются методы вывода для клаузуальной формы. В частности, главы 3—6 описывают методы вывода для клауз

Хорна, которые представляют собой упрощенный вид предложений и имеют вид А, если  $B_1$  и  $B_2$  и. и  $B_m$ .

В главе 3 рассмотрены нисходящий и восходящий выводы, являющиеся обобщениями нисходящих и восходящих процедур синтаксического разбора для контекстно-свободных грамматик. Глава 4 интерпретирует нисходящий вывод как поиск решений, а глава 5 связана с его программной интерпретацией. Глава 6 описывает приложение логики клауз Хорна к проблемам построения планов. Методы вывода в языке нехорновских клауз и их интерпретация поиском решений составляют содержание глав 7 и 8.

Глава 9 содержит описание глобальных методов поиска решений для клаузальной формы логики, а остальные главы затрагивают уже различные расширения клаузальной формы. Стандартная форма логики и ее связь с клаузальной логикой - предмет главы 10. Определения вида если-и-только-если посвящена глава 11. В главе 12 мы рассматриваем расширение логики, которое сочетает в себе использование и смысл предложений подобно тому, как это делается в естественном языке. Последняя глава посвящена динамике изменения информационных систем; в ней обращено особое внимание на роль противоречия в задании направленности изменения. В этом просматривается сочетание интерпретации логики как метода поиска решений с классическим ее использованием в анализе фактов и системы человеческих знаний.

#### *О читательском назначении книги*

Эта книга представляет собой расширенное изложение конспекта, подготовленного в марте 1974 г. [Kowalski, 1974] для лекций по основам компьютерной информатики, прочитанных в Математическом центре в Амстердаме. Краткие курсы лекций на основе этого же материала были прочитаны автором в Эдинбурге, Милане, Риме и Стокгольме в период между 1973 и 1975 гг. С 1975 г. части этой книги использовались для вводных курсов по логике и поиску решений, прочитанных студентам Имперского Колледжа. Полный курс лекций, охватывающий весь материал книги, был прочитан в Университете Сиракуз в 1978 г.

Книга написана на неформальном уровне и почти не содержит доказательств. Она не предполагает никакой предварительной подготовки по математической логике, методам поиска решений или компьютерной информатике и поэтому доступна студентам первого курса. Правда, некоторые упражнения рассчитаны на более подготовленного читателя. Кроме того, отдельные моменты в главе 5, связанные со сравнением логики и обычных языков программирования, могут оказаться непонятными читателям, неискушенным в программировании.

**Кузин, 1989**

*Кузин Е.С., Ройтман А.И., Фоминых И.Б., Хахалин Г.К.* Интеллектуализация ЭВМ / Перспективы развития вычислительной техники: Справ. Пособие. В 11 кн. Кн. 2. Под ред. Ю. М. Смирнова. -М.: Высш. шк" 1989. — 159 с.: ил. Библиогр. 24 назв.

**Аннотация.**

В пособии рассматриваются основные направления создания средств интеллектуализации ЭВМ, характерные для вычислительных машин пятого поколения. Описываются средства представления и хранения знаний в ЭВМ, средства автоматического и автоматизированного решения задач, средства общения пользователя и вычислительной системы, обеспечивающие естественные для человека способы представления сообщений, экспертные системы.

**Оглавление.**

1. **НОВАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ.** Необходимость новой технологии решения задач на ЭВМ. Основные идеи новой технологии решения задач на ЭВМ. Место интеллектуального интерфейса в вычислительной системе. Организация вычислительного процесса в новой технологии. Структура вычислительной системы. Вопросы для самопроверки

2. **БАЗА ЗНАНИЙ.** Общие сведения. Представление знаний в базах данных. Представление знаний в искусственном интеллекте. Соотношение методов представления знаний в базах данных и искусственном интеллекте. Вопросы для самопроверки.

3. **АВТОМАТИЗАЦИЯ РЕШЕНИЯ ПЛОХО ФОРМАЛИЗУЕМЫХ ЗАДАЧ НА ЭВМ: НЕПРОЦЕДУРНЫЕ ПОДХОДЫ.** Логическое программирование. Концептуальное программирование. ДСМ-метод. Метод программируемых доказательств. Интегральный подход к решению задачи. Вопросы для самопроверки.

4. **ОБЩЕНИЕ С ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ.** Структура системы общения. Анализ текстов на естественном языке. Синтез фраз естественного языка. Методы лингвистической трансляции. Вопросы для самопроверки

5. **ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ.** Структура экспертной системы и основные понятия. База знаний и логический вывод в экспертных системах. Объяснение в экспертных системах. Приобретение знаний. Инструментальные средства для построения экспертных систем. Экспертные системы нового поколения. Вопросы для самопроверки.

**Из введения**

Возникновение проблемы интеллектуализации вычислительных машин обусловлено, с одной стороны, развитием исследований по направлению "искусственный интеллект" (ИИ),

с другой — быстрым развитием вычислительной техники и постоянно возрастающими потребностями ее разнообразных применений.

Начало исследований в области искусственного интеллекта (конец 50-х годов) связывают с работами Ньюэлла, Саймона и Шоу, исследовавших процессы решения различных задач. Результатами их работ явились такие программы, как ЛОГИК-ТЕОРЕТИК, предназначенная для доказательства теорем в исчислении высказываний, и ОБЩИЙ РЕШАТЕЛЬ ЗАДАЧ. Эти работы положили начало первому этапу исследований в области искусственного интеллекта, связанному с разработкой программ, решающих задачи на основе применения разнообразных эвристических методов.

Эвристический метод решения задачи при этом рассматривался как свойственный человеческому мышлению "вообще", для которого характерно возникновение "догадок" о пути решения задачи с последующей проверкой их. Ему противопоставлялся используемый в ЭВМ алгоритмический метод, который интерпретировался как механическое осуществление заданной последовательности шагов, детерминировано приводящей к правильному ответу. Трактовка эвристических методов решения задач как сугубо человеческой деятельности и обусловила появление и дальнейшее распространение термина искусственный интеллект.

Так, при описании своих программ Ньюэлл и Саймон приводили в качестве доводов, подтверждающих, что их программы моделируют человеческое мышление, результаты сравнения записей доказательств теорем в виде программ с записями рассуждения "думающего вслух" человека. В начале 70-х годов они опубликовали много данных подобного рода и предложили общую методику составления программ, моделирующих мышление.

Примерно в то время, когда работы Ньюэлла и Саймона стали привлекать к себе внимание, в Массачусетском технологическом институте, Стэндфордском университете и Стэндфордском исследовательском институте также сформировались исследовательские группы в области ИИ. В противоположность ранним работам Ньюэлла и Саймона эти исследования больше относились к формальным математическим представлениям. Способы решения задач в этих исследованиях развивались на основе расширения математической и символической логики. Моделированию же человеческого мышления придавалось второстепенное значение. К исследователям этого направления можно отнести таких известных в области ИИ ученых, как Минский, Мак-Карти, Слейгл, Рафаэль, Бобров, Бенерджи и др.

На дальнейшие исследования в области ИИ большое влияние оказало появление метода резолюции, предложенного Робинсоном, основанного на доказательстве теорем в

логике предикатов и являющегося, по крайней мере теоретически, исчерпывающим методом доказательства (хотя использование этого метода для решения реальных задач связано с большими, иногда практически непреодолимыми трудностями).

Методологическое значение работ Робинсона и других аналогичных работ заключалось в том, что основное внимание в исследованиях по ИИ переместилось с разработки методов воспроизведения в ЭВМ человеческого мышления на разработку машинно-ориентированных методов решения задач.

При этом определение термина "искусственный интеллект" претерпело существенное изменение. Целью исследований, проводимых в направлении ИИ, стало не моделирование способов мышления человека, а разработка программ, способных решать "человеческие задачи". Так, один из видных исследователей ИИ того времени Р.Бенерджи в 1969 г. писал: "Область исследований, обычно называемую искусственным интеллектом, вероятно, можно представить как совокупность методов и средств анализа и конструирования машин, способных выполнять задания, с которыми до недавнего времени мог справиться только человек. При этом по скорости и эффективности машины должны быть сравнимы с человеком".

Функциональный подход к направленности исследований по искусственному интеллекту сохранился в основном до настоящего времени, хотя еще и сейчас ряд ученых, особенно психологов, пытаются оценивать результаты работ по ИИ с позиций их соответствия человеческому мышлению.

Исследовательским полигоном для развития методов ИИ на первом этапе являлись всевозможные игры, головоломки, математические задачи. Некоторые из этих задач стали классическими в литературе по искусственному интеллекту (задача об обезьяне и бананах, миссионерах и людоедах, Ханойской башне, игра в 15 и др.).

Выбор таких задач для исследований обуславливался простотой и ясностью проблемной среды (среды, в которой разворачивается решение задачи), ее относительно малой громоздкостью, возможностью достаточно легкого подбора и даже искусственного конструирования "под метод". В то же время такие среды подходили для моделирования достаточно сложных процессов решения и исследования всевозможных стратегий решения с относительно небольшими затратами как человеческих, так и машинных ресурсов.

Основной расцвет такого рода исследований приходится на конец 60-х годов, после чего стали делаться первые попытки применения разработанных методов для задач, решаемых не в искусственных, а в реальных проблемных средах. Однако такие попытки натолкнулись на большие трудности, обусловленные главным образом необходимостью моделирования внешнего мира. Эти трудности были связаны с проблемами описания знаний

о внешнем мире, организации их хранения и достаточно эффективного поиска, введения в память ЭВМ новых знаний и устранения устаревших (в том числе автоматического их извлечения из среды), проверки полноты и непротиворечивости знаний и т. п. Указанные проблемы еще и сегодня далеки от полного решения, однако уже в то время становилось все более понятным, что именно их решение является ключом к созданию эффективных систем искусственного интеллекта.

Необходимость исследования систем искусственного интеллекта при их функционировании в реальном мире привела к постановке задачи создания интегральных роботов. При разработке проектов таких роботов использование термина "искусственный интеллект" стало звучать более обоснованно, так как в них решались не отдельные задачи ИИ, а исследовался и реализовывался необходимый спектр "интеллектуальных" функций, таких, как организация целенаправленного поведения, восприятие информации о внешней среде, формирование действий, обучение, общение с человеком и другими роботами.

Для формирования целенаправленного поведения, т. е. формирования программы решения некоторой внешней по отношению к роботу задачи, интегральный робот должен обладать необходимым комплексом знаний о реальном мире, в котором он функционирует, значительно превосходящем знания, отображаемые в собственно программе функционирования. Эти знания должны быть заложены в робот в виде модели внешнего мира или, точнее, модели проблемной среды, т. е. той части внешнего мира, которая существенна для решения задач, стоящих перед роботом. Модель проблемной среды интегрального робота — это совокупность взаимосвязанных сведений, необходимых и достаточных для решения соответствующего класса задач, в том числе и сведений о возможных способах воздействия на среду и изменениях, которые они вызывают в ней. В систему знаний робота должны быть заложены алгоритмы, позволяющие воспроизводить "мысленные" преобразования среды и строить на этой основе план решения очередной задачи, а также алгоритмы, обеспечивающие выполнение данного плана и контрольное сравнение ожидаемых и действительных результатов запланированных действий. Проведение работ, связанных с созданием интегральных роботов, можно считать вторым этапом исследований по искусственному интеллекту.

В Стэнфордском университете, Стэнфордском исследовательском институте и некоторых других местах были разработаны экспериментальные роботы, функционирующие в лабораторных условиях. Проведение этих экспериментов показало необходимость решения кардинальных вопросов, связанных с проблемой представления знаний о среде функционирования, и одновременно недостаточную исследованность таких проблем, как зрительное восприятие, построение сложных планов поведения в динамических средах,

общение с роботами на естественном языке. Эти проблемы были более или менее ясно сформулированы и поставлены перед исследователями в середине 70-х годов, связанных с началом третьего этапа исследований систем ИИ. Его характерной чертой явилось смещение центра внимания исследователей с создания автономно функционирующих систем, самостоятельно (или в условиях ограниченного общения с человеком) решающих в реальной среде поставленные перед ними задачи, к созданию человеко-машинных систем, интегрирующих в единое целое интеллект человека и способности вычислительных машин для достижения общей цели — решения задачи, поставленной перед интегральной человеко-машинной решающей системой.

Такое смещение обуславливалось двумя причинами:

1) к этому времени выяснилось, что даже простые на первый взгляд задачи, возникающие перед интегральным роботом при его функционировании в реальном мире (например, движение по пересеченной местности, распознавание объектов на сложном фоне с естественным освещением, организация сложного поведения и т. п.), не могут быть решены методами, разработанными для экспериментальных задач в специально сформированных проблемных средах;

2) стало ясно, что сочетание дополняющих друг друга возможностей человека и ЭВМ позволяет "обойти острые углы" путем переключивания на человека тех функций, которые пока еще недоступны для ЭВМ. Вычислительная машина, со своей стороны, способна обрабатывать большие объемы информации с использованием регулярных методов, многократно просматривать различные пути решения, предлагаемые человеком, предоставлять ему всевозможную справочную информацию.

На первый план выдвигалась не разработка отдельных методов машинного решения задач, а разработка методов и средств, обеспечивающих тесное взаимодействие человека и вычислительной системы в течение всего процесса решения задачи с возможностью оперативного внесения человеком изменений в ходе этого процесса.

Развитие исследований по ИИ в данном направлении обуславливалось также резким ростом производства средств вычислительной техники и таким же резким их удешевлением, делающим их потенциально доступными для более широких кругов пользователей. Однако эта доступность для большинства реальных пользователей так и оставалась "потенциальной", поскольку требовала для реализации овладения большими объемами специальных знаний по использованию ЭВМ.

Все это, вместе взятое, и привело к тому, что в настоящее время под интеллектуализацией ЭВМ понимается в основном развитие возможностей вычислительных машин в направлении обеспечения совместного с пользователем решения задач, упрощения

процесса общения человека и ЭВМ в ходе решения, постоянного расширения доли машины в совместной с человеком деятельности по решению задачи. При этом значительное внимание уделяется также и повышению способности вычислительной машины к самостоятельному (в автоматическом режиме) решению трудноформализуемых задач.

Именно так понимается проблема интеллектуализации ЭВМ и в данной работе.

### **Левитин, 1991**

Будущее искусственного интеллекта. Ред. и сост. К.Е. Левитин, Д.А. Поспелов — М.: Наука, 1991. — 302 с.

#### **Аннотация.**

Книга представляет собой сборник статей и высказываний отечественных и зарубежных ученых, в которых рассматриваются искусственный интеллект в разных аспектах и перспективы развития этой важной области информатики.

Для широкой аудитории читателей, интересующихся вычислительной техникой, информатикой, проблемами компьютеризации.

#### **Содержание.**

##### ЧАСТЬ I

Что такое искусственный интеллект? Является ли искусственный интеллект наукой? Как развивалась наука об искусственном интеллекте. «Детство» искусственного интеллекта. На пути к созданию теории. Искусственный интеллект становится производительной силой. Структура искусственного интеллекта, как ее видят специалисты Смена парадигм. От вывода к обоснованию. Ближайшие задачи компьютерной логики. От обоснования к оправданию. Можно ли понимать тексты? Ближайшие задачи компьютерной лингвистики. Когнитивная графика — новое окно в мир. Ближайшие задачи иконики. Можно ли вербализовать невербализованное? Как же будут развиваться системы искусственного интеллекта. Социальные последствия интеллектуализации.

##### ЧАСТЬ II

*Финн В. К.* Интеллектуальные системы: проблемы их развития и социальные последствия.

*Загряжский Б. А.* «Мнимая величина».

*Зинченко В. П.* Искусственный интеллект и парадоксы психологии.

*Тихомиров О. К.* Искусственный интеллект: взгляд психолога.

*Ботвинник М. М.* Может ли искусственный интеллект быть умнее своего создателя?.

*Звягинцев В. А.* Искусственный интеллект и вторая компьютерная революция.

*Лавров С. С.* Интеллект искусственный и естественный.

«Пожизненный партнер» (беседа с академиком А. П. Ершовым).

Кузин Л. Т. Третья по счету индустрия.

«Десять лет спустя» (Интервью с Д. Мичи).

### **Лорьер, 1991**

*Лорьер Ж.-Л.* Системы искусственного интеллекта: пер. с англ. Евграфова С. М., Девишев Р. И., Дихтяр В. И., канд. физ.-мат. наук Чигирь С. Д. Под ред. В. Л. Стефанюка М.: Мир, 1991-568 с., ил.

#### **Аннотация.**

Книга известного французского специалиста посвящена вопросам проектирования и применения систем искусственного интеллекта, при построении которых используются такие современные инструментальные средства, как языки Лисп, Пролог и оболочки экспертных систем. В качестве применения рассмотрена область принятия решений.

Для специалистов в области искусственного интеллекта и студентов старших курсов соответствующих специальностей вузов.

#### **Оглавление.**

1. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ. Информатика и искусственный интеллект. Искусственный интеллект как наука. Области применения искусственного интеллекта. Историческая справка. Заключение.

2. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗАДАЧИ. Введение. Естественный язык. Постановка задачи. Задачи в замкнутой форме. Общий подход к решению задачи. Пример полного решения задачи. Что нужно сделать, чтобы решить задачу? Из истории развития и преподавания математики. Представления. Использование графических моделей в области искусственного интеллекта. Изменение представлений. Язык Лисп. Графы.

3. ФОРМАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ. Введение. Определение формальной системы. Разрешимость и интерпретация формальных систем. Исчисление высказываний. Исчисление предикатов первого порядка. Теоремы ограничения в формальных системах. Алгоритм унификации. Примеры использования унификации. Программа Ж.Питра для исчисления высказываний.

4. КЛАССИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ. Примеры хороших алгоритмов. Список хорошо решаемых задач (полиномиальные алгоритмы). Классификация задач по степени сложности. Класс NP: недетерминированные полиномиальные задачи. Список задач класса NP. Изучение задач типа NP с помощью классов эквивалентностей. Основная теорема. Класс NP -полных задач. Несколько доказательств эквивалентности задач.

5. МЕТОДЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ И ПЕРЕБОРА. Решение задач с помощью перебора. Градиентные методы. Линейное программирование. Градиентные методы в теории графов. Эвристический поиск. Алгоритм A\*. Неявный перебор с распространением ограничений. Динамическое программирование. Оптимальная раскраска вершин на графе. Алгоритм оптимальной раскраски графа. Задача о коммивояжере. Универсальная программа решения задач.

6. ИГРОВЫЕ ПРОГРАММЫ. Психологические аспекты. Дерево допустимых ходов. Оценивание позиций. Метод минимакса и выбор очередного хода. Альфа-бета — процедура. Основные недостатки игровых программ, основанных на анализе дерева доходов. Психологические аспекты принятия решений. Исследование психологии шахматистов. ROBIN — интеллектуальная программа для игры в шахматы.

7. ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ. Примеры диалогов в экспертной системе. Функционирование системы MYCIN — TEIRESIAS. Продукционные системы. Экспертные системы, основанные на логике предикатов первого порядка. Сравнение декларативного и процедурного подходов. Различные типы знаний и их представления. Метазнание. Заключение. Конкретный пример машины вывода экспертной системы.

8. ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ALICE. Общее описание системы. Язык системы ALICE. Модуль решения задачи. Результаты. Работа системы ALICE. Подробные примеры решения. Задачи, решенные с помощью системы ALICE. Эффективность системы и общие замечания. Ввод условий задач на французском языке.

9. УСВОЕНИЕ ЗНАНИЙ. Различные типы обучения. Обучение игре в шашки. Обучение робота полезным действиям. Система STRIPS. Усвоение правил игры. Обучение планам. Учет характеристик. Усвоение понятий.

### **Предисловие редактора перевода В. Л. Стефанюка**

В наше время интенсивной интернационализации науки, когда идентичные по уровню и подходам исследования проводятся и в США, и в СССР, и в Японии, тем не менее, может быть, стоит обратить внимание на то, что говорят о японском проекте компьютеров пятого поколения, об английской реакции на японский вызов, о европейской или американской школе искусственного интеллекта. Оказывается, кроме сил, объединяющих мировую науку (особенно такую, как искусственный интеллект) и обусловленных применением однотипной вычислительной техники, стандартных языков программирования, а в последнее время и созданием международных научных проектов типа ЕСПРИТ, большую роль играют "национальные" научные традиции, придающие своеобразие исследованиям, проводимым в разных странах.

Известный французский ученый Жан-Клод **Симон** (кстати, в его лаборатории информатики в Университете Париж-VI начинал научную- деятельность автор данной книги Жан-Луи Лорьер) объяснил однажды, почему он очень любит научные командировки в СССР: "В Америке, посетив одну из лабораторий, можно считать, что ты побывал везде, так как все американские лаборатории искусственного интеллекта делают одно и то же. Другое дело в Москве: здесь что ни человек, то своя проблема, свой подход..."

Здесь не место вникать в вопросы, что лучше — концентрация усилий или широта охвата проблемы и какова истинная причина такого положения вещей. Важно то, что можно твердо говорить о "европейском" искусственном интеллекте, в котором в свою очередь отчетливо выделяются итальянская, французская, английская и другие школы.

Одна из отличительных черт европейской научной школы состоит в потребности поставить любую дисциплину на прочную научную основу, что, несомненно, нашло отражение в предлагаемой советскому читателю книге. В США — родине искусственного интеллекта — многие считают, что искусственный интеллект — это совершенно новое направление, и, чтобы им эффективно заниматься, нужно отказаться от таких наук, как кибернетика или распознавание образов, и начать все с самого начала. Известный математик и кибернетик Марвин Минский из лаборатории искусственного интеллекта Массачусетского технологического института считает, что даже математика как универсальный язык бесполезна в искусственном интеллекте. Языком искусственного интеллекта должен стать язык интеллектуальных программ.

Европейская школа не придерживается столь радикальных взглядов и предполагает, что научные достижения накапливаются постепенно и смена парадигм в науке отнюдь не перечеркивает прошлого, а дает лишь новый, свежий взгляд. Данная книга отличается от большинства (американских) работ по искусственному интеллекту европейской основательностью, сдержанностью и деловитостью. Возможно, одной из причин этого является то, что сам автор — увлеченный программист, вдумчивый ученый, не склонный, как многие его заокеанские коллеги, к чрезмерному оптимизму. Он сторонник кропотливого накопления результатов с постоянной привязкой их к фундаментальным разделам науки. Эта книга будет импонировать советским читателям, обычно склонным к критическому осмыслению достижений и трудностей.

Заканчивая это небольшое введение к книге, хочется отметить следующее: статистика говорит о том, что интерес к искусственному интеллекту несколько не ослабевает. На последней Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту, состоявшейся в августе 1989 г. в Детройте (США), присутствовало 6500 участников (!). Хочется верить, что данная книга будет способствовать пополнению армии

специалистов по искусственному интеллекту и нашими учеными, которые пока что не слишком активно участвуют и в международных, и в европейских объединенных конференциях по искусственному интеллекту (следующая конференция будет проходить в 1990 г. в Швеции).

### **Предисловие автора**

Основания для появления этой книги возникли еще в то время, когда я учился в лицее. Как и все остальные ученики, я жадно впитывал знания по физике и математике, постоянно спрашивая себя: а для чего все это может пригодиться? Что касается физики, то ее отношение к реальной жизни представляется очевидным, но мы тогда не могли в это поверить, настолько все было таинственным. К тому же каждый год новый преподаватель объяснял нам, что все, что мы изучали в прошлом году, было неверным... Физика представала перед нами как причудливая игра, в которую играют взрослые. С математикой же все было по-другому. В ней нас вдохновляла красота абстракции, мы получали удовольствие от поиска красивых доказательств. Однако ко всему этому часто примешивалось ощущение, что нас обманывают. Нам все время преподносили определения и доказательства как настоящую реальность, но причины явлений никогда не объяснялись. Казалось, что большую часть доказательств преподаватели получают с помощью магических манипуляций с кусочком мела у доски. Как можно было связать воедино все эти линии и не выпустить из поля зрения ни одну из них от самого начала доказательства до его чудесного конца? И над всем этим: "А для чего все это надо?"

Ответ на этот вопрос пришел позже, через несколько лет "активной" жизни. На самом деле все это ни для чего не было надо, потому что предметы, которые мы изучали, вносились в школьные программы произвольно. По правде говоря, они служили лишь поводом для перехода к более серьезным вещам, таким, как учиться понимать, учиться решать задачи, учиться познавать. Но любопытно, что эти "вещи" не признаются и почти не преподаются. Можно сказать, что существует определенный вид интеллектуального терроризма, когда некоторых учеников называют "нуль в математике", хотя их единственная вина состоит в том, что они не понимают то, о чем... никогда не говорится. Некоторым удается этого избежать, потому что они раньше сумели познакомиться с неявными правилами этой игры. Есть и такие, кто учит все наизусть...

Но в настоящее время существует область исследований, в которой первым желанием исследователей является стремление понять, как система обработки информации — будь то человек или машина — способна воспринимать, анализировать, передавать и обобщать то, чему ее обучают, и с помощью этих данных исследовать конкретные ситуации и находить решения задач. Данная область исследований — искусственный интеллект,

старший сын информатики. Его предметом изучения является любая интеллектуальная деятельность человека, подчиняющаяся заранее неизвестным законам. Его можно также определить как "все то, что еще не сделано в информатике".

Если предметом информатики является обработка информации, то к области искусственного интеллекта относятся такие случаи этой обработки, которые не могут быть выполнены с помощью простых, точных алгоритмических методов и которых великое множество. К ним относятся даже такие банальные ситуации, как чтение текста с листа, находящегося перед вами. Один и тот же символ, например вертикальная черточка, может восприниматься визуальной системой в зависимости от контекста либо как I, либо как i, либо как знак абсолютной величины. В случае когда текст написан от руки, ситуация еще хуже. Как может выйти из этого затруднения наша распознающая система? Вот одна из главных проблем, изучаемая в искусственном интеллекте. К области этой науки относятся также идентификация изображения человека (являющаяся более трудной задачей, чем просто идентификация букв), понимание текста (а не отдельных букв), распознавание речи, доказательство теорем, решения задач, поиск хода в шахматах, составление расписаний, подготовка ответов на ежедневный интеллектуальный тест, разработка планов в архитектуре, постановка медицинского диагноза, анализ журнальной статьи. В последнее время во всех этих областях достигнуты впечатляющие успехи.

### **Минский, 1979**

*Минский М.* Фреймы для представления знаний: Пер. с англ. О.Н.Гринбаума под ред. Ф.М.Кулакова. — М.: Энергия, 1979.-152 с., с ил. Библиогр. 65 назв.

#### **Аннотация.**

В книге описывается новый подход к решению проблемы представления знаний в системах искусственного интеллекта. В основе его лежит система фреймов — особых структур данных для понятийного представления стереотипных ситуаций в рамках общего контекста знаний о мире. С этих позиций дается описание механизмов человеческого мышления, распознавания образов, восприятия зрительной и слуховой информации, а также проблемы лингвистика, обучения и методы решения задач Автор книги — известный американский ученый, специалист по искусственному интеллекту.

Книга предназначена для широкого круга научных и инженерно-технических работников, интересующихся созданием искусственного интеллекта. Она может служить хорошим пособием для студентов, специализирующихся в этой области.

#### **Оглавление.**

Предисловие к русскому изданию

1. ФРЕЙМЫ. Локальная и общая теории зрительного восприятия. Параллелизм. Искусственный интеллект и процессы решения задач человеком. Отслеживание образа куба. Носит ли зрительное восприятие символьную форму? Видение комнаты. Анализ сцен и субфреймы. Перспективы и перемена точек наблюдений. Заслонения. Образы и системы фреймов. Априорное означивание. Системы фреймов и конкретные мыслительные операции  
Пиаже

2. ЯЗЫК, ПОНИМАНИЕ И СЦЕНАРИИ. Слова, предложения и смысл. Рассуждение. Смысловая структура рассуждений. Перевод. Активная и пассивная формы интеллектуальной деятельности. Сценарии. Более сложные сценарии. Вопросы, системы и концептуальные случаи.

3. ОБУЧЕНИЕ, ПАМЯТЬ И ПАРАДИГМЫ. Требования к памяти. Сопоставление образцов. Оправдание. Суждения и сети подобия. Группы, классы и географические аналогии. Аналогии и альтернативные описания. Резюме. Использование фреймов в эвристическом поиске. Фреймы в качестве парадигм.

4. УПРАВЛЕНИЕ. Централизация управления. Фреймы и процесс согласования.

5. ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОБРАЗЫ. Местоположение и ориентация. Глобальная система пространственных фреймов. Совершенствование системы. Эволюция. Вопросы измерений и количественных оценок.

ПРИЛОЖЕНИЕ. Критика логистического подхода.

ПРИЛОЖЕНИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ (Ф.М.Кулаков)

Суть проблемы представления знаний. Характерные особенности фрейм-подхода к проблеме представления знаний: а) Фрейм — визуальный образ; б) Фрейм — сценарий. Способ формализации фреймов: а) Примеры формализованного представления фреймов — сценариев. б) Механизмы "приспособления" фрейма к реальной ситуации.

### **Из предисловия к русскому изданию Г.С.Поспелова.**

Развитие информационно-поисковых систем высокого уровня, диалоговых систем, базирующихся на естественном языке, интерактивных человеко-машинных систем, предназначенных для совместного решения задач управления, проектирования, научных исследований и т.п., т.е. развитие так называемых интеллектуальных систем, а также роботов выдвинуло на первый план задачу представления знаний в подобных системах. Необходимо подчеркнуть, что проблема представления знаний является принципиально новой, не встречавшейся ранее при создании различных автоматических и автоматизированных систем переработки информации и управления. В относительно небольшом объеме памяти интеллектуальные системы должны хранить большое число данных о мире задач, решаемых системой в процессе ее функционирования. Решение этой проблемы возможно лишь при

специальной организации баз данных, одним из видов которой является фреймовая организация.

М.Минский, книгу которого предваряет это предисловие, является создателем теории фреймов. Он рассматривает два вида фреймов, которые сейчас принято называть статическими (или просто фреймами) и динамическими (сценариями). Фрейм любого вида — это та минимально необходимая структурированная информация, которая однозначно определяет данный класс объектов. Наличие фрейма позволяет относить объект к тому классу, который им определяется. Простейшими примерами фреймов могут служить характеристические функции множеств в обычной математике. Однако в интеллектуальных системах в подавляющем большинстве случаев приходится иметь дело не с числовой, а с символьной информацией (например, текстами на естественном языке или зрительными изображениями). Для информации подобной природы определение фреймов представляет собой нелегкую проблему. В книге М.Минского описаны некоторые подходы, использование которых многообещающе.

### **Моисеев, 1987**

*Моисеев Н. Н.* Алгоритмы развития. — М.:Наука, 1987. — 304 с.— (Серия «Академические чтения»).

#### **Аннотация.**

На основе идей В.И.Вернадского дается развернутое изложение мирового эволюционного процесса. Автор стремится показать общность процессов, протекающих в неживой материи, в биоте и обществе. Значительное место в книге занимает проблема места информатики и вычислительной техники в реализации принципа коэволюции биосферы и общества. Анализируются экологические кризисы, возможные последствия ядерной войны.

#### **Оглавление.**

1.ЕДИНСТВО ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ. 1. Дарвиновская триада. 2. О механизмах развития. 3. Структура организации и обратные связи. 4. Об одной интерпретации процессов развития. 5. О принципах минимума диссипации.

2. ПАМЯТЬ. ЕЕ ГЕНЕЗИС В ПРЕДДВЕРИИ ИНТЕЛЛЕКТА. 1. Возникновение генетической памяти и обратных связей. 2. Рефлексное управление и нервная система. 3. Механизмы кооперации. 4. Негенетические формы памяти.

3. СТАНОВЛЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТА. 1. Что мы будем называть интеллектом?. 2. Небольшой экскурс в историю антропогенеза. 3. Появление еще одной формы памяти. 4. Заключительная фаза антропогенеза.

4. О ЕСТЕСТВЕННОМ И ИСКУССТВЕННОМ. 1. Искусственное как закономерное продолжение естественного. 2. О парадоксах "искусственного".

5. НА ПУТИ К ИСКУССТВЕННОМУ ИНТЕЛЛЕКТУ. 1. О понятиях "информация" и "память". 2. Изменение роли и места информации в ходе развития живой природы и общества. 3. Наука как форма накопления, хранения и переработки информации. 4. Об информационном кризисе и компьютерах. 5. О термине "искусственный интеллект". 6. Имитационные системы и искусственный интеллект. 7. Вычислительные системы и имитация Разума.

6. СОВРЕМЕННАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ПРОБЛЕМЫ НООСФЕРЫ. 1. Глобалистика и ее первые шаги. 2. Эксперименты с "минимальной моделью". 3. Изучение климатических последствий ядерной войны.

7. СОВРЕМЕННЫЙ ЭТАП ЭВОЛЮЦИИ. СИСТЕМА ГЕЯ. 1. Коэволюция и ноосфера. 2. Учение В.И.Вернадского и идеи русского космизма. 3. Телематика и просветительство. 4. Еще раз о компромиссах.

ПРИЛОЖЕНИЯ. 1. В.И.Вернадский и этапы естественнонаучной мысли. 2. О турбулентном хаосе, проблемах познания и управления.

ПРИМЕЧАНИЯ.

#### **Из предисловия автора**

Изучение биосферы и общества как единой системы, которая включает верхний слой суши, гидросферу (прежде всего океан), атмосферу, биоту и, конечно, человека с его общественными структурами, попытка описать динамику этой системы с помощью математических моделей неизбежно ставят множество вопросов методологического и общеметодического характера. Центральным среди них оказывается вопрос о возможности создания синтетического языка, позволяющего единым образом представить развитие системы от неживого состояния к зарождению жизни, ее эволюции вплоть до появления человека и развития общества. Этот язык должен допускать постепенное расширение, т.е. включение новых понятий по мере перехода к объектам все более и более сложной природы и организации.

Вопрос о языке возник еще на грани 60-х и 70-х годов, когда в Вычислительном центре АН СССР мы начали обсуждать возможность создания системы моделей, имитирующих динамические процессы, протекающие в биосфере, и искать пути для описания кооперативного поведения общества, рассматриваемого как противоречивое единство разнообразных социальных организмов. Вопрос о языке имел сначала чисто прикладное, даже служебное значение. Однако постепенно он перерос в самостоятельную проблему, и для этого было достаточно оснований. Логика работы постепенно привела к

пониманию того, что создание единого языка, синтетического представления единого процесса развития является, по сути дела, разработкой определенной картины мира, без которой вряд ли возможно предложить обоснованную стратегию глобальных исследований, т. е. изучения природы и общества как единого целого. Такая картина должна отвечать существующему экспериментальному материалу. Она будет, конечно, достаточно условной, и тем не менее в ней должна быть отражена определенная концепция развития материи, ее самодвижения или, лучше сказать, самоорганизации. Мне казалось, что подобная работа может представлять известный интерес и с позиции философии, поскольку она демонстрирует материальное единство мира и диалектику его развития.

Основная трудность, с которой пришлось столкнуться, состояла в том, что различные формы движения и уровни организации материи — неживая, или «косная» материя, жизнь и общество — были разобщенными предметами интересов разных специалистов — физиков, биологов и обществоведов. У каждого из них сложились свои традиции, свой стиль мышления и свой язык. Необходимость преодоления этой трудности и разработка эскиза мирового процесса развития диктовались самой логикой исследований взаимоотношения природы и общества и создания на ее основе инструментария, позволяющего анализировать последствия крупномасштабных антропогенных воздействий. Но такую работу можно было проделать, только опираясь на ту или иную научную традицию.

Будучи по образованию математиком и физиком, я выбрал, естественно, тот путь синтеза, который утвердился физикой, и попытался последовательно провести «физикалистскую позицию» на всех этапах анализа. Но, отдавая себе отчет в недостаточности такого подхода, продиктованного практическими нуждами математического моделирования, я счел необходимым выделить ряд коренных вопросов, которые в него не укладываются и требуют тех или иных гипотез, в том числе и не подтвержденных каким-либо экспериментальным материалом или наблюдениями. В процессе работы мне пришлось знакомиться с новыми для меня направлениями знаний и вести длительные обсуждения множества вопросов со специалистами далеких от меня областей деятельности. Особое значение имело для меня изучение наследия В.И.Вернадского (сначала я даже задумал написать эту книгу в ключе современной интерпретации идей В.И.Вернадского и демонстрации фундаментальности его научной позиции для решения современных глобальных, т. е. общепланетарных, проблем). Начало работы, связанной с попытками описания глобальных процессов, протекающих в биосфере, во многом обязано нескольким лекциям покойного Н.В.Тимофеева-Ресовского, которые он прочитал в конце 60-х годов в Вычислительном центре АН СССР. Эти лекции и общение с их автором оказали большое влияние на формирование моих общеметодических и методологических концепций.

Первоначально схема «алгоритмов развития», о которой здесь будет идти речь, разрабатывалась, если так можно выразиться, «для внутреннего пользования», т. е. как отправная методическая позиция для той практической деятельности по математическому моделированию крупномасштабных экологических ситуаций, которой в те годы занимался Вычислительный центр АН СССР [Моисеев, 1985]. При этом некоторые выводы методологического характера показались мне не совсем тривиальными, и я посвятил им специальную работу [Моисеев, 1982]. В ней, однако, не нашли отражения мои взгляды на общий эволюционный процесс, точнее, общий процесс развития и то место, которое занимает в нем информатика. Эти взгляды сложились у меня к концу 70-х годов.

Окончательная структура книги определилась под влиянием дискуссий относительно двух, казалось бы, далеких друг от друга вопросов. Первый — в каком отношении находятся развитие интеллекта и эволюция живой материи? Этот вопрос обсуждался с профессиональными философами. При этом я понял, что предлагаемая и используемая мной система взглядов достаточно естественна и не вызывает с их стороны существенных возражений.

Второй вопрос — какое содержание следует вкладывать в понятие «искусственный интеллект» и как оно связано с современными проблемами глобального характера? Он вызвал значительно больше споров. Мой подход оказался как бы на перепутье между двумя весьма различными точками зрения: биологов и инженеров — специалистов в области информатики. В обсуждении выяснилось, что оба указанных вопроса связаны между собой весьма тесными узами. Этот факт заслуживает серьезного внимания.

Рукопись настоящей книги была прочитана членом-корреспондентом АН СССР И.Т.Фроловым и доктором философских наук В.Г.Гороховым, которые сделали ряд замечаний философско-методологического характера, за что я им искренне признателен. Не менее важным для меня было обсуждение рукописи с моими товарищами по Вычислительному центру — кандидатом физико-математических наук И.Г.Поспеловым и доктором физико-математических наук Ю.М.Свирежевым, которым я также хотел бы выразить свою глубокую благодарность.

Особую благодарность я приношу наиболее суровому из моих оппонентов — доктору биологических наук А.Г.Назарову, который помог мне увидеть то существенное, что разделяет взгляды физиков и биологов, понять различие их подходов к анализу глобальных проблем экологии и построению общей картины развития, что, однако, не помешало мне сохранить свою точку зрения.

И в заключение отмечу, что я вполне отдаю себе отчет в том, что предлагаемая книга может вызвать многие нарекания. Мне, специалисту в области информатики, очень трудно

удовлетворить профессиональным требованиям и физиков, и биологов, и обществоведов одновременно, хотя именно их я и вижу своими читателями. Тем не менее, я предлагаю им эту книгу, ибо глубоко убежден в необходимости работ, которые перебрасывают мостики между специальностями и знакомят с тем, какие ракурсы видения предмета могут возникать в смежных дисциплинах. Без этого просто невозможно говорить о синтезе физической, естествоиспытательской и обществоведческой, гуманитарной позиции, столь необходимом в современной жизни.

### **Нильсон, 1985**

*Нильсон Н.* Принципы искусственного интеллекта: пер. с англ. Р.М.Абдусаматова и Ю.И.Крюкова, под ред В.Л.Стефанюка. М.: Радио и связь, 1985. — 376 с. — Табл. 4. Ил. 142. Библиогр. 410 назв.

*Nils J. Nilsson.* Principles of Artificial Intelligence. / SRI International. Palo Alto, California: Tioga Publishing Co., 1980.

#### **Аннотация.**

Описаны фундаментальные вопросы из области искусственного интеллекта, лежащие в основе многих приложений к обработке естественного языка, автоматическому программированию, "интеллектуальным" системам извлечения информации, экспертным системам и планированию действий. Показано, что большинство современных систем искусственного интеллекта (ИИ) может быть описано в виде глобальной базы данных, к которой применяются правила продукций под контролем некоторой управляющей системы. Выделение базы данных, правил продукций и блока управления в системе ИИ дает возможность изучения разнообразных механизмов использования в вычислительном процессе дополнительной информации о предметной области, обеспечивающих в конечном счете эффективное решение задач реальной сложности. Приводятся многочисленные примеры и программы, поясняющие и детализирующие общий подход к максимальному использованию знаний при решении задач.

Автор книги — известный американский ученый, руководитель работ по искусственному интеллекту в Станфордском исследовательском институте, разработчик системы STRIPS, предназначенной для управления автономным роботом.

Для научных работников, специализирующихся в области искусственного интеллекта.

#### **Оглавление**

1. СИСТЕМЫ ПРОДУКЦИЙ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ. Системы продукций. Специализированные системы продукций. Комментарий к различным типам систем продукций. Библиографические и исторические замечания.

2. СТРАТЕГИЯ ПОИСКА ДЛЯ СИСТЕМ ПРОДУКЦИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА. Стратегия с возвратом. Стратегия поиска на графе. Неинформированные процедуры поиска на графе. Эвристические процедуры поиска на графе. Другие алгоритмы. Различные меры качества работы. Библиографические и исторические замечания.

3. СТРАТЕГИИ ПОИСКА ДЛЯ РАЗЛОЖИМЫХ СИСТЕМ ПРОДУКЦИЙ. Поиск на графах типа И/ИЛИ. АО\* — эвристическая процедура поиска на графах типа И/ИЛИ. Некоторые соотношения между разложимыми и коммутативными системами. Поиск на игровых деревьях. Библиографические и исторические замечания.

4. ИСЧИСЛЕНИЕ ПРЕДИКАТОВ В ОБЛАСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА. Неформальное введение в исчисление предикатов. Резолюция. Использование исчисления предикатов в ИИ. Библиографические и исторические замечания.

5. СИСТЕМА ОПРОВЕРЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ РЕЗОЛЮЦИИ. Системы продукций для опровержения на основе резолюций. Стратегии управления для методов резолюций. Стратегии упрощения. Извлечение ответа из опровержения, основанного на резолюции. Библиографические и исторические замечания.

6. СИСТЕМЫ ДЕДУКЦИИ НА ОСНОВЕ ПРАВИЛ. Прямая система дедукции. Обратные системы продукций. Резолюция внутри графов типа И/ИЛИ. Вычислительные дедукции и синтез программ. Комбинация прямой и обратной систем. Управляющие знания в системах дедукции на основе правил. Библиографические и исторические замечания.

7. ОСНОВНЫЕ СИСТЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ ПЛАНОВ. Решение задач роботом. Прямая система продукций. Способ представления планов. Обратная система продукций. Система STRIPS. Использование систем дедукции для выработки планов для роботов.

8. РАЗВИТЫЕ СИСТЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ ПЛАНОВ. Система RSTRIPS. Система DCOMP. Совершенствование планов. Иерархическое планирование.

9. ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДЛЯ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ. Исчисление предикатов к блокам. Представление в форме графов: семантические сети. Установление соответствия. Дедуктивные операции над структурированными объектами. Неточные описания и противоречивая информация. Библиографические и исторические замечания.

10. ПРОСПЕКТ. Архитектура систем ИИ. Усвоение знаний. Формальные системы для представления знаний.

**Из предисловия редактора перевода В.Л.Стефанюка.**

В предисловии к русскому изданию в 1973 г. книги "Искусственный интеллект. Методы поиска решений" (по-английски она называлась "Problem-Solving Methods in Artificial Intelligence") Н.Нильсон отмечал, что вопросы эвристического поиска перестали быть в центре внимания в исследованиях по искусственному интеллекту (ИИ). Для этого имелись две причины: с одной стороны, эта область уже достаточно разработана, так что не следует ожидать существенного повышения эффективности поиска, а с другой — одних эффективных методов поиска (перебора), как показал опыт, недостаточно для решения настоящего сложнейших задач. Он говорил, что хорошо бы написать книгу под названием "Как вкладывать знания в программы для ЭВМ" или "Как ЭВМ могут усваивать знания".

Тем не менее эта небольшая книга Н.Нильсона, посвященная в основном эвристическому поиску и доказательству теорем методом резолюции, сыграла важную роль, став настольной книгой по теории искусственного интеллекта — направлению, которое Н. Нильсон относит к числу инженерных дисциплин, "поскольку его первоначальной целью является создание КОНСТРУКЦИЙ".

Книга Н.Нильсона, которая просто называется "Принципы искусственного интеллекта", вышла сначала в США в 1980 г., а затем была переиздана в Западной Европе и сейчас является одним из наиболее популярных пособий (в ряде Учебных заведений — обязательным) для студентов и аспирантов, специализирующихся в области искусственного интеллекта.

Дело в том, что последние десять лет вопрос представления знаний в ЭВМ был практически основным, над которым работали во всех ведущих научных центрах. В широком смысле это вопрос о том, как усваивать, хранить, обновлять и обрабатывать большие объемы данных, имеющих развитую внутреннюю структуру. В ходе этих работ был получен целый ряд важных результатов "инженерного свойства" — создание экспертных систем и богатых баз знаний в разнообразных проблемных областях, разработка эффективных методов программирования задач искусственного интеллекта и соответствующих языковых средств, разработка новых структурных схем хранения и использования знаний (фреймов и т. п.), создание систем планирования порядка выполнения действий в сложной ситуации (например, для робота), **гетерархических** систем анализа сцен, восприятия речевых, письменных и других сообщений и т. д.

За это время значительно изменился и характер вычислительных машин. С одной стороны, они стали более производительными и располагают большим объемом памяти. С другой стороны, мы являемся свидетелями наступления эры персональных ЭВМ, обладающих хорошими вычислительными параметрами, при этом достаточно дешевых, чтобы стать массовыми. Указанным выше работам в значительной степени обязано и

появление проектов создания вычислительных машин пятого поколения (что, в свою очередь, "подогрело" интерес к искусственному интеллекту у более широкой аудитории).

Следует, однако, признать, что и сегодня наиболее развитыми являются вопросы эвристического поиска и формально-логического вывода на ЭВМ, для которых обнаруживаются все новые приложения, подтверждающие то, что эти вопросы образуют фундамент любой системы ИИ.

Что же касается представления знаний (в широком смысле) в вычислительной машине, то из потока работ в этом направлении лишь какую-то часть удастся подвергнуть теоретическому осмыслению и систематизации. Именно эту задачу возложил на себя крупный специалист по искусственному интеллекту Н. Нильсон, руководитель Центра искусственного интеллекта Станфордского исследовательского института в США. Видимо, свою роль сыграло то обстоятельство, что по общему мнению Н.Нильсон является одним из самых информированных ученых в области ИИ и, кроме того, обладает необходимым вкусом и способностями к теоретическому обобщению.

В новой книге не дано окончательного решения вопроса работы со знаниями, как на сегодня нет и ни одной действующей системы, достаточно свободно оперирующей знаниями в широкой предметной области. (Даже в так называемых экспертных системах знания пока что относятся к некоторой сравнительно узкой и четко очерченной предметной области.) Однако в ней собраны те достижения в области представления знаний, без ознакомления с которыми нельзя добиться успеха при создании систем искусственного интеллекта. Попытаемся их перечислить, следуя плану построения книги Н.Нильсона.

Результатом большого числа экспериментов является понимание важной роли систем продукции. По Н.Нильсону все данные в системе ИИ организованы в виде глобальной базы данных, к которой под контролем некоторой системы управления применяются операции-продукции, переводящие глобальную базу данных в новое состояние. В гл. 1 обсуждаются и задача построения эффективной системы управления, и вопросы выбора удобного представления для задач — обстоятельства, подчас полностью определяющего трудность их решения. Исследование вопросов эффективности работы ведет к рассмотрению прямой, обратной и комбинированной систем продукции, а также к важным понятиям коммутативности и разложимости глобальной базы данных.

Таким образом, центральная проблема, рассматриваемая в этой книге, состоит в том, как, основываясь на знаниях о задаче, наилучшим образом организовать декларативную (глобальную базу данных), процедурную (продукции) и управляющую компоненты всей системы продукции.

В гл. 2 и 3 рассматриваются стратегии поиска для систем продукций — это по существу некоторая обработка результатов предыдущей книги автора, относящихся к эвристическому поиску. В них обсуждается широкий спектр задач эвристического поиска, обусловленный различной степенью информированности алгоритма поиска в рамках конкретных свойств решаемой задачи.

Главы 4 и 5 книги также являются результатом переработки соответствующих глав предыдущей книги автора. Следует отметить, что и при применении в системе других формальных языков знакомство с методами использования исчисления предикатов первого порядка является совершенно необходимым. Так, необходимый для резолюции алгоритм унификации является весьма универсальной процедурой. Имеются все основания считать, что унификация, которая буквально пронизывает все главы книги Н.Нильсона, является важнейшей компонентой любой системы ИИ.

В изложении метода резолюции большое внимание уделено использованию в процессе вывода всевозможных дополнительных знаний. Особый интерес, в частности, представляет использование "присоединенных процедур", когда истинность отдельных литералов проверяется некоторым внешним для резолюции образом (например, проведением непосредственного измерения или обращением к заранее запасенному табличному файлу).

Хорошо известно, что попытки непосредственного применения метода резолюции оказались неудачными вследствие того, что это приводит к быстрому "размножению" промежуточных результатов, и часто при очевидном существовании доказательства на практике при заданных объеме памяти и быстродействии невозможно дождаться конца доказательства. Поэтому в гл. 6 автор переходит к рассмотрению систем дедукции с использованием правил, представимых в виде импликаций, не преобразуя все формулы в форму предложений, как это принято в методе резолюции. В этом случае все правильно построенные формулы разбиваются на такого рода правила и факты (последние не выражаются в форме импликаций). Такие системы непосредственного логического вывода оказываются более эффективными, и, во всяком случае, более понятным становится сам ход вывода.

При таком подходе, позволяющем учесть при логическом выводе проблемно-специфическую информацию, рассматриваются прямая и обратная системы, причем обратная система (от цели) напоминает работу интерпретатора языка ПРОЛОГ, но является более общей по сравнению с ним системой.

Если в гл. 5 и 6 показано, как можно решать широкий круг задач с применением коммутативных систем продукций, то в гл. 7 и 8 речь идет о задачах планирования, в которых наиболее естественной является формализация, связанная с некоммутативными

системами, когда использование некоторого правила изменяет, вообще говоря, необратимым образом глобальную базу данных.

Здесь автором подробно описана работа таких систем, как STRIPS и RSTRIPS, в создании которых он принимал непосредственное участие, а затем рассматриваются вопросы иерархического планирования и построения постепенно улучшаемых планов. Особое внимание уделено разрешению совокупности конфликтных целевых условий.

Приводится также описание других подходов и формализации в задаче планирования.

С точки зрения теории очень интересным, хотя и на первый взгляд сложным, является механизм регрессии целевого условия. Необходимость в нем возникает потому, что в обратной системе продукций приходится, разумеется, использовать "прямые" правила, каждое из которых определяется предусловием и списком добавлений и изъятий данных в глобальной базе данных (например, правило "взять данный кубик").

Наконец, в гл. 9 рассматриваются вопросы представления знаний в виде блоков (или фреймов, сценариев и т.п.) и связанные с этим вопросы организации работы системы в целом. Показано, что при блочном описании установление соответствия играет роль, аналогичную унификации. Рассматриваются методы использования блоков, отвечающих присоединенным процедурам, использования сетевых описаний, включения рекомендаций по применению данного правила. Затрагивается проблема неточной и противоречивой информации.

В целом книга Н.Нильсона ценна не только тем, что в ней систематически описан тщательно отобранный материал по вопросу представления знаний и их обработке, характеризующий область ИИ на 1980 г., но и тем, что в библиографических разделах каждой главы автор рисует весьма широкую картину состояния проблематики, указывая на источники информации, как подкрепляющие его точку зрения, так и значительно от нее отклоняющиеся.

Безусловно, читателей заинтересует также небольшая гл. 10, в которой перечисляются определенные "горячие точки" в области ИИ, являющиеся очень важными для дальнейшего прогресса в этой области.

### **Из предисловия автора**

Обычно искусственный интеллект рассматривают в соответствии с основными областями его применения — такими, как обработка естественного языка, автоматическое программирование, управление роботами, машинное зрение, автоматическое доказательство теорем, разумные системы извлечения информации и т.д. Основная трудность при таком подходе состоит в том, что указанные области применений настолько обширны, что каждая в

самом лучшем случае лишь весьма поверхностно может быть изложена в книге нормального объема. Вместо этого я предпринял попытку описать здесь фундаментальные идеи из области искусственного интеллекта, лежащие в основе таких применений. Эти идеи, таким образом, упорядочены мною не на основе тех областей, в которых они находят применение, а на основе общих вычислительных концепций, включающих типы используемых структур данных, типы выполняемых над ними операций и свойства стратегий, используемых системами ИИ. В частности, мною выделено то важное значение, которое в искусственном интеллекте имеют обобщенные системы продукций и исчисление предикатов.

Мысли, на которых базируется настоящая книга, развились в ходе семинаров и чтения учебных курсов в Станфордском университете и Университете шт. Массачусетс, г. Амхерст. Хотя в ней охвачены и некоторые вопросы, которые вошли в мою предыдущую книгу "Искусственный интеллект. Методы поиска решений", предлагаемый материал содержит множество дополнительных вопросов. Обсуждаются системы, основывающиеся на правилах, системы решения задач роботами и представления для структурированных объектов.

Одна из задач этой книги — заполнить брешь, образовавшуюся между теорией и практикой. Теоретики искусственного интеллекта не испытывают больших затруднений в общении друг с другом, и книга не нацелена на то, чтобы внести вклад в это общение. Но она не представляет собой и справочника по современной технологии программирования в области искусственного интеллекта — для этого имеются другие источники информации. В настоящем своем виде книга может быть дополнена либо более глубоким теоретическим анализом определенных предметов при прочтении курсов по теории искусственного интеллекта, либо выполнением научного проекта или лабораторных работ, если учебный курс в большей степени имеет практическую ориентацию.

Книга задумана как учебник для студентов старших курсов университета или первого года обучения в аспирантуре по специальности "Искусственный интеллект". Предполагается при этом, что читатель имеет хорошую подготовку в области основ вычислительной науки. Знание какого-либо языка по обработке списков, такого как ЛИСП, было бы полезным. Курс на основе данного учебника без напряжения может занять один семестр. Если же добавляется отдельный материал практической или теоретической ориентации, то может потребоваться и весь учебный год. Полусеместровый курс будет слишком напряженным, если только не опустить какую-то часть материала книги (возможно, некоторые разделы гл. 6 и 8).

Упражнения в конце каждой главы должны побудить к самостоятельному размышлению. В тексте упоминаются также отдельные более общие подходы к

рассматриваемым вопросам. Для преподавателей может оказаться целесообразным использование выборочных упражнений в качестве основы для проведения дискуссии на семинарах. В конце каждой главы кратко обсуждаются литературные ссылки, которые могут служить для активно интересующегося студента адекватными стартовыми точками к большей части наиболее важной литературы в области искусственного интеллекта.

### **Осуга, 1989**

*Осуга С.* Обработка знаний: Пер. с япон. — М.: Мир, 1989. — 293 с.

#### **Аннотация.**

Книга является переводом первого тома 10-томной серии по инженерии знаний, написанной крупными японскими специалистами, и представляет собой вводный курс инженерии знаний. В ней дан обзор исследований по искусственному интеллекту и методов представления знаний в экспертных системах. Обсуждены логика предикатов, синтаксис и семантика языка предикатов, правила выводов в логике предикатов, а также вопросы, связанные с формализацией проблем, способы представления информации в ЭВМ на различных этапах решения проблемы, модели решения и классификация проблем. Рассмотрены основные структуры систем обработки знаний и языков представления знаний.

Для специалистов в области инженерии знаний и искусственного интеллекта, а также студентов соответствующих специальностей.

#### **Оглавление**

1. ВВЕДЕНИЕ. Что такое обработка знаний? В поисках новых систем обработки информации. Проблемы современных вычислительных систем. Возможности обработки знаний. Установление новых человеко-машинных отношений.

2. РАЗВИТИЕ И ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА. Проблемная область и методы поиска. Полезность знаний. Инженерия знаний. Представление знаний и выводы в экспертных системах. Особенности различных представлений знаний. Проблемы современных систем инженерии знаний и новые цели обработки знаний.

3. ЛОГИКА ПРЕДИКАТОВ. Синтаксис и семантика языка. Синтаксис языка предикатов. Семантика логики предикатов. Правила вывода логики предикатов. Неаксиоматическое объяснение метода доказательства теорем. Доказательство методом резолюции (принцип вывода). Полнота доказательства. Обработка знаний и логика предикатов.

4. МНОЖЕСТВА И СТРУКТУРЫ ДАННЫХ. Описание объектов. Аксиоматическая теория множеств. Интерпретация аксиом на структуры данных.

5. ОПИСАНИЕ И ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОБЛЕМЫ. Различие форм представления проблем и его влияние на компьютеризацию. Формы представления информации на различных этапах понимания. Различия в постановке проблемы из-за различия в подходах к объекту. Классификация типов проблем и методы их решения. Типы проблем и возможности компьютеризации.

6. ЯЗЫКИ СИСТЕМ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ. Необходимость языков декларативного типа. Семантика процедурных и декларативных языков. Уровни представления в обработке информации. Подходы к разработке языков декларативного типа. Обработка языков. Декларативные языки и структура данных. Математическая структура данных в декларативных языках.

7. ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ЗНАНИЙ. Новый стиль решения проблем. Границы обработки знаний. Два типа обработки знаний. Оценка с помощью компьютера — моделирование.

8. МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ И ТРЕБОВАНИЯ К ЯЗЫКАМ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ. Условия создания системы. Языки представления знаний в качестве языков описания моделей. Человеко-машинное взаимодействие в системах обработки знаний. Представление знаний как универсальное средство описания моделей. Управление системами искусственного интеллекта.

9. СТРУКТУРА ЯЗЫКОВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ. Свойства логики предикатов как языка представления знаний. Методы построения универсальных моделей. Ввод структуры данных в язык предикатов. Процесс синтеза по иерархическим структурам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.

**Из предисловия переводчика В.И.Этова.**

Предлагаемая советскому читателю книга известного японского ученого в области искусственного интеллекта — первый том в серии книг по новой технологии обработки информации (инженерии знаний), постепенно оформившейся за свою почти двадцатилетнюю историю в самостоятельное научное направление. Бурное развитие компьютеризации, проникновение вычислительной техники во все сферы науки, промышленности, общественной жизни, ее использование для решения все более усложняющихся задач постепенно пришли в противоречие с технологией традиционных фон-неймановских компьютеров. В рамках этой технологии человек должен качественно описывать проблему, формализовать ее, составлять алгоритм, разрабатывать программы, анализировать результаты, видоизменять постановку проблемы и все последующие компоненты. Другими словами, он все время вынужден вступать в новые отношения с компьютером, способным лишь выполнять программу, написанную

человеком на весьма ограниченном языке и предписывающую определенный порядок действий с предоставленной им информацией. В итоге появляются лишь новые процедурные знания, т.е. факты, являющиеся результатом алгоритмического преобразования других фактов.

Все это очень удобно, когда проблема уже математически исследована, имеет хорошо сходящиеся алгоритмы. Однако для современного этапа развития научно-технического прогресса характерно превалирование неформализуемых или плохо формализуемых проблем, алгоритмическое решение которых либо не существует, либо не может быть получено на имеющихся машинах.

Таким образом, новые требования к технологии обработки информации обусловлены: 1) необходимостью решать плохо формализуемые проблемы, 2) наличием пользователя, не являющегося профессиональным программистом. Последний фактор требует нового уровня «интеллектуальности» компьютера, т.е. его способности общаться с человеком в «дружественной» форма на этапах решения проблемы.

Сегодня, когда идеи ИИ диктуют направления научно-технического прогресса, как никогда необходима литература, отвечающая на коренные вопросы: в чем существо обработки знаний? что она может дать принципиально нового? где границы ее возможностей? каков диапазон проблем, для решения которых эффективно применение обработки знаний? в чем принципиальное отличие обработки знаний от традиционной обработки информации? какие языки позволяют представлять и обрабатывать знания? и т. д. Сюда же примыкают вопросы, связанные с выяснением «облика» интеллектуального, «дружественного» человеку компьютера и вида взаимодействия человека о компьютером в процессе решения проблем с обработкой знаний.

Ответить на эти вопросы с единых методологических позиций и пытается автор книги. Основная мысль, проходящая через всю книгу, — поиск решений сложных (плохо формализуемых) проблем в человеко-машинной системе, в которой машина выступает как полноправный партнер, а также поиск адекватных языковых средств. Именно под этим углом зрения написаны все главы книги.

### **Из предисловия автора.**

На вопрос — откуда берет свое начало обработка информации — трудно ответить. Информация неразрывно связана с существованием человечества, поэтому все, что порождается деятельностью человека, так или иначе имеет свою информационную сторону. В частности, даже реле можно назвать информационной машиной, оперирующей одним битом информации.

В данной книге будут рассмотрены такие машины, единицами обработки информации которых являются проблемы, возникающие в человеческом обществе. Первыми машинами, позволившими воплотить в жизнь обработку информации на таком уровне, были компьютеры с

архитектурой фон Неймана. Они появились примерно сорок лет назад и были довольно примитивны, тем не менее, образовали ядро всего их последующего развития, а основные принципы этих компьютеров не изменились и до настоящего времени. Вычислительная техника за этот сорокалетний период шагнула далеко вперед в первую очередь в таких направлениях, как (1) микроэлектроника, (2) архитектура компьютеров, (3) надежность, (4) информационные сети, (5) программное обеспечение.

Успехи направлений (1) и (2) определили технические возможности компьютеров, в частности высокое быстродействие и большую емкость памяти; (3) и (4) привели соответственно к повышению надежности и широкому распространению техники обработки информации. Направление (5), опирающееся на достижения всех предыдущих направлений, позволило резко увеличить диапазон проблем, решение которых может быть возложено на компьютер. Все это обусловило колоссальное возрастание роли вычислительной техники в современном обществе. Тем не менее, весь этот прогресс носит чисто количественный характер, но простое наращивание функциональных возможностей компьютера эффективно только в том случае, когда человек в состоянии их использовать, в противном случае такое наращивание становится бессмысленным. Поэтому требуется выполнение еще одного условия — обеспечение высокого уровня обработки информации. Это означает, что большая часть трудоемких операций, выполняемых человеком, должна возлагаться на компьютер. Благодаря этому будут существенно расширены возможности человека, поскольку расширяются возможности глобальной системы, в которую входят человек и компьютер.

Стремление к достижению высокоуровневой технологии обработки информации (т. е. к получению нового качества) вскоре начало проявляться в виде попыток ее реализации на фон-неймановских компьютерах в области искусственного интеллекта (ИИ). Но поскольку для качественного развития новых функций необходимо было прежде всего достичь определенных количественных показателей, перечисленных выше, эти исследования ограничивались чисто научными аспектами.

Сегодня ситуация существенно меняется. С начала 80-х гг. область ИИ привлекла внимание многочисленных исследователей, и причина этого не только в количественном росте возможностей компьютеров, но главным образом в развитии полупроводниковой технологии, снижении стоимости элементной базы, в открывшейся возможности реализации ИИ как новой технологии обработки информации. При этом были получены определенные результаты в создании инженерии знаний. Эти методы позволяют создавать прикладные системы, обеспечивающие формализованное описание знаний, их накопление и использование для решения проблем.

Однако оперирование со знаниями — вовсе не простое занятие. Связанные с этим проблемы выходят далеко за рамки сегодняшней технологии обработки информации, развивавшейся в течение почти сорока лет на концепциях фон-неймановских компьютеров. Поэтому до сих пор нет полного понимания существа новой технологии.

Предлагаемая серия книг по инженерии знаний имеет целью дать полное представление о новой информационной технологии на основе обсуждения с самых различных сторон «технологии применения знаний». В первой книге этой серии изложены воззрения автора на существо обработки знаний. Создание всей серии явилось плодом усилий многих людей.

### **Г.Поспелов, 1988**

*Поспелов Г.С.* Искусственный интеллект — основа новой информационной технологии. М.: Наука, 1988. — 280 с.

#### **Аннотация**

Рассматривается искусственный интеллект — одно из научных направлений информатики. Предметом его исследований является создание вычислительных систем, обладающих следующими свойствами: имитация творческих процессов; логический вывод; восприятие естественно-языковых запросов и команд; аккумуляция знаний в ЭВМ. Показывается, что неизбежная в эпоху научно-технической революции компьютеризация народного хозяйства означает в тоже время становление новой информационной технологии.

Для интересующихся проблемами искусственного интеллекта, информатикой.

#### **Оглавление**

1. ИНФОРМАТИКА И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ. Основные направления развития исследований и систем искусственного интеллекта. Научно-технический прогресс и неизбежность компьютеризации общества. Проблемы использования ЭВМ конечными пользователями. Представление знаний. Семантические сети. Фреймовые модели (языки). Логические модели знаний и системы логического вывода. Моделирование творческих процессов. Диалоговые системы искусственного интеллекта. Интеллектуальные информационно-поисковые системы. Интеллектуальные пакеты прикладных программ. Расчетно-логические системы. Экспертные системы. Внутренняя интеллектуализация ЭВМ. Высокопроизводительные ЭВМ. Система с внутренней интеллектуализацией на основе функционального подхода. ЭВМ, ориентированные на символьные преобразования.

2. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВЫЕ СИСТЕМЫ. Интерфейс пользователя. Интерактивная графика. Регламентированный диалог.

Интеллектуальный интерфейс пользователя. Об автоматическом переводе. Проблемы ЕЯ-общения.

3. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПАКЕТЫ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ. Общая схема работы интеллектуального пакета прикладных программ. Система МАВР для проектирования технических объектов.

4. РАСЧЕТНО-ЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ. Использование вычислительной техники при планировании. Программно-целевой подход к планированию на основе расчетно-логических систем. Принятие согласованного решения в иерархической системе.

5. ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ. Основные проблемы экспертных систем. Продукционные экспертные системы. Составные продукции. Противоречия в экспертных системах. Гибридные экспертные системы. О развитии отечественных экспертных систем.

### **Справочник, 1990**

**Искусственный интеллект: В 3 кн. Кн. 1. Системы общения и экспертные системы: Справочник / Под ред. Э. В. Попова.—М.: Радио и связь, 1990.—464 с.: ил.**

#### **Аннотация**

Приводится классификация интеллектуальных систем по их структуре и решаемым задачам. Описываются особенности систем общения и экспертных систем, получивших наиболее широкое распространение на практике. Рассматривается состояние развития систем общения (естественно-языковых, систем речевого общения, обработки визуальной информации, машинного перевода), экспертных систем и инструментальных систем для их создания.

Для специалистов в области управления, информационных систем и вычислительной техники, использующих методы искусственного интеллекта.

#### **Оглавление.**

1. ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ЕЯ-СИСТЕМ. Назначение и область применения ЕЯ-систем. Обобщенная схема ЕЯ-системы. Методы реализации ЕЯ-систем. Настройка ЕЯ-систем.

2. СОСТОЯНИЕ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЕЯ-СИСТЕМ. Основные классы ЕЯ-систем. Интеллектуальные вопрос-ответные системы. Системы общения с базами данных. Диалоговые системы решения задач. Системы обработки связанных текстов.

3. ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ КОММЕРЧЕСКИЕ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЕЯ-СИСТЕМЫ. Коммерческая система АИСТ. Коммерческая система ЛИНГВИСТ. Промышленная система ДИСПУТ.

4. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИСТЕМ РЕЧЕВОГО ОБЩЕНИЯ. Основные положения. Фонетическая и просодическая структуры речи. Акустические характеристики фонем. Информационная структура речевого сигнала.

5. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ РЕЧЕВОГО ОБЩЕНИЯ. Классификация речевых процессоров. Формантный анализатор речевых сигналов. ДП-анализатор речевых команд. Формантный синтезатор речевых сигналов. Универсальный фонемный синтезатор речевых сообщений.

6. СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ И ПРОИЗВОДСТВА СИСТЕМ РЕЧЕВОГО ОБЩЕНИЯ. Обзор промышленных систем речевого общения. Отечественные системы речевого общения. Перспективные зарубежные системы речевого общения. Тенденции применения средств речевого общения.

7. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ПЕРЕРАБОТКИ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ. Назначение, классификация и области применения. Автоматизированные системы обработки изображений. Системы анализа изображений. Системы машинной графики.

8. СОСТОЯНИЕ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ. Автоматизированные системы обработки изображений. Системы анализа изображений. Системы и пакеты машинной графики.

9. ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ. Пакет программ для распознавания рукописной, символьной и графической информации ГРАФИТ. Система технического зрения для анализа сложных трехмерных сцен. Когнитивная интерактивная графическая система ДСТЧ.

10. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МАШИННОГО ПЕРЕВОДА. Назначение машинного перевода. Периодизация и классификация систем машинного перевода. Лингвистическое обеспечение систем машинного перевода. Математическое и программное обеспечение машинного перевода. Оценка систем машинного перевода. Перспективы развития систем машинного перевода.

11. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МАШИННОГО ПЕРЕВОДА. Общие сведения о современных системах машинного перевода. Промышленные системы машинного перевода. Развивающиеся системы машинного перевода. Экспериментальные системы машинного перевода.

12. ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ МАШИННОГО ПЕРЕВОДА. Три подхода к решению задач машинного перевода. Комплекс систем англо-русского и немецко-русского автоматического перевода АНРАП. Системы семейства ЭТАП. Система французско-

русского автоматического перевода ФРАП. О перспективах развития отечественных систем машинного перевода.

13. ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ. Назначение и принципы построения экспертных систем. Классификация экспертных систем. Классификация инструментальных средств. Методология разработки экспертных систем. Этапы разработки экспертных систем. Взаимодействие инженера по знаниям с экспертом. Трудности разработки экспертных систем. Проблемы и перспективы

14. СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ И ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ. Характеристики инструментальных средств и экспертных систем. Состояние разработки инструментальных средств. Состояние разработки экспертных систем.

15. ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ЭВМ И МИНИ-ЭВМ. Исследовательская система СПЭИС. Коммерческая гибридная система ЭКСПЕРТ. Коммерческая система ФИАКР

16. ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ОБОЛОЧКИ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ БОЛЬШИХ ЭВМ. Общее описание коммерческой гибридной системы ЭКСПЕРТИЗА. Возможности режима приобретения знаний. Возможности режима консультации. Функционирование системы.

17. ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ НА ПЕРСОНАЛЬНЫХ ЭВМ. Система СПЭИС/МОДИС. Система ОБЕЗБОЛИВАНИЕ/ЭКСПЕРТ.

18. ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ НА БОЛЬШИХ ЭВМ. Система ПЛОТИНА/ЭКСПЕРТИЗА. Промышленная система ДАМП/ЭКСПЕРТИЗА. Система СОНЭТ/ЭКСПЕРТИЗА. Система ЛЕДИ-Z

### **Предисловие**

Искусственный интеллект — одно из самых молодых научных направлений. Прошло немногим более четверти века с момента начала работ в этой области. Но сегодняшний мир и научно-технический прогресс немислимы без тех результатов, которые дали человечеству и обещают дать в будущем исследования в области искусственного интеллекта.

Причин для столь исключительного положения работ в области искусственного интеллекта несколько. Наиболее важными из них являются следующие:

1. Развитие вычислительной техники вступило в новую фазу-создание ЭВМ пятого и последующих поколений. Отличительной чертой новых ЭВМ является их максимальная приближенность к пользователю, освобождение пользователя от программирования решения задач. Функции программиста передаются ЭВМ, сложность общения с ней не должна превосходить сложности общения с современными бытовыми системами. Для этого

необходимо поднять "интеллектуальный" уровень ЭВМ, сделав ее способной к выполнению творческого профессионального труда программиста. В ЭВМ должна быть заложена большая сумма знаний о способах решения задач, специальные процедуры автоматического синтеза программ, а также средства общения с пользователем, максимально приближающие это общение к общению людей.

2. XXI век нередко называют веком новых информационных технологий. В связи с массовым внедрением ЭВМ во все сферы человеческой жизни, развитием локальных, глобальных, национальных и межгосударственных сетей передачи и обработки данных, быстрым ростом хранилищ информации, распределенных в различных местах земного шара и доступных для любой ЭВМ, включенной в соответствующую сеть, станет возможным переход к безбумажной технологии обработки информации. А это повлечет за собой изменение стиля человеческого общения в самых разнообразных деловых и бытовых взаимоотношениях.

3. Технология производства в промышленности и сельском хозяйстве меняет свою основную парадигму. До сих пор она ориентировалась на человека как основное звено в трудовом процессе. Роботизация производства заставляет по-новому оценить организацию трудового процесса. В роботизированных производствах нет необходимости в создании "человеческих условий" для производителей, в выполнении требований к агрегатам, климатическим условиям и т.п., которые определяются эргономикой и физиологией человека.

4. В проектировании новых образцов изделий и в научных исследованиях интеллектуальные системы должны сыграть в ближайшие годы революционизирующую роль. Они являются тем инструментом, без которого станет невозможным проектирование сверхсложных для человека изделий и который позволит ученым в приемлемые сроки решать те научные проблемы, на решение которых не хватает сейчас жизни нескольких поколений.

Можно указать еще ряд причин (повышение эффективности обучения, создание роботов-исследователей, работающих в средах, непригодных для человека и т. п.), но и сказанного достаточно, чтобы почувствовать глобальную значимость того направления, которое называется "искусственный интеллект".

Вряд ли сейчас возможно какое-либо единое определение, полностью описывающее эту научную область. Среди многих точек зрения на нее сегодня доминируют три. Согласно первой исследования в области искусственного интеллекта являются фундаментальными исследованиями, в рамках которых разрабатываются модели и методы решения задач, традиционно считавшихся интеллектуальными и не поддававшихся ранее формализации и

автоматизации. Согласно второй точке зрения новое направление связано с новыми идеями решения задач на ЭВМ, с разработкой принципиально иной технологии программирования, с переходом к архитектуре ЭВМ, отвергающей классическую архитектуру, которая восходит еще к первым ЭВМ. Наконец, третья точка зрения, по-видимому, наиболее прагматическая, состоит в том, что в результате работ в области искусственного интеллекта рождается множество прикладных систем, решающих задачи, для которых ранее создаваемые системы были непригодны.

Конечно, все эти три точки зрения взаимно связаны. В области искусственного интеллекта развиваются фундаментальные исследования, новая технология программирования, новая архитектура технических средств, и все это используется для создания прикладных систем, предназначенных для работы в самых разнообразных областях.

Настоящий справочник по искусственному интеллекту отражает указанные точки зрения. Три его книги как раз и соответствуют им. В первой книге "Искусственный интеллект. Системы общения и экспертные системы" описаны принципы построения естественно-языковых интерфейсов и средств графического общения, приведены общие сведения о технологии построения экспертных систем и примеры наиболее известных интеллектуальных систем, разработанных в СССР. Этот том предназначен не только для специалистов, работающих в области искусственного интеллекта, но и для широкого круга лиц, интересующихся использованием интеллектуальных систем в тех областях, в которых они работают.

Во второй книге "Искусственный интеллект. Модели и методы" помещены материалы, касающиеся извлечения знаний, формализации их и представления в интеллектуальных системах, способов манипулирования знаниями при поиске решений, проблем общения, работы с изображениями и распознавания образов, а также проблем обучения и планирования целесообразного поведения. Эта книга может служить и учебным пособием для студентов, специализирующихся в области искусственного интеллекта, и аспирантов, работающих в этой области. Она будет интересна и специалистам, поскольку представляет собой сжатую сводку результатов теории искусственного интеллекта, накопленных к настоящему времени.

Третья книга "Искусственный интеллект. Программные и аппаратные средства" содержит описание базовых средств, которые используются при программировании задач в интеллектуальных системах, языков представления знаний и манипулирования ими, инструментальных систем, используемых при создании проблемно-ориентированных интеллектуальных систем, а также спецпроцессоров, архитектура которых ориентирована на

реализацию тех функций, которые характерны для интеллектуальных систем. Эта книга рассчитана в первую очередь на специалистов, разрабатывающих интеллектуальные системы и инструментарий для них, а также на студентов и аспирантов, обучающихся по специализациям, связанным с искусственным интеллектом и созданием ЭВМ новых поколений.

Справочников по интеллектуальным системам пока нет ни в СССР, ни в других странах. Поэтому подготовка материалов для него потребовала большого труда многих специалистов нашей страны. Окончательную подготовку справочника осуществляли специальная редколлегия и рабочая группа, назначенные Научным советом по проблеме "Искусственный интеллект" Отделения информатики, вычислительной техники и автоматизации АН СССР. В состав редколлегии входили: академик Г.С.Поспелов (председатель), д-р техн. наук. проф. Д.А.Поспелов (зам. председателя), канд. техн. наук В.Ф.Хорошевский (ученый секретарь), д-р техн. наук, проф. Э.В.Попов, канд. техн. наук В.Н.Захаров. В состав рабочей группы входили: канд. физ.-мат. наук А.Н.Аверкин, канд. техн. наук А.М.Волков, канд. техн. наук М.Г.Гаазе-Рапопорт, В.Н.Дембовская, канд. физ.-мат. наук С.М.Ефимова, канд. техн. наук Б.С.Кирсанов, канд. физ.-мат. наук Л.В.Литвинцева, канд. техн. наук А.Б.Преображенский, Н.В.Руссова, Н.В.Чудова.

### **Предисловие редактора 1 тома Э.В.Попова**

В 80-е годы на основе исследований в области искусственного интеллекта (ИИ) сформировалась новая отрасль индустрии - производство интеллектуальных систем. Интеллектуальные системы предназначены для выполнения на ЭВМ таких практических задач, которые называются интеллектуальными, если они выполняются людьми. Примерами интеллектуальных являются задачи понимания и синтеза текстов на естественном языке, понимания и синтеза речи, анализа, обработки и синтеза изображений, перевода с одного естественного языка на другой, принятия решений в условиях изменяющегося окружения и т. п.

Все существующие интеллектуальные системы можно разбить на два класса: общего назначения и специализированные. К интеллектуальным системам общего назначения отнесены те, которые не только исполняют заданные процедуры, но на основе метапроцедур поиска генерируют и исполняют процедуры решения новых конкретных задач. Технология использования таких систем состоит в следующем. Пользователь (эксперт) формирует знания (данные и правила), описывающие выбранное приложение. Затем на основании этих знаний, заданной цели и исходных данных метапроцедуры системы генерируют и исполняют процедуру решения конкретной задачи. Данную технологию называют технологией систем,

основанных на знании, или технологией инженерии знаний. Она позволяет специалисту, не знающему программирования, разрабатывать гибкие прикладные системы.

В настоящее время, пожалуй, единственным типом интеллектуальных систем, которые могут быть отнесены к классу систем общего назначения, являются оболочки экспертных систем.

К специализированным интеллектуальным системам отнесены те, которые выполняют решение фиксированного набора задач, predetermined при проектировании системы. Для использования таких систем требуется заполнить их данными, соответствующими выбранному приложению. До недавнего времени при разработке специализированных систем использовалась технология традиционного (процедурного) программирования, что позволяло обеспечить их высокую эффективность. Однако эта технология существенно ограничивала способность систем к изменению их поведения при изменяющемся окружении, что крайне важно для решения многих интеллектуальных задач. В связи с этим в последнее время с целью устранения этого недостатка специализированные интеллектуальные системы (системы речевого общения, системы обработки изображений) стали разрабатывать, используя технологию инженерии знаний, в виде экспертных систем.

Данная книга посвящена описанию современного состояния разработки систем общения и экспертных систем, т.е. той разновидности интеллектуальных систем, которые получили наиболее широкое распространение на практике. К системам общения отнесены системы обработки текстов естественного языка (ЕЯ-системы), системы речевого общения, системы обработки визуальной информации и системы машинного перевода. К экспертным системам отнесены собственно экспертные системы и оболочки экспертных систем.

При рассмотрении каждого из перечисленных выше типов систем использован следующий порядок изложения: 1) особенности, характеризующие системы данного типа; 2) обзор систем; 3) описание отечественных систем данного типа. Детальное описание именно отечественных, а не зарубежных систем предпринято с той целью, чтобы читатели могли не только ознакомиться с принципами и методами построения интеллектуальных систем, но и получить для использования заинтересовавшую их систему. При отборе отечественных систем предпочтение отдавалось тем, которые находятся на промышленной или коммерческой стадии. При этом под промышленной понимается такая стадия существования системы, которая характеризуется как наличием документации, выполненной по требованиям ЕСКД или ЕСПД, так и проведением соответствующих испытаний, под коммерческой — стадия, следующая за промышленной и характеризующаяся наличием организации (типа СНПО "Алгоритм"), осуществляющей поддержку и распространение системы по заявкам заинтересованных организаций.

Книга состоит из двух частей. Первая часть, охватывающая гл. 1-12, содержит описание и обзор интеллектуальных систем общения: систем обработки текстов естественного языка (гл. 1-3), систем речевого общения (гл. 4-6), систем обработки изображений (гл. 7-9) и систем машинного перевода (гл. 10-12). Необходимо отметить, что подавляющее большинство существующих систем общения, как отечественных, так и зарубежных, построены как специализированные интеллектуальные системы с использованием технологии процедурного программирования.

Вторая часть, охватывающая гл. 13-18, посвящена рассмотрению на примере экспертных систем интеллектуальных систем общего назначения. Здесь рассмотрены вопросы проектирования экспертных систем (гл. 13), приведен обзор экспертных систем и инструментальных средств, предназначенных для их создания (гл. 14). Завершается вторая часть рассмотрением отечественных "оболочек" (гл. 15 и 16), находящихся на промышленной или коммерческой стадиях, и экспертных систем, созданных на их основе (гл. 17 и 18).

Необходимо подчеркнуть, что данная книга не охватывает всех существующих типов интеллектуальных систем. Так, за ее рамками остались системы, используемые в САПР и САНИ, системы ИИ для решения задач в области планирования и проектирования. Предполагается, что перечисленные системы ИИ будут описаны в последующих томах справочника.

Книга ориентирована на широкий круг пользователей ЭВМ, которые, ознакомившись с ней, могут получить представление о возможностях существующих интеллектуальных систем и о том, насколько эти системы могут удовлетворить их потребности. Она будет полезна и разработчикам автоматизированных систем, не использовавшим ранее методы искусственного интеллекта в своей работе.

### **Оглавление 2 тома**

Глава 1. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ. Данные и знания (Д.А.Поспелов). Логические модели (Г.С.Плесневич). Сетевые модели (В.С.Лозовский). Продукционные модели (Д.А.Поспелов). Сценарии (Л.В.Литвинцева). Ленемы (Е.Ю.Кандрашина).

Глава 2. МЕТОДЫ РАБОТЫ СО ЗНАНИЯМИ. Приобретение и формализация знаний (Л.Н.Аверкин, А.Ф.Блишун, Т.А.Гаврилова, Г.С.Осипов). Пополнение знаний (Л.В.Литвинцева, Д.А.Поспелов). Обобщение и классификация знаний (В.Н.Вагин, Н.П.Викторова). Дедуктивный вывод на знаниях (В.Н.Вагин). Неточный вывод на знаниях (Л.Р.Хачатрян).

Глава 3. ОБЩЕНИЕ. Уровни понимания (Д.А.Поспелов). Понимание текстов на естественном языке (И.В.Совпель). Синтез связных текстов (Л.С.Зубов, Н.В.Руссова).

Машинное творчество (А.Г.Гаазе-Рапопорт, Р.Х.Зарипов). Когнитивная компьютерная графика (Л.Л.Зенкин). Компьютерные игры (Г.Г.Гнездилова, О.А.Гончаров, Г.В.Сенин).

Глава 4. РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ И АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ (Ю.И.Журавлев, И.Б.Гуревич). Проблема распознавания. Математическая теория распознавания образов. Распознавание изображений. Алгоритмические базы знаний.

Глава 5. ВОСПРИЯТИЕ И ПЕРВИЧНАЯ ОБРАБОТКА ЗРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ. Зрительное восприятие человека и машинное зрение (В.В.Александров, Н.Д.Горский). Восприятие двумерных изображений (Н.Д.Горский). Восприятие трехмерных сцен (В.С.Шнейдеров).

Глава 6. ОБУЧЕНИЕ (А.А.Мартirosян, Э.М.Погосян). Модели обучения. Обучение по примерам. Обучающиеся системы.

Глава 7. ПЛАНИРОВАНИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ. Планирование действий (Л.Н.Аверкин, Е.И.Ефимов). Планирование при синтезе программ (М.И.Канович, Г.Е.Минц). Поступки и поведение (Д.А.Поспелов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (составитель Н.В.Руссова).

### **Оглавление 3 тома**

#### **Тей, 1990**

Логический подход к искусственному интеллекту: от классической логики к логическому программированию: Пер. с франц./ А. Тей, П. Грибомон, Ж. Луи, Д. Снийерс, П. Водон, П. Гоше, Э. Грегуар, Э. Санчес, Ф. Дельсарт — М.: Мир, 1990. — 432 с., ил. Библиогр. 115 назв

#### **Аннотация.**

Монография специалистов из Бельгии и Швейцарии, излагающая проблемы и методы искусственного интеллекта с точки зрения математической логики. Она состоит из шести глав: логика, аксиоматические системы, представление знаний и рассуждений, логика и модифицируемые рассуждения, формальные грамматики и логическое программирование, Пролог и логическое программирование. Книга построена так, что для понимания материала от читателя требуется только знание основ информатики.

Для всех изучающих и использующих методы искусственного интеллекта и логического программирования.

#### **Оглавление.**

##### 1. ЛОГИКА

1.1. ИСЧИСЛЕНИЕ ВЫСКАЗЫВАНИЙ. Словарь. Синтаксис исчисления высказываний. Семантика исчисления высказываний. Исчисление высказываний и естественный язык. Выполнимые и общезначимые формулы. Алгоритмическая точка зрения. Алгоритм редукции. Алгебраический подход. Дизъюнкты и нормальные формы. Алгоритм Девиса и Патнема. Принцип резолюций. Доказательства невыполнимости, основанные на принципе революций. Приложения и примеры использования метода резолюций. Неклаузальное правило резолюций. Хорновские дизъюнкты. Хорновские дизъюнкты и КС-грамматики. Теорема компактности.

1.2. ИСЧИСЛЕНИЕ ПРЕДИКАТОВ. Введение. Словарь. Синтаксис исчисления предикатов. Свободные и связанные переменные, область действия. Семантика исчисления предикатов. Подстановка и конкретизация. Предваренная и нормальные формы. Сколемовские и клаузальные формы. Эрбранова интерпретация и компактность. Два простых примера. Алгоритм Куайна, Девиса и Патнема. Фундаментальная резолюция. Унификация. Метод резолюций. Принцип логического программирования.

## 2. АКСИОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ.

2.1. АКСИОМАТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ЛОГИКЕ. Свойства аксиоматических систем. Простая аксиоматическая система исчисления высказываний. Несколько интересных теорем. Полнота. Польза аксиоматических систем. Система натурального вывода. Классические аксиомы для квантификации. Натуральный вывод в логике предикатов. Равенство в исчислении предикатов.

2.2. ТЕОРИИ ПЕРВОГО ПОРЯДКА. Неформальные и формальные теории. Польза теорий. Теория частичного порядка. Модели теории. Алгоритмы и разрешимость. Алгоритмический язык Тьюринга. Алгоритмический язык Гёделя. Кодирование и тезис Чёрча. Класс вычислимых функций. Проблема остановки.

## 3. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ И РАССУЖДЕНИЙ.

3.1. ЛОГИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ. Синтаксис логики предикатов. Преобразование унарных предикатов в бинарные. Преобразование  $m$ -арных предикатов в произведение бинарных. Явное представление ссылок. Представление функциями. Семантика логики предикатов. Модальная логика предикатов. Модальные операторы. Синтаксис модальной логики предикатов. Трёхзначная семантика для модальной логики предикатов  $F \setminus G$ . Семантика возможных миров  $F \setminus G$ . Лямбда-исчисление. Рассуждения, использующие логические формулы. Рассуждения по поводу знаний. Системы прямой дедукции. Системы обратной дедукции.

3.2. СЕТЕВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ. Концептуальные графы. Пример и терминология. Семантические сети. Правила конъюнкции и упрощения. Представление контекста.

Представление "совокупность — ссылка". Пример введения кванторов. Временные и модальные операторы. Канонические графы. Правила построения. Унаследованные свойства. Решетки типов; иерархии типов. Решетки множеств и решетки типов. Определение типа посредством рода и различия. Прототипы. Схемы и схематические кластеры. Рассуждения, использующие семантические сети.

3.3. ОБЪЕКТНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ. Сцепки. Фреймы и слоты. Явные фреймы. Функциональные фреймы. ?-квантификация. Рассуждения, использующие объектное представление. Паросочетание. Функциональные атрибуты. Автоматические рассуждения, использующие фреймы. Иерархические рассуждения, использующие фреймы. Рассуждения с умолчаниями.

#### 4. ЛОГИКА И МОДИФИЦИРУЕМЫЕ РАССУЖДЕНИЯ.

4.1. МНОГОЧИСЛЕННЫЕ РОЛИ ЛОГИКИ. Логика как средство для представления знаний и рассуждений. Логика как формализм ссылок. Неизбежность логики. Анализ знаний и рассуждений.

4.2. ЛОГИКА И МОДИФИЦИРУЕМЫЕ РАССУЖДЕНИЯ. Формализация модифицируемых рассуждений. Классическая логика и общезначимые рассуждения. Характеристики немонотонных логик. Зацикливание правил немонотонного вывода. Полирасширяемость немонотонной системы. Различные формы немонотонных рассуждений.

4.3. ЛОГИКИ УМОЛЧАНИЙ. Теории с умолчаниями. Примеры применения умолчаний. Расширения теорий с умолчаниями. 4.3.5. Примеры расширений теорий с умолчаниями. 4.3.6. Нормальные теории. Теория доказательств для нормальных теорий. Полуноральные теории. Наследственные системы с исключениями.

4.4. МОДАЛЬНЫЕ ЛОГИКИ ЗНАНИЯ И ВЕРЫ. Некоторые элементарные модальные системы. Семантика возможных миров.

4.5. НЕМОНОТОННЫЕ ЛОГИКИ МАК-ДЕРМОТТА. Язык логики Мак-Дермотта. Пример немонотонной аксиоматической системы. Ценность логики Мак-Дермотта.

4.6. АВТОЭПИСТЕМИЧЕСКИЕ ЛОГИКИ. Язык и семантика. Характеризация синтаксиса. Анализ немонотонной логики. Семантика возможных миров. Области применения.

#### 5. ФОРМАЛЬНЫЕ ГРАММАТИКИ И ЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ.

5.1. ФОРМАЛЬНЫЕ ГРАММАТИКИ И ЛОГИКА. КС-грамматики. Формальное определение КС-грамматики. КС-грамматика и хорновские дизъюнкты. ОК — грамматики. ОК — грамматики и логика. Построение синтаксического дерева. ОК — грамматики в Прологе. Графическое представление и стратегии.

5.2. ИЕРАРХИЯ ХОМСКОГО. Регулярные грамматики. Конечные автоматы. КС-грамматики и стековые автоматы. Грамматики и языки Хомского типа 1. Машины Тьюринга и грамматики типа 0.

5.3. ФОРМАЛИЗМ УСИЛЕННЫХ СЕТЕЙ ПЕРЕХОДОВ. Конечные автоматы и диаграммы переходов. Базовые сети переходов. Рекурсивные сети переходов. Усиленные сети переходов. Построение синтаксического дерева. УП-сети и ОК-грамматики.

## 6. ПРОЛОГ И ЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ.

6.1. ОСНОВЫ ЯЗЫКА. Термы и объекты. Факты и элементарные вопросы. Конъюнкция. Переменные. 6.1.6. Анонимные переменные. Правила. Рекурсивные правила. Дизъюнкция. Отрицание. Области действия имен. Операторы.

6.2. АЛГОРИТМЫ ПРОЛОГА. Соответствие и унификация. Вычисление ответа. Встроенные предикаты. Отсечение.

6.3. ИНСТРУМЕНТАРИЙ И ПРИМЕР. Вычислительные процедуры. Списки. Операции над списками. Перестановки и сортировки. Представление списка в виде разности списков. Ввод-вывод. Примеры ввода-вывода. Анализ и построение термов. Объявление оператора. Поиск в пространстве решений.

6.4. ПРОЛОГ И КС-ГРАММАТИКИ. Распознавание КС — фраз. Анализ КС — фраз. ОК — грамматики и атрибутивные грамматики.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

**Из предисловия редактора перевода Г. П. Гаврилова**

Многообразие научных и технических исследований, называемое искусственным интеллектом, уже давно использует различные логические средства — язык, понятия и приемы логических исчислений. В искусственном интеллекте есть целая область, существенно опирающаяся на логические представления и конструкции, основная ее задача состоит в разработке способов доказательства теорем.

Вполне естественным поэтому представляется стремление авторов данной книги рассказать и показать, где и как работает логика в искусственном интеллекте; причем они попытались сделать это так, чтобы изложение было доступно даже читателю, не имеющему специальной подготовки ни по искусственному интеллекту, ни по логике.

Отметим, однако, что решить эту сложную задачу в полной мере авторам, как нам кажется, пока не удалось. Но все же "развеять немного туманную завесу" над довольно обширной "логической панорамой" искусственного интеллекта они смогли.

Читателю, не являющемуся специалистом по логике, книга, бесспорно, сослужит добрую службу, хотя и потребует от него систематического ее прочтения и привлечения хорошего руководства по математической логике. Для читателя, имеющего традиционную

логическую подготовку, т. е. изучавшего теорию высказываний (логику и исчисление) и теорию предикатов первого порядка (логику и исчисление), интерес могут представить гл. 3 и 4, материал которых на русском языке в достаточно последовательном и полном виде пока еще не появлялся. Та часть книги, в которой описывается ряд аспектов логического программирования, просто представляет читателю некоторые взаимосвязи, существующие между логическими исчислениями и языками логического программирования. Она, естественно, не может служить руководством по Прологу.

В предисловии авторы говорят о своем намерении осветить в последующих томах и другие важные приложения логики в искусственном интеллекте. Как стало известно, в настоящее время появился второй том, имеющий подзаголовок "От модальной логики к логике баз данных".

В заключение отметим, что, по нашему мнению, книга будет полезна научным и инженерно-техническим работникам, а также студентам старших курсов вузов и всем читателям, интересующимся приложениями математической логики.

#### **Из предисловия авторов**

Цель этой книги — представить понятия и методы искусственного интеллекта (ИИ), используя в качестве определяющего логический подход. Мы стремились добиться достаточно автономного и дидактически выдержанного изложения. Оно ориентировано на читателей (студентов или исследователей), имеющих хорошую культуру в области математики и информатики. Однако особых знаний ни в логике, ни в ИИ не предполагается. Мы пока что запланировали выпустить два тома. Содержание данного тома, первого из них, можно описать следующим образом.

В первой главе собраны математические и логические сведения, которые будут использоваться в дальнейшем. Излагаются основные понятия классической логики. Сперва рассмотрено исчисление высказываний, а затем — исчисление предикатов. Особое внимание уделено методу резолюций и связанным с ним понятиям, что обусловлено их ролью в приложениях.

Вторая глава представляет аксиоматический подход к логике и служит введением в теории первого порядка. В ней показано, как исчисление предикатов превращается в основу теории для изучения специфических математических структур. В этом контексте изложены некоторые фундаментальные вопросы логики, естественным образом продолжающиеся в теоретическую информатику. В частности, это касается алгоритмических языков Тьюринга и Гёделя, тезиса Чёрча, класса вычислимых функций и понятия разрешимости.

В третьей главе показано, как классическая логика (особенно логика предикатов) может использоваться для представления знаний и автоматических рассуждений,

относящихся к ним. Изложены методы, позволяющие преобразовать логическое представление в сетевое и объектное. Затем обсуждаются сравнительные достоинства этих различных представлений. Классическая логика связана с формализацией корректных рассуждений. Однако, как это бывает в ИИ, моделирование рассуждений не ограничивается областью абсолютно корректных рассуждений. Основанные на неполной, неточной или изменчивой информации, наши рассуждения часто гипотетичны, лишь в той или иной степени правдоподобны и предполагают осуществление систематических пересмотров (модификаций).

Четвертая глава служит введением в логики, которые предназначены для формализации модифицируемых рассуждений: логики умолчаний, модальные логики знания и веры, немонотонные логики, автоэпистемические логики.

Пятая глава — вспомогательная. В ней показывается, как логическая интерпретация формальных грамматик и их правил вывода приводит к языкам логического программирования, наиболее известным из которых является Пролог. Грамматики классифицированы по иерархии Хомского. Каждая из грамматик этой иерархии описывается соответствующей машиной или автоматом. Автомат является основной моделью в теории грамматик и языков. Эта модель послужила источником сетевого формализма. Показана связь между такими сетями и языками функционального программирования, среди которых особенно типичен Лисп.

В шестой главе представлен язык программирования Пролог. Его создание навеяно формальной логикой и формальными грамматиками. В Прологе некоторые логические формулы (хорновские дизъюнкты) становятся инструкциями, допускающими исполнение на ЭВМ. Пролог можно считать языком ИИ, который хорошо приспособлен для автоматизации некоторой формы логических рассуждений. В этом смысле он представляет собой итог изучения понятий и методов ИИ, основанных на логике.

Итак, главная цель авторов — изложить согласованно и стройно набор дисциплин, включающий: классические логики, представление знаний и корректные рассуждения, неклассические логики, модифицируемые рассуждения, формальные грамматики, теорию автоматов, логическое программирование (особенно язык Пролог). Это интеграция различных дисциплин такого типа для решения сложных проблем, составляющих предмет того, что обычно принято называть ИИ. Среди проблем, особенно часто исследуемых свойственными ИИ методами, назовем распознавание и понимание речи и изображений, создание экспертных систем, имитацию рассуждений (например, в функционировании сознания или медицинских дисциплинах), робототехнику.

Планируется выпуск второго тома, который будет посвящен четырем следующим темам: временная логика и ее приложения в ИИ и информатике, углубленное изучение представления знаний и рассуждений, логические грамматики и их применение к моделированию естественного языка и пониманию речи, логика баз данных и баз знаний.

Авторы хотели представить в этих двух томах основы ИИ, руководствуясь логикой. Важные аспекты ИИ были либо сильно сокращены (как, например, логическое программирование), либо полностью обойдены молчанием. В частности, последнее относится к: функциональному программированию и объектно-ориентированному программированию, доказательству теорем и верификации программ, эвристикам поиска и стратегиям, видению, пониманию речи, обучению, построению экспертных систем. Эти темы могли бы быть изложены в последующих томах.

### **Тихомиров, 1979**

**Интеллект человека и программы ЭВМ. Ред. О.К.Тихомиров. М.: Наука, 1979**

#### **Аннотация.**

В книге рассматриваются психологические вопросы связанные с автоматизацией умственного труда. Описываются методы и результаты экспериментально-психологического исследования интеллектуальной деятельности человека в режиме «диалога» с ЭВМ, обсуждаются перспективы приближения искусственных систем к возможностям человеческого интеллекта. Анализируются общие психологические условия повышения эффективности создания автоматизированных систем. Книга рассчитана на психологов, философов, специалистов по автоматизации умственного труда.

#### **Содержание.**

#### **РАЗДЕЛ I. ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДИАЛОГОВЫХ СИСТЕМ**

*О.К.Тихомиров, И.Г.Белавина.* Интеллектуальная деятельность в условиях «диалога» с ЭВМ.

*О.К.Тихомиров, Ю.Д.Бабаева.* Применение ЭВМ для управления процессами целеобразования.

*А.Е.Войскунский.* Критерий Тьюринга, мышление и общение.

*А.Е.Войскунский.* «Искусственный интеллект» и вопросы коммуникации.

*Л.И.Ноткин.* Ответственность пользователя ЭВМ за результаты деятельности.

#### **РАЗДЕЛ II ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ АСУ.**

*Л.М.Бергер, Б.К.Кошкин.* Опыт применения психологических знаний при создании АСУ.

*Э.Д.Телегина, Л.А.Абрамян.* Роль активности личности в повышении эффективности автоматизированного управления.

### РАЗДЕЛ III. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИБЛИЖЕНИЯ «ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА» К ЧЕЛОВЕЧЕСКОМУ

*Е.С.Кузин.* Психология мышления и проблемы создания «искусственного интеллекта».

*Л.М.Веккер.* «Искусственный интеллект» и стратегия анализа познавательных структур естественного интеллекта.

*Ю.В.Орфеев.* Возможности моделирования образного и понятийного мышления на ЭВМ.

*Е.Н.Винарская.* Операции фонемного различения в речевых и умственных действиях.

*В.Ф.Рубахин.* «Искусственный интеллект» и принятие решений.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.**

#### **Уинстон, 1980**

*Уинстон П.* Искусственный интеллект. М.: Мир, 1980. — 530 с.

#### **Аннотация**

Монография написана крупным американским ученым, известным читателю по переводу «Психологии машинного зрения» (М.: Мир, 1978). Особое внимание в ней уделяется вопросам адекватного представления знаний о внешнем по отношению к системе мире при анализе сцен, восприятии текстов, манипулировании предметами, при построении вопросно-ответных систем. Она содержит ряд подробных программ, написанных на языке Лисп.

Книга не требует специальной подготовки. Она будет полезным руководством по теории и применению идей искусственного интеллекта вплоть до их реализации на языках программирования и будет с интересом прочитана психологами и лингвистами.

#### **Оглавление**

##### *ЧАСТЬ I*

1. РАЗУМНАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА. Область искусственного интеллекта и данная книга. Что могут делать вычислительные машины. Резюме. Литература.

2. РАСПОЗНАВАНИЕ АНАЛОГИЙ И УСВОЕНИЕ ПРОСТЫХ ПОНЯТИЙ. Варианты представления. Интеллектуальные тесты на поиск аналогий. Обучение простым описаниям.

3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ. Использование ограничений при анализе сцен. Использование ограничений при анализе предложений.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ. Основные методы поиска. Распространение меток на сетях. Действия при наличии противника.

5. УПРАВЛЕНИЕ ВНИМАНИЕМ. Проблемы управления. Анализ цели — средства и универсальный решатель задач. Правила типа ситуация — действие и система продукций. Система продукций и решение задач человеком.

6. СМЫСЛ СМЫСЛА. Мир кубиков. Структура групп существительного. Интерпретация вопросов и команд.

7. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ ВО ФРЕЙМАХ. Сети и фреймы. Рассуждения на уровне здравого смысла и концептуальная зависимость. Газетные новости и детские рассказы.

8. ТОЧКИ ЗРЕНИЯ НА ЗРИТЕЛЬНОЕ ВОСПРИЯТИЕ. Наследие. Анализ изображений. Описание сцены.

9. ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ И ОБУЧЕНИЕ ЛЮДЕЙ МЫШЛЕНИЮ. Вопросы, касающиеся знания. Анализ масс-спектрограмм. Лечение бактериальных инфекций. Обучение важным представлениям и идеям. Мифы о мышлении.

## *ЧАСТЬ II*

10. ПРОГРАММИРОВАНИЕ. Роль программирования. Роль языка Лисп.

11. ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ НА ЯЗЫКЕ ЛИСП. Оперирование символами. Функции APPEND и CONS конструируют списки. Программирование на языке Лисп.

12. МИР КУБИКОВ. Планирование последовательности движений. Ответы на вопросы о целях. Получение программы из данных.

13. МИР ИГР. Реализация минимаксного поиска. Введение усечения альфа-бета.

14. СИМВОЛЬНОЕ СОПОСТАВЛЕНИЕ С ОБРАЗЦОМ. Элементарное сопоставление с образцом. Смоделированный психиатр. Студент алгебраист.

15. РЕАЛИЗАЦИЯ ВСТРОЕННЫХ ЯЗЫКОВ. Компиляция расширенных сетей переходов в программы на Лиспе. Интерпретация систем продукций. Лисп на Лиспе.

16. БАЗЫ ДАННЫХ И ДЕМОНЫ. Библейский мир. Множественные миры. Процедуралисты и декларативисты.

17. ЗАДАЧИ ДЛЯ РАЗМЫШЛЕНИЯ.

ПРИЛОЖЕНИЕ: некоторые основные функции Лиспа.

ИМЕННОЙ И ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛИ.

**Из предисловия редактора перевода Д.А.Поспелова**

За последние семь лет вышло немало книг на русском языке, посвященных проблемам искусственного интеллекта. Три книги с одинаковым названием “Искусственный интеллект” принадлежат американским авторам: Дж.Слейглу, Н.Нильсону и Э.Ханту [Слейгл, 1973; Нильсон, 1985; Хант, 1978]. Теперь читателю предлагается еще одна книга с тем же названием. Возникает естественный вопрос — почему переводится так много “одинаковых” книг?

Область науки, получившая, может быть не слишком удачное название “искусственный интеллект”, неискушенному читателю обычно представляется сферой исследований, основной целью которых является создание устройств, имитирующих человека во всей полноте его деятельности. На самом деле специалисты, работающие в этой области, преследуют гораздо более скромную цель — выявить принципиальные механизмы, лежащие в основе человеческой деятельности, чтобы применить их при решении конкретных научно-технических задач.

“Разумные” системы создаются для работы в средах, где присутствие человека невозможно или опасно для жизни. Этим устройствам придется действовать в условиях большого разнообразия возможных ситуаций. Невозможно заранее описать эти ситуации с той степенью подробности и однозначности, которые позволили бы заложить в создаваемую систему жестко запрограммированные алгоритмы поведения. Поэтому системы, вооруженные искусственным интеллектом, должны располагать механизмами адаптации, которые позволили бы им строить программы целесообразной деятельности по решению поставленных перед ними задач на основании конкретной ситуации, складывающейся на данный момент в окружающей их среде.

Такая постановка проблемы выдвигает перед исследователями особые задачи, не возникавшие ранее в теории управления и теории проектирования технических систем. К числу этих задач можно отнести следующие: описание богатой внешней среды и ее отражение внутри системы (часто эту задачу называют задачей представления знаний); управление банком знаний, его пополнение, чистка от ненужной информации, обнаружение противоречий и недостатка в знаниях; восприятие внешней среды с помощью различного рода рецепторов (зрительных, тактильных, слуховых и т. д.); понимание человека, в частности, понимание естественного языка, который служит для человека универсальным средством коммуникации; восприятие печатного текста и устной речи и преобразование содержащейся в сообщениях информации в форму представления знаний; построение логик внешнего мира, позволяющих выявлять закономерности среды обитания и строить выводы на основе информации, имеющейся на данный момент в модели знаний системы; планирование деятельности — задача, решение которой позволит системе формировать

планы достижения цели с помощью имеющихся в ее распоряжении средств; адаптация и обучение на основе накопленного опыта.

Таково поле деятельности специалистов в области систем искусственного интеллекта. Оно лежит на стыке самых разнообразных дисциплин: программирования и психологии, техники и лингвистики, математики и физиологии. Начиная с 1969 г. раз в два года проходят международные конференции по проблемам искусственного интеллекта, собирающие большое число участников из всех промышленно развитых стран мира. Интерес к этой области неуклонно растет. Создание систем, обладающих искусственным интеллектом, поможет решить важнейшие глобальные проблемы современности — позволит резко повысить производительность труда, освободит людей от монотонного или вредного для здоровья труда, сыграет принципиально важную роль в освоении океана и космического пространства.

Как и всякая молодая область науки, теория искусственного интеллекта очень динамична и развивается стремительно. То, что еще два-три года назад было передовым достижением, сегодня может безнадежно устареть или оказаться заблуждением. Идеи и модели появляются почти ежемесячно, и хотя большинство их гибнет, так и не дав ощутимых плодов, происходит постепенное накопление арсенала знаний, приемов и методов, которые прошли проверку временем и могут быть рекомендованы для использования при создании роботов и других “разумных” систем. Этот “золотоносный осадок” отражается в монографиях ведущих специалистов, работающих в области искусственного интеллекта.

Имя Патрика Уинстона вряд ли нуждается в особой рекомендации. Он принадлежит ко второму поколению специалистов в области искусственного интеллекта. Массачусетский технологический институт, в котором работает Уинстон, является ведущим научным центром в данной области. Здесь возникли многие идеи, ставшие основополагающими в теории представления знаний, теории искусственного зрения, теории систем “глаз — рука”. Патрик Уинстон принимал в формировании этих идей непосредственное участие. Это и определяет интерес к написанной им книге.

В отличие от книги Дж.Слейгла, где автор описывает различные остроумные, но узко-специализированные программы, П.Уинстон излагает общие принципы и механизмы, которые по его мнению должны лежать в основе разумной деятельности. Н. Нильсон считал (и в то время это казалось вполне оправданным), что универсальным механизмом любой творческой деятельности является “хорошая” организация перебора вариантов. Поэтому в книге Н.Нильсона так много внимания уделено механизмам оптимизации перебора и поиска. Э.Хант в качестве центрального механизма, наряду с перебором, рассматривал механизм

образования понятий и системы классификации понятий в памяти системы. П. Уинстон акцентирует внимание на проблеме организации знаний о мире в виде некоторых структур, отражающих реальные связи и отношения между предметами и явлениями в окружающей среде. В этих механизмах автор видит наиболее общие процедуры, характерные для любого вида творческой деятельности. Именно в этом направлении необходимо дальнейшее развитие теории искусственного интеллекта, и успехи в этом направлении станут определяющими при создании хорошо функционирующих технических систем.

Основой представления знаний, по мнению автора книги, может служить теория фреймов. С фреймами советский читатель может ознакомиться по недавно изданной работе М. Минского [Минский, 1978] — одного из зачинателей теории “разумных” систем. В данной книге Уинстон активно использует фреймовые представления для описания знания и работы с ними.

Для программной имитации механизмов работы со знаниями и понимания естественного языка автор использует язык Лисп, ставший в настоящее время общепринятым языком программирования для задач по искусственному интеллекту. В СССР трансляторы с различных версий этого языка имеются как для БЭСМ-6, так и для ЕС ЭВМ. Читатели, которые сталкиваются с Лиспом впервые, могут ознакомиться с ним, например, по книгам У. Маурера и Е. Т. Семенова [Маурер, 1976; Семенов, 1977].

Отметим, что в последние годы на базе Лиспа стали создаваться языки программирования, непосредственно ориентированные на представление знаний в виде фреймов. К числу наиболее известных языков такого типа относятся первые версии FRL (Frame Representation Language — язык для представления фреймов) и KRL (Knowledge Representation Language — язык для представления знаний).

Таким образом, книга П. Уинстона занимает свое, особое место в потоке литературы по проблемам искусственного интеллекта. Знакомство с концепциями автора и его взглядами на основные механизмы, порождающие и направляющие творческую деятельность в разумных системах, будет поучительным и полезным для всех специалистов, работающих в области роботостроения и теории искусственного интеллекта. Вместе с упоминавшимися уже книгами Н. Нильсона и Э. Ханта, а также переведенной на русский язык издательством “Мир” в 1976 г. книгой М. Арбиба “Метафорический мозг” [Арбиб, 1976] книга П. Уинстона дает достаточно полное представление о направлениях развития и методах теории искусственного интеллекта.

### **Из предисловия автора**

Эту книгу можно изучить за один семестр — нужно лишь решиться. Можно указать и на другие, более предпочтительные возможности, когда материал книги разбивается на две

части, одна из которых не включает программирования, а другая, наоборот, целиком посвящается программированию. Первая часть охватывает главы книги с первой по девятую, вторая — с десятой по шестнадцатую.

- Можно воспользоваться первой частью книги как основой для односеместрового курса, в котором вводятся ключевые понятия. Что касается первых пяти глав, то им следует уделить наибольшее внимание, поскольку в них излагаются такие фундаментальные вопросы, как элементарное представление, использование ограничений, поиск и управление. После этого можно рассмотреть избранные темы из следующих четырех глав, в которых обсуждаются проблемы понимания естественного языка, представления знаний общего характера, машинного зрения и решения задач.

- На основе второй части книги можно построить односеместровый курс по языку Лисп, его использованию, а также по производным концепциям типа тех, которые включены в языки Плэннер и Коннайвер.

- Используя соответствие между программами, описанными в первой и второй части книги, можно составить годовой, двухсеместровый курс. Возможно, некоторые предпочтут начать со второй части книги.

- Можно излагать идеи и подкрепляющие их программы одновременно, чередуя материал из первой и второй части. Один из путей реализации такого подхода — излагать понятия из первой части на лекциях, а вопросы программирования из второй части — на семинарских занятиях. Пользуясь такой схемой, можно изучить первые три главы первой части одновременно с первыми главами второй части. Далее, хорошо сочетаются гл. 4 и гл. 13, обе посвященные поиску. Наконец, гл. 5 по управлению и гл. 6 по естественному языку соответствуют гл. 15. по интерпретации систем продукций и компилированию расширенных сетей переходов. При такой параллельной схеме объединение материала из оставшихся глав снова приводит к годовому курсу.

### **Фогель, 1969**

*Фогель Л., Оуэнс А., Уолш М.* Искусственный интеллект и эволюционное моделирование: пер. с англ. Ю.П.Заиченко под ред. А.Г.Ивахненко. М.: Мир, 1969. — 230 с.

#### **Аннотация.**

В книге излагается новый подход к проблеме создания "разумных машин", основанный на использовании так называемых эволюционирующих программ, которые в ускоренном масштабе времени самосовершенствуются в процессе поиска решения задач, как бы имитируя процесс органической эволюции с "естественным отбором" и "выживанием наиболее приспособленных вариантов".

Развитые в книге идеи, подкрепленные серией выполненных авторами экспериментов, позволяют по-новому подойти к ряду актуальных проблем кибернетики — проблемам обнаружения, распознавания и классификации образов, управления производственными процессами и экономическими системами в условиях неполной информации, создания самопрограммирующихся машин, автоматизации некоторых форм научного труда и т.д.

Книга представляет большой интерес для специалистов различного профиля, работающих над проблемами современной кибернетики и ее практических приложений.

### **Оглавление.**

1. ВВЕДЕНИЕ. Определение интеллекта. Пути к искусственному интеллекту.
  2. ЭВОЛЮЦИОННОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ. Предпосылки предсказания. Поиск более общей цели.
  3. ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ПРЕДСКАЗАНИЮ. Эксперименты по предсказанию двоичных последовательностей. Эксперименты по предсказанию последовательностей из 8 символов.
  4. ПРОБЛЕМЫ СОКРАЩЕНИЯ И АНАЛИЗА ДАННЫХ. Диагностика, обнаружение и различение. Распознавание и классификация образов.
  5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ МАШИН. Управление объектом с неизвестными характеристиками. Поиск целей во взаимодействующей среде.
  6. НЕКОТОРЫЕ СЛЕДСТВИЯ. Научный метод как эволюционный процесс. Автоматизация интеллекта.
- ПРИЛОЖЕНИЯ. Предсказания для случая циклической среды. По поводу различных мер сложности. Блок-схема эволюционной программы. Конечные автоматы как примитивно рекурсивные функции. Различные представления конечных автоматов. Логика научного метода.

### **Из предисловия редактора перевода А.Г.Ивахненко**

Книга посвящена важной проблеме моделирования мышления и создания искусственного интеллекта. Основные работы по исследованию этой проблемы либо носят бионический характер (модели нейронов и искусственные нейронные сети, перцептрон Ф.Розенблатта и др.), либо связаны с так называемым эвристическим программированием (работы Ньюэлла, Саймона и Шоу и др.). В отличие от этих уже достаточно известных подходов в предлагаемой читателю книге развивается особый, третий подход к решению указанной выше проблемы, называемый эволюционным программированием.

Моделирование процесса эволюции проводилось неоднократно, однако оно было направлено на решение совсем других проблем. Цель эволюционного программирования,

предлагаемого авторами книги, указана на стр. 28: для упрощения исследования предлагается "заменить процесс моделирования человека моделированием процесса его эволюции". Трудности, возникшие на пути бионического подхода и эвристического программирования, известны. По мнению авторов книги, эволюционное программирование должно быстрее достигнуть цели, а его результаты обещают быть более разнообразными ввиду того, что возможны различные пути создания искусственного интеллекта.

"Интеллект" определяется в книге как "способность принимающего решения устройства достигать определенной степени успеха при поиске широкого многообразия целей в обширном диапазоне сред". Алгоритмы смены цели являются наиболее трудно разрешимым вопросом при бионическом и эвристическом подходах: очень трудно определить, почему и как человек изменяет цели и критерии своего поведения. Однако точно известно, что именно разнообразие целей решает проблему резкого сокращения перебора возможностей ("проклятия многомерности"), например, при моделировании шахматной игры. Так, на стр. 28 мы находим определение искусственного интеллекта как генератора "озарений" ("инсайтов") с целью нахождения новых координат, новых методов решения имеющейся проблемы.

Известны попытки построения бионических моделей "инсайта" на основе систем с "опрокидыванием" положительной обратной связи. Эволюционное программирование, основанное на случайном поиске, обследует другую модель этого процесса, связанную с генерированием новой информации. Нам представляется, что более эффективным методом обнаружения неожиданных новых координат является факторный анализ. Случайный поиск, а также градиентные методы поиска ничего нового к координатам данной среды прибавить не могут; перебор совершается в заданном множестве возможностей.

Основным элементарным актом эволюционного программирования является предсказание: на основе изучения ряда "символов среды" в прошлом и настоящем требуется предсказать последующий символ. "Разумный организм" моделируется алгоритмом решения этой задачи предсказания. Эволюция заключается в самоусовершенствовании алгоритма: каждый алгоритм-потомок предсказывает символы лучше (или — при вырождении — хуже), чем его алгоритм-родитель.

"Потомок" образуется из "родителя" при помощи мутаций — случайного изменения параметров формулы предсказания по данным таблицы случайных чисел. Если имеет место повышение точности предсказания, такое изменение закрепляется (потомок "выживает"). Поэтому основную идею книги можно выразить так: для моделирования процесса эволюции предлагается подробно изучить процесс адаптации предсказывающего фильтра, улучшение параметров которого происходит при помощи случайного поиска.

По-видимому, для такого весьма условного моделирования эволюции можно использовать любой генератор шума и любую формулу предсказания (например, дискретный оператор Колмогорова-Габора). Однако авторы предлагают свой, сравнительно простой алгоритм, весьма напоминающий алгоритм предсказания амплитуды следующей морской волны по отклонениям предыдущих волн от среднего значения. Таким образом, модель авторов принципиально отличается от самонастраивающегося фильтра Габора только тем, что авторы применили случайный поиск для оптимальной настройки фильтра. Из известного положения о единственности оптимальной настройки следует вывод, что эволюция алгоритма предсказания в стационарной среде практически не может продолжаться бесконечно долго и в случае успеха заканчивается определением "наилучшего автомата". Для читателя, знакомого с фильтром Габора и проблемой адаптации, изложение материала во второй главе книги покажется слишком многословным и нестрогим. Некоторые построения автора (например, усреднение двух автоматов для моделирования пола родителей) являются неудачными.

В гл. 3 излагаются результаты экспериментов с самоулучшающимся предсказывающим фильтром. Данные, приводимые здесь, весьма интересны. К сожалению, не приведены данные о результатах действия оптимального фильтра, настроенного на минимум среднеквадратичной ошибки (например, при помощи решения системы нормальных уравнений). Поэтому положение вершины экстремального холма остается неясным. Однако значение описываемых экспериментов не ограничивается определением качества фильтров и имеет большую познавательную ценность. Например, представляет интерес тот факт, что модель "озарения" ("инсайта") осуществляется при помощи автоматического выделения периодических составляющих среды.

В гл. 4 эволюционное программирование видоизменяется для моделирования диагностики, а также для обнаружения и распознавания периодических последовательностей сигналов. Распознавание образов трактуется как одно из многих свойств искусственного разума. Наиболее характерный для данной книги эксперимент — распознавание четырех классов периодических кривых при наложении на них шума. Для этой цели "учитель" (человек) обучал четыре предсказывающих адаптивных фильтра, после чего оценивалась точность их действия, как на обучающей кривой, так и на других кривых.

Гл. 5 посвящена вопросам управления, которое трактуется как естественное продолжение диагностики, различения и распознавания. Эволюционирующая управляющая система представляет собой самонастраивающуюся систему со случайным поиском оптимальных значений параметров. Процесс адаптации параметров и моделирует эволюцию. Сходные идеи можно найти в известных работах В.К.Чичинадзе, хотя последний обращает

основное внимание на результат работы гомеостата и не изучал многообразия хода случайного процесса. В этом и заключается основное отличие данной работы от других исследований, проводившихся в этом направлении.

Наиболее сложным является вопрос о моделировании уровня абстракции, от которого зависит весь ход процесса и даже его результат. Вопрос об уровне абстракции обсуждается в гл. 6, где рассматривается "научный метод" познания как эволюционный процесс, связанный с мутациями (случайным поиском). В результате такого процесса генерируется новая, неожиданная для исследователя идея.

Старое изречение "машина никогда не знает больше, чем программист" просто неверно, — заявляют авторы книги, и с ними нельзя не согласиться. Добавление **индетерминированной** части к системе распознавания или управления в сочетании с аппаратом отбора лучших решений всегда может привести к совершенно неожиданным улучшениям, т.е. к "озарению", "инсайту". В этой же главе авторы обсуждают такие сложные вопросы, как "имеется ли верхний предел развития интеллекта", "что понимать под "желанием" неодушевленного существа" и др., которые, несомненно, вызовут большой интерес у читателя.

... вся книга написана в "постановочном" и дискуссионном плане, и именно поэтому она представляет большой интерес. В последней, седьмой главе авторы кратко повторяют основные положения книги, а в послесловии приводят некоторые мысли, касающиеся возможности применения изложенных идей к социальным проблемам.

В заключение хотелось бы сделать следующие замечания. Во всех кибернетических моделях можно проследить две противоположные друг другу школы. Одна из них связана с анализом причин и следствий, входов и выходов (детерминированный подход), другая — с самопроизвольными процессами самоорганизации (**индетерминированный** подход). Этот вопрос с большим знанием дела освещен в работе Дэвидсона и Смита по моделированию нейронных сетей, а также частично в основополагающей книге Ф.Розенблатта. Некоторым упущением авторов книги является то, что такое "разграничение подходов" для эволюционного программирования в данной книге систематически не проводится, что не позволяет выяснить структуру предлагаемых программ эволюции. Очевидно, что эволюционирующие фильтры могут иметь как рассчитываемую (детерминированную) часть, так и случайный корректор (**индетерминированная** часть). Связь между требуемым для расчета объемом исходной информации и информацией, генерируемой в таком комбинированном предсказывающем фильтре, не рассматривается.

Второе замечание относится к ориентации авторов книги на моделирование эволюции на цифровых вычислительных машинах — по-видимому, на ЦВМ можно

получить лишь сравнительно простые модели (программы) эволюции мозга. Более сложные модели потребуют снова возвращения к аналоговым моделям (например, оптические модели с использованием голографии). Простота рассматриваемых в книге задач предсказания далеко не соответствует сложности и объему реальных задач, причем потеря сложности может привести к качественным изменениям результатов эволюционного программирования. В книге отсутствует четкая программа дальнейших путей исследований в области эволюционного программирования в развитие того, что проделано авторами; видимо, чтобы продолжить работу авторов, требуются новые "инсайты".

... эта книга, посвященная одной из самых важных проблем кибернетики (а также биологии), содержит много новых идей, подкрепленных данными экспериментальных исследований. Поэтому она представляет большой интерес для советских читателей. Можно не сомневаться, что эволюционное программирование найдет своих горячих сторонников и в нашей стране.

#### **Из предисловия авторов**

Жизнь на Земле развивается уже свыше двух миллиардов лет. Первоначально лишь сильнейшие организмы выживали во враждебных им условиях естественной среды и конкуренции с другими живыми организмами. Но с течением времени некоторые их виды приобрели достаточную сложность, чтобы запоминать повторение сходных событий. В результате эти существа развили свое "умение", и вскоре появился закон "выживания наиболее умелых". Выживали те особи, которые умели постоянно чутко опасаться, избегать угроз и использовать средства маскировки. Фактически само существование человека является свидетельством того, что его предки смогли перехитрить, превзойти по уму, а не по силе своих противников в борьбе за существование. Конечно, способность к выживанию измерялась тем, насколько устойчиво данная особь осуществляла правильный выбор стратегии среди множества альтернатив.

С возрастом сенсорных способностей организма он получил возможность распознавать наличие новых ситуаций, которые требовали решений, выходящих за пределы царства "условных рефлексов". Индивидууму приходилось определять, какие аналогии могли бы быть установлены между наблюдаемой ситуацией и теми, в которых набор его навыков и умений в прошлом оказывался полезным. Это явилось началом того, что можно назвать "разумным поведением". В суровых условиях постоянной борьбы часто лишь более разумному существу удавалось выжить и воспроизвести себе подобных. Некоторые виды "решали" проблему выживания путем увеличения числа воспроизводимых потомков, в то время как другие уменьшали объем своей деятельности, чтобы избежать явных опасностей.

Хотя и эти виды представляют интерес, особого внимания заслуживают "существа", которые реагировали на опасности окружающей среды путем разумного приспособления к ней.

Эта способность открывать черты сходства обеспечивает также возможность самонаблюдения и самооценки. Как естественный результат этого появился интерес к проблеме принятия разумных решений. Но только на современной стадии эта заинтересованность стала сопровождаться проникновением в самую природу процесса принятия решений.

За последние годы с развитием техники человечество получило в свои руки новые орудия и средства. Эти средства позволяют человеку синтезировать автоматы, проявляющие именно те черты поведения, которые характерны для его собственного поведения при принятии решений. Моделирование человека может привести к созданию машин, которые будут воспроизводить его способности, но с гораздо большей скоростью, точностью и логической последовательностью.

Но значительно больший интерес представляет исследование логических свойств, лежащих в основе интеллекта. Одним из средств достижения этой цели является изучение естественного процесса, приведшего к развитию все более и более разумных существ. В настоящее время признано, что естественная эволюция представляет собой итеративный процесс, который включает воспроизведение в условиях мутаций, естественный отбор, случайные рекомбинации, индивидуальное обучение и т.д. Можно надеяться, что при воспроизведении специфических черт эволюции будут найдены средства для создания автоматов, наделенных искусственным интеллектом, автоматов, способных решать задачи ранее неизвестными путями. Это может обеспечить более глубокое понимание самой организации интеллекта.

### **Хант, 1978**

*Хант Э.* Искусственный интеллект: пер. с англ. М.: Мир, 1978. — 560 с.

#### **Аннотация.**

Книга посвящена фундаментальным проблемам создания искусственного интеллекта и существующим подходам к их решению. В ней рассматриваются задачи распознавания образов, машинного доказательства теорем, восприятие машиной окружающего физического мира и, наконец, понимание машиной естественного языка. Особое внимание уделяется основным идеям и принципам искусственного интеллекта.

От читателя требуется умеренная математическая подготовка — достаточно знакомства с элементарными понятиями из теории множеств, комбинаторики и математической логики.

Книга полезна широкому кругу исследователей как введение в область искусственного интеллекта и приложений вычислительной техники к различным областям науки (в частности, психологии, биологии, лингвистики). Она может служить учебным пособием для студентов университетов и институтов, изучающих искусственный интеллект.

## **Оглавление**

### **ЧАСТЬ I. ВВЕДЕНИЕ**

#### **1. ОБЛАСТЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА — СУЩЕСТВУЕТ ЛИ ОНА?**

Решение задач. Распознавание образов. Игры и принятие решений. Естественный язык и машинное понимание его. Самоорганизующиеся системы. Роботика.

#### **2. ПРОГРАММИРОВАНИЕ, СТРУКТУРА ПРОГРАММ И ВЫЧИСЛИМОСТЬ.**

Важность понятия вычислимости. Вычисления на цепочках. Формальные грамматики. Машины Тьюринга. Линейно ограниченные автоматы и языки типа 1. Автомат с магазинной памятью и языки типа 2. Конечные автоматы и регулярные языки (типа 3). Резюме и комментарии к практическому использованию.

### **ЧАСТЬ II. РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ.**

#### **3. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ ОБРАЗОВ.**

Классификация. Характеризация задач распознавания образов. Историческая ретроспектива и текущие проблемы.

**4. МЕТОДЫ КЛАССИФИКАЦИИ И РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ ЕВКЛИДОВЫ ПРОСТРАНСТВА ОПИСАНИЙ.** Общая часть. Байесовские процедуры в распознавании образов. Классический статистический подход к распознаванию образов и классификации. Классификация, основанная на близости описаний. Алгоритмы с обучением. Группирование

**5. НЕЕВКЛИДОВЫ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ; ПЕРСЕПТРОН.** Введение и исторические замечания. Терминология. Основные теоремы для перцептронов ограниченного порядка. Другие теоремы для перцептронов ограниченного порядка.. Возможности перцептронов, ограниченных по диаметру. Важность анализа перцептронов

**6. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ.** Последовательная классификация. Определения и обозначения. Байесовские процедуры решения. Байесовские оптимальные процедуры классификации, основанные на динамическом программировании. Приближения, основанные на алгоритмах ограниченного просмотра вперед. Сходимость в последовательном распознавании образов

**7. ГРАММАТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОБРАЗОВ.** Лингвистический подход к анализу образов. Задача грамматического вывода. Грамматический анализ двумерных образов.

8. **ВЫДЕЛЕНИЕ ПРИЗНАКОВ.** Общие понятия. Формализация подхода, использующего факторный анализ. Формализация случая двоичных измерений. Конструктивные эвристические методы для выделения признаков. Экспериментальное изучение порождения признаков в распознавании образов. Как важно быть умным.

ЧАСТЬ III. ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ТЕОРЕМ И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ.

9. **МАШИННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ.** Использование представлений. Типы представлений Комбинирование представлений

10. **ГРАФОВЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ.** Основные понятия и определения. Алгоритмы для нахождения минимального пути к единственной целевой точке. Оптимальный алгоритм упорядоченного поиска. Деревья и их применение.

11. **ЭВРИСТИЧЕСКИЕ ПРОГРАММЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ.** Общие замечания. Терминология. Универсальный решатель задач. Фортранная дедуктивная система — автоматическое порождение таблиц связей. Планирование.

12. **ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ТЕОРЕМ.** Доказательство теорем, основанное на эрбрановской процедуре. Принцип резолюции. Простые стратегии очищения. Стратегии, учитывающие ход вывода. Синтаксические стратегии. Семантические стратегии. Эвристики. Кванторы. Задачи, использующие равенства. Проблемы и будущие разработки

13. **МАШИННОЕ ВОСПРИЯТИЕ.** Проблема восприятия. Зрение. Восприятие машиной речи.

14. **ВОПРОСНО-ОТВЕТНЫЕ СИСТЕМЫ.** Постановка задачи. Структуры данных. Дедуктивный вывод в информационном поиске. Понимание без использования логики.

15. **ПОНИМАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА.** Постановка задачи. Естественный язык: математическая модель. Психологическая модель.

16. **ОБЗОР И ПЕРСПЕКТИВЫ.** Что сделано и что нет. Некоторые философские проблемы. Общая теория мышления.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.

### **Предисловие автора**

Моя книга отражает наиболее устоявшиеся взгляды в области искусственного интеллекта. Намерение написать ее возникло у меня в результате ряда наблюдений за тем, как люди, имеющие подготовку в одной области, с энтузиазмом начинают работать в другой, не осознавая в полной мере, что было сделано здесь ранее. К этому следует добавить, что обучение специалистов в области искусственного интеллекта и в известной степени вычислительных наук вообще, на мой взгляд, слишком сильно зависит от скоро проходящих научных увлечений. Слишком много усилий тратится на то, чтобы вывести студента на

передний край научной области, и слишком мало, чтобы выделить и изучить фундаментальные идеи предмета. Например, в моем университете (Автор — профессор университета в Сиэтле, штат Вашингтон) в первом цикле лекций по искусственному интеллекту (разумеется, это не относится к моим лекциям) рассматриваются интересные, но не совсем относящиеся к теме теории Пиаже о развитии познавательных способностей у человека, а в дальнейшем студентов подробно знакомят с содержанием новейших (часто хороших) диссертаций, выполненных в Массачусетском технологическом институте. Недостаток такого подхода, как я себе это представляю, состоит в том, что студенту предлагается прекрасный вид на несколько деревьев (выбранных преподавателем) и не дается никакого понятия ни о самом лесе, ни о ботанике. Другими словами, я считаю, что преподаватели и выпускаемые ими учебники обязаны больше внимания уделять анализу основных принципов и проблем. Лишь после того, как это сделано, имеет смысл проводить семинары, посвященные последним, только что полученным результатам.

Итак, что же надо делать? Я попытался собрать вместе и представить здесь в меру подробное обсуждение основных математических и вычислительных подходов к проблемам искусственного интеллекта. Основное внимание было уделено принципам, а не деталям. Помимо этого, я постарался выделить главные нерешенные принципиальные проблемы, особенно в области машинного понимания и восприятия. В этой книге нет описания роботов. В ней также нет описания машинной игры в шахматы. Но есть рассуждения, овладение которыми поможет понять основные подходы к машинному распознаванию образов, к построению систем восприятия роботов, к дедуктивным диалоговым системам и машинным играм.

По своему уровню книга подходит студентам, специализирующимся в любой из наук, связанных с ЭВМ, или в экспериментальной психологии. Необходимо хорошо владеть алгеброй и знать основные понятия теории вероятностей, исчисления высказываний и символической логики. Для тех, кто не имеет соответствующей математической подготовки, изложение, вероятно, будет не слишком понятным.

### **Эндрю, 1985**

*Эндрю А.* Искусственный интеллект Перевод с английского канд. техн. наук В.Л.Стефанюка под редакцией д-ра техн. наук, проф. Д.А.Поспелова М.: Мир, 1985. — 264 с. Библиогр. 111 Назв.

### **Аннотация.**

В книге в достаточно популярной форме рассмотрены проблемы создания искусственного интеллекта, отличия работы мозга от работы машины, способы машинного

доказательства теорем, основные принципы беспроеигрышной игры компьютера. Ведь игра — это не только игра в шахматы, шашки, крестики-нолики и т.п. Отталкиваясь от малого, можно прийти к большому. Также рассмотрены основы распознавания образов.

Книга предназначена для широкого круга читателей.

### **Оглавление.**

1. ЧТО ТАКОЕ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ? .
  2. ЭВРИСТИКИ.
  3. ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ТЕОРЕМ.
  4. ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ТЕОРЕМ ДРУГИМ МЕТОДОМ.
  5. ПОИСК ПО ДЕРЕВУ И ИГРА В ШАХМАТЫ.
  6. ДРУГИЕ ИГРЫ.
  7. РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ.
  8. АНАЛИЗ СЦЕН.
  9. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА.
  10. ДВЕ ВАЖНЫЕ ПРИКЛАДНЫЕ ОБЛАСТИ.
  11. ЭСТЕТИКА.
  12. КОНКУРЕНЦИЯ — РЕАЛЬНЫЕ НЕЙРОНЫ.
  13. ДОСТИГНУТЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ .
  14. НЕРЕШЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ.
  15. ПЕРСПЕКТИВЫ НА БУДУЩЕЕ.
- ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ.

### **Из предисловия редактора перевода Д.А.Поспелова,**

В наши дни книги с названием "Искусственный интеллект" стали привычными для читателя. Под таким названием в русском переводе вышли работы Дж.Слейгла, Н.Нильсона, П.Уинстона, Э.Ханта. Теперь вниманию читателя предлагается книга под тем же названием английского ученого А.Эндрю. Что же заставляет авторов писать, а издательства издавать книги с одним и тем же названием? Только ли то, что само это название звучит для широкой публики столь загадочно и притягательно? Разумеется, нет. Искусственный интеллект является сейчас "горячей точкой" научных исследований. В этой точке, как в фокусе, сконцентрированы наибольшие усилия кибернетиков, лингвистов, психологов, математиков и инженеров. Именно здесь решаются многие коренные вопросы, связанные с путями развития научной мысли, с воздействием достижений в области вычислительной техники и роботики на жизнь будущих поколений людей. Здесь возникают и получают права гражданства новые методы научных междисциплинарных исследований. Здесь формируется

новый взгляд на роль тех или иных научных результатов и возникает то, что можно было бы назвать философским осмыслением этих результатов.

Именно поэтому книги с одинаковым названием "Искусственный интеллект" столь различны по своему содержанию. Если авторы первоначальных изданий такого типа (например, Дж.Слейгл) просто собирали под одной обложкой описания разнородных и разнообразных программных систем, обладающих элементами искусственного интеллекта, не делая никакой попытки взглянуть на них с единой точки зрения, то сейчас на первый план выступает задача формирования единого взгляда на проблему искусственного интеллекта, а конкретные достижения в рассматриваемой области используются лишь как иллюстрации для подтверждения общей точки зрения.

Такова и книга А.Эндрю, которую предваряет настоящее предисловие. Автор книги в достаточно популярной форме излагает свой взгляд на проблему искусственного интеллекта, на пути и методы повышения уровня "интеллектуальности" разрабатываемых ныне программных систем, на перспективы исследований в этой области.

С самого начала работ по созданию интеллектуальных систем возникли два вопроса: какова глобальная цель подобных исследований и какова их глобальная стратегия? Является ли их целью познание феномена естественного интеллекта и нужно ли копировать тот путь, по которому шла природа, создавая этот феномен? От ответа на эти два вопроса зависело, как развивать исследования в области искусственного интеллекта и куда направлять основные средства и усилия. На первый из поставленных вопросов ответ был более или менее однозначным. Несмотря на то что призыв "Познай самого себя" актуален для человечества с тех давних времен, когда только зародилось его самосознание, на современном этапе развития работ в области искусственного интеллекта его нельзя рассматривать как основную — и тем более единственно возможную цель. С практической точки зрения более важной представляется другая цель: создание искусственных систем, способных выполнять не хуже (а возможно, и лучше) человека ту работу, которую люди традиционно относят к сфере интеллектуального труда.

Однако по вопросу о путях достижения этой цели мнения специалистов на первом этапе развития исследования по созданию искусственных интеллектуальных систем резко разделились. Большая часть их склонялась к тому, что ни о каком повторении пути природы, ни о каких аналогиях с принципами, заложенными в естественном интеллекте, не может быть речи. В конце концов, вычислительные машины, успешно имитирующие способности человека к счету, весьма мало напоминают что-либо присущее живому организму, а реализованные на ЭВМ программы для создания музыкальных произведений или поэтических опусов никоим образом не имитируют особенности творческого процесса

человека. Для сторонников этой точки зрения "совпадение по результату" казалось достаточным для утверждения о том, что те или иные стороны естественного интеллекта успешно смоделированы.

Но часть специалистов, оставшихся в меньшинстве, считали подобный путь ошибочным. По их мнению, путь к достижению системами искусственного интеллекта идеала — полноценной имитации возможностей естественного интеллекта — проходит лишь через имитацию структуры и реализованных на ней функций, характерных для живых систем. Отсюда интерес этих специалистов к результатам, полученным в биологии, физиологии, психологии. Развитие моделей искусственных нейронных сетей, появление устройств типа персептрона или пандемониума, резко отличающихся по способу своего действия от традиционных вычислительных машин, — результаты исследований в этом направлении.

На современном этапе развития исследований в области искусственного интеллекта эти две крайние точки зрения сближаются. Противники копирования опыта природы при конструировании интеллектуальных систем начинают понимать, что многие важные задачи могут быть успешно решены только при обращении к этому источнику, а сторонники второго направления вынуждены согласиться с тем, что ряд функций интеллекта, связанных с символьными преобразованиями, эффективнее и легче реализовать "нечеловеческими" способами.

Именно такую компромиссную позицию и излагает в своей книге А. Эндрю, в прошлом твердо придерживавшийся взглядов второго направления. Этим его книга отличается от работ Н.Нильсона или Э.Ханта, в которых доминирующую роль играет идея символьных преобразований.

Область искусственного интеллекта развивается столь бурно, что за время, которое проходит от замысла написать книгу на эту тему (книга А.Эндрю писалась в 1981 г.) до ее выхода в свет (в данном случае — 1983 г.), а тем более до ее появления в переводе на другой язык, происходит существенное изменение во взглядах на многие аспекты этой науки и в оценках многих ее прежних достижений. Поэтому мы считаем целесообразным хотя бы вкратце познакомить читателя с "последним" взглядом на проблему, бытующим среди специалистов в настоящее время (в середине 1984 г.).

В последние годы исследования в области искусственного интеллекта вступили в новую фазу. Неожиданно для многих эта область науки, считавшаяся прежде чисто теоретической, дала толчок к созданию практически полезных и интересных систем. И такими системами оказались не роботы, внедрение которых в нашу жизнь происходит не столь уж быстро, а системы совсем другого типа, получившие название экспертных систем.

Термин этот, как увидят читатели, встречается и у А.Эндрю. Но в период написания данной книги еще трудно было предвидеть, сколь значительным окажется влияние этих систем на все развитие данного направления исследований.

В настоящее время создано уже около сотни разнообразных экспертных систем, используемых в различных областях медицины, в экспериментальной химии, фармакологии, геологии, археологии. Экспертные системы начинают внедряться в системах автоматизации проектирования и в экономике, в системах автоматизации научных исследований и в истории — везде, где специалистам приходится иметь дело с большими объемами знаний, носящими, как правило, неформальный характер. Возникает индустрия экспертных систем, а как следствие этого — индустрия знаний, для которой в английском языке появился специальный термин Knowledge Engineering. Этот термин использует и А. Эндрю, придавая ему, однако, весьма узкое значение. Это опять-таки обусловлено тем, что в момент написания книги еще не начался "бум", вызванный появлением экспертных систем.

В книге А.Эндрю затрагиваются различные проблемы, традиционно относимые к искусственному интеллекту. Но то внимание, которое автор уделяет отдельным из них, отражает скорее его личные пристрастия, чем истинную значимость этих проблем в настоящее время. Если судить по количеству исследований, проводимых сейчас специалистами разных стран в области искусственного интеллекта, то, конечно, на первом месте по важности окажутся не работы по программированию игр типа шашек, шахмат и т. д., не работы, связанные с нейронными сетями и построенными на их основе устройствами, и не работы в области эвристического программирования, которым в книге А.Эндрю уделено много внимания. Нет, лидируют сейчас совсем другие исследования, которые можно свести к четырем важнейшим для современного состояния этой науки глобальным направлениям.

Во-первых, это уже несколько раз упоминавшееся направление, которое в самом широком смысле можно определить как проблему представления знаний и работы с ними. Сюда относятся задачи создания специальных языков для представления знаний в вычислительных машинах. Примерами их могут служить язык FRL (версии которого реализованы в СССР на отечественных машинах) и язык KRL. Это направление включает также проблемы, связанные с созданием программных и аппаратных средств для манипулирования знаниями, с пополнением баз знаний, устранением в них противоречий и т. д. Сюда же, наконец, относятся исследования в области создания специальных логик, позволяющих пополнять и обобщать сведения, хранимые в базе знаний. Активизация этих исследований привела уже к построению пригодных для работы с базами знаний временной

и пространственной логик, индуктивных логик для поиска закономерностей по набору конкретных примеров и ряда других логик.

Второе глобальное направление, связанное с созданием и внедрением интеллектуальных систем, обычно определяется как планирование целесообразного поведения. В рамках этого направления решается задача создания так называемого "интеллектуального интерфейса", необходимость которого в последнее время возникла в связи с разработкой вычислительных машин пятого поколения. Речь идет о создании комплекса средств, которые позволили бы в будущем ставить для машин задачи, не выходя за рамки профессионального языка, которым обычно пользуются специалисты в той или иной проблемной области. А система интеллектуального интерфейса с помощью данных, которые хранятся в базе знаний по конкретной проблемной области, должна осуществить перевод этой текстовой информации в программу для машины. Другими словами, интеллектуальный интерфейс призван осуществлять планирование деятельности ЭВМ по решению поставленной пользователем задачи. В такой постановке задача планирования включает в себя проблемы, связанные как с формированием целей и их перестройкой, так и с созданием стратегий для достижения этих целей на основе имеющейся в базе знаний информации.

В книге А.Эндрю этому направлению уделяется недостаточно внимания. Автор подробно рассматривает лишь наиболее старую систему такого типа — GPS — и ту стратегию планирования, которая была в нее заложена. В последние годы появились специальные системы-планировщики, обладающие куда большими возможностями построения программ достижения целей. Укажем лишь на отечественный планировщик, входящий в систему ПРИЗ, созданную в Институте кибернетики АН ЭССР, и планировщик, действующий в составе системы МАВР в ВЦ АН СССР. Их возможности намного превосходят все сказанное о системе планирования, имеющейся в GPS.

Отметим также, что задача планирования целесообразного поведения тесно связана с задачей автоматизации синтеза программ для вычислительных машин. Поэтому ряд систем, предназначенных для синтеза программ, в той или иной мере решает и задачи, связанные с созданием планировщиков. Примером может служить разработанная в Институте теоретической астрономии АН СССР система СПОРА.

В состав интеллектуального интерфейса должны входить специальные средства, обеспечивающие связь вычислительной машины и пользователя на том языке, который привычен пользователю в его повседневной профессиональной деятельности. В более широком плане средства коммуникации должны обеспечивать общение человека и интеллектуальной системы на языке, максимально приближенном к обычному

естественному языку. Цикл исследований по созданию подобных систем составляет содержание третьего глобального направления, развивающегося в рамках искусственного интеллекта. Здесь исследуются различные модели синтаксиса и семантики естественных языков, способы хранения знаний о языке в памяти искусственных интеллектуальных систем, проблемы анализа и синтеза текстов и способы построения специализированных лингвистических процессоров, осуществляющих перевод информации, содержащейся в поступающих в систему текстах, в те внутренние представления, на которых строится работа других подсистем.

Наконец, четвертое глобальное направление исследований в области искусственного интеллекта связано с изучением поведения интеллектуальных систем. Здесь исследуются проблемы восприятия зрительной, акустической информации и информации других видов, поступающей из внешней среды, изучаются методы ее обработки, формирования ответных реакций на воздействия среды и способов адаптации искусственных систем к среде путем обучения. И в этой области искусственного интеллекта сделано уже немало нового, что не смогло найти отражения в книге А.Эндрю. В частности, достигнуты значительные успехи в области анализа трехмерных зрительных сцен, построения систем типа "глаз — рука" или в области формализации таких элементов поведения, как эмоционально окрашенные поступки.

Таковы основные направления работ в области искусственного интеллекта на современном этапе.

### **Из вступления автора**

В этой книге я предпринял попытку рассказать об основных успехах в области знаний, получившей название "искусственный интеллект", и об ее взаимосвязи с другими направлениями научных исследований. К ним, в частности, относятся вычислительная техника и программирование, многие существенные достижения, в которых были стимулированы необходимостью решения проблем искусственного интеллекта. Здесь же можно назвать психологию и нейрофизиологию, причем последняя особенно тесно связана с так называемым "кибернетическим" подходом (т.е. подходом с позиции "самоорганизующихся систем") к искусственному интеллекту. Обсуждается также связь этих исследований с так называемым "основным направлением" (эвристическим программированием — см. далее) работ в области искусственного интеллекта.

Я позволил себе строить довольно смелые прогнозы относительно развития проблемы искусственного интеллекта в далеком будущем, но вместе с тем коснулся и существующих здесь принципиальных ограничений. Следует также отметить, что ценность ведущихся ныне работ преходящая. Сегодня-с появлением микропроцессоров — вычислительные машины все более основательно входят в нашу повседневную жизнь: либо

как собственно вычислительные машины, которыми мы пользуемся дома и на работе, либо как неотъемлемая часть современного автомобиля, стиральной машины и т.д. По-видимому, недалек тот час, когда появятся дешевые портативные системы, достаточно мощные, чтобы допускать реализацию принципов искусственного интеллекта. У них будут "глаза" и "уши", они будут управлять работой механических рук. Вычислительные машины не просто станут обычными в нашей повседневной жизни — они будут участвовать в ней все более "человеческим" образом. Уже имеются мини-машины, способные мастерски играть в шахматы. Сегодня мы можем даже говорить об экспертных системах "карманного размера".

Настоящая книга построена в основном на материале, подготовленном мною для лекций, которые я читал в университете г.Ридинга. Благодаря тому, что моя жена работала на психологическом факультете того же университета, я имел возможность воспользоваться техническими средствами, имеющимися на этом факультете и, в частности, получил ценные советы от И.Робинсон при подготовке иллюстраций. Неоценимую помощь оказала мне моя жена Джойс: она работала над рисунками, сделала немало ценных замечаний относительно содержания и формы книги, исправляла мои грамматические ошибки — и все это несмотря на занятость своей основной работой. Каково бы ни было качество моего труда, оно, безусловно, значительно возросло благодаря ее участию.

### **Контрольные вопросы и задания**

#### ***Общие вопросы.***

- Изложите содержание, представленной в данной главе книги <автор, год>.
- Назовите имена ученых, упомянутых в предисловиях представленной в данной главе книги <автор, год>.
- Назовите авторов, представленной в данной главе книги <название>.

#### ***Конкретные вопросы.***

- Как Р.А.Алиев, Н.М.Абдикеев и М.М.Шахназаров авторы книги "Производственные системы с искусственным интеллектом" определяют ее цели.
- Как И.Л.Букатова, Ю.И.Михасев, А.М.Шаров авторы книги "Эвоинформатика: Теория и практика эволюционного моделирования" определяют актуальность развития эволюционных методов в ИИ.
- Сформулируйте проблему распознавания в том виде, как она представлена авторами книги «Методы распознавания» А.Л.Гореликом и В.А.Скрипкиным в предисловии к ней, а также укажите значение собственно алгоритмов распознавания и причины, обуславливающие уделяемое им внимание.
- Как оценивает Д.А.Поспелов труды Р.А.Ковальского в предисловии к его книге «Логика в решении проблем».
- В чем существо замечаний Д.А.Поспелова по поводу терминологии, встречающейся на страницах книги Р.А.Ковальского «Логика в решении проблем».
- Как оценивает Р.А.Ковальски свою книгу «Логика в решении проблем».
- Почему Р.А.Ковальски считает, что его книгу «Логика в решении проблем» можно

- рассматривать как введение в логику, теорию поиска решений и программирование.
- Как понимают «интеллектуализацию ЭВМ» Е.С.Кузин, А.И.Ройтман, И.Б.Фоминых, Г.К.Хахалин.
  - Какие особенности европейской и американской научных школ ИИ выделяет редактора перевода книги Ж.-Л.Лорьера «Системы искусственного интеллекта» В.Л.Стефанюк в своем предисловии к ней.
  - Как определяет предмет исследований ИИ Ж.-Л.Лорьер в предисловии к своей книге «Системы искусственного интеллекта».
  - В чем видит основное значение теории фреймов Г.С.Поспелов редактор русского перевода книги М.Минского «Фреймы для представления знаний».
  - Изложите суждения Н.Н.Моисеева, предваряющие его книгу «Алгоритмы развития».
  - В чем, по мнению редактора перевода В.Л.Стефанюка, состоит центральная проблема, рассматриваемая в книге Н.Нильсона «Принципы искусственного интеллекта».
  - В чем видит Н.Нильсон основную задачу своей книги «Принципы искусственного интеллекта».
  - Чем, по мнению В.И.Этова переводчика книги С.Осуга «Обработка знаний», обусловлены новые требования к технологии обработки информации, на какие вопросы даются ответы в этой книге.
  - Какие направления развития вычислительной техники, являющиеся основой информационной технологии инженерии знаний, называет С.Осуга в предисловии к своей книге «Обработка знаний».
  - Изложите наиболее важные причины, объясняющие исключительное положение работ в области искусственного интеллекта для научно-технического прогресса, отмеченные в предисловии к 3-х томному справочнику по Искусственному интеллекту.
  - Опишите два класса интеллектуальных систем, которые выделяет редактор первого тома справочника «Искусственный интеллект: Кн. 1. Системы общения и экспертные системы» Э.В.Попов в своем предисловии.
  - Какова главная цель авторов книги «Логический подход к искусственному интеллекту: от классической логики к логическому программированию».
  - В чем, по мнению редактора перевода Г.П.Гаврилова, основные достоинства и недостатки книги «Логический подход к искусственному интеллекту: от классической логики к логическому программированию».
  - Каково поле деятельности специалистов в области систем искусственного интеллекта, по мнению Д.А.Поспелова редактора перевода книги П.Уинстона «Искусственный интеллект».
  - Какие особенности книги П.Уинстона «Искусственный интеллект» выделяет редактор перевода Д.А.Поспелов.
  - Как рекомендует П.Уинстон использовать свою книгу «Искусственный интеллект» для обучения.
  - Изложите существо замечаний А.Г.Ивахненко редактора перевода книги Л.Фогеля, А.Оуэнса, М.Уолша "Искусственный интеллект и эволюционное моделирование", отмеченных в предисловии к ней.
  - Изложите причины, которые, по мнению авторов книги Л.Фогеля, А.Оуэнса, М.Уолша "Искусственный интеллект и эволюционное моделирование", могут оказать существенное влияние на развитие систем ИИ.
  - Приведите (по главам) основные положения представления содержания книги Л.Фогеля, А.Оуэнса, М.Уолша "Искусственный интеллект и эволюционное моделирование" редактором ее перевода А.Г.Ивахненко.
  - Какие недостатки обучения специалистов в области искусственного интеллекта отмечает Э.Хант в предисловии к своей книге "Искусственный интеллект", и чему в ней уделено основное внимание.

- Изложите основные положения оценки Д.А.Поспелова книги А.Эндрю "Искусственный интеллект".
- Назовите и охарактеризуйте четыре важнейших для состояния науки ИИ глобальных направления исследований, о которых пишет Д.А.Поспелов в предисловии к книге А.Эндрю "Искусственный интеллект".
- Изложите основные оценки А.Эндрю своей книги "Искусственный интеллект".

## ГЛОССАРИЙ

Аксиома	предложение (утверждение), принимаю без доказательства.
Алгебра	математическая наука, объектом изучения которой являются группы, кольца, поля, структуры и др.
Алгоритм	точное предписание о выполнении в определенном порядке некоторой системы операций, позволяющее решать совокупность задач определенного класса
Алфавит	упорядоченное множество различных символов я языка.
Аналогия	умозаключение по сходству частных свойств, имеющихя у двух математических понятий.
Архитектура (Architecture)	1) Организационная структура, в рамках которой происходит применений знаний и решение проблем. 2) Принципы инженерии знаний, направляющие выбор подходящих структур для конкретных экспертных систем. 3) концепция взаимосвязи элементов сложной структуры.
Архитектура системы HEARSAY-II (HEAR- SAY-II architecture)	Организация системы решения задач по принципу нескольких кооперирующих независимых специалистов, представляющих различные области знаний, которые обмениваются промежуточными результатами посредством «доски объявлений», постепенно и согласованно получая общее коллективное решение.
Атрибут	1) признак, описатель данных. 2) неотъемлемое свойство объекта.
База знаний (Knowledge base)	Вместилище знаний в вычислительной системе.
<u>Взаимодействие</u>	процесс воздействия объектов друг на друга.
Возврат (Backtracking)	Процедура поиска, в которой в различных точках в ходе решения задачи делается предположительный выбор дальнейшего направления процесса, а если некоторый выбор приводит к неприемлемому результату, то происходит возвращение к предыдущей точке, где делается другой выбор.
Вывод от данных (Data-directed inference)	См. прямая цепочка рассуждений.
Вывод, направляемый	См. Прямая цепочка рассуждений.

данными (Inference, data directed)	
Вывод, направляемый моделями	См. рассуждения, направляемые ожиданиями.
Высказывание	суждение рассматриваемое как истинное или ложное.
<u>Глобальная переменная</u>	переменная, используемая во всех процедурах программы.
Грамматика	набор правил для описания формального языка.
Граф	математическая структура, представленная множеством вершин и связывающих их дуг.
Данные	информация, подготовленная в виде, пригодном для обработки.
Дерево	связный граф без циклов.
Дизъюнкт	дизъюнкция литер (булевых переменных, литералов).
Дизъюнкция	логическая операция "ИЛИ", значение которой суть "истина", если истинен хотя бы одни из операндов; обозначается $\vee$ .
Доказательство	формальное рассуждение, в ходе которого устанавливается истинность или ложность какого-либо утверждения.
Доска объявлений (Blackboard)	Глобально Доступная база данных, используемая в системе HEARSAY-II и других системах для записи промежуточных, частичных результатов решения задачи. Как правило, различные участки доски объявлений позволяют представлять гипотезы на различных уровнях абстракции и обеспечивают совместные действия нескольких «соэкспертов» или специалистов.
Достаточное условие	всякое условие, из которого следует рассматриваемое утверждение.
Естественный язык (Natural language)	Обычный метод обмена информацией между людьми: системы коммуникации посредством устной речи или различных формальных систем письменности, средства представления фактов в технических дисциплинах с помощью общепринятых символов (химических структурных формул, обозначений нуклеотидных последовательностей в молекулах ДНК, чертежей и схем в инженерном деле и т. п.).
Зависимость	1) отношение между функцией и ее аргументами. 2) Связь между антецедентами и соответствующими консеквентами, создаваемая в результате применения некоторого правила вывода. Посредством зависимостей записывается

	способ, которым решения выводятся из исходных данных и предшествующих решений.
Задача	проблема, подлежащая анализу и решению.
Заключение	1) в экспертных системах то же, что факт. 2) факт базы знаний, выраженный парами "объект — значение".
Знания	вид информации (подобно программам и данным), хранимой в базах знаний, формализующей опыт специалистов в некоторой проблемной области.
Знания (Knowledge)	Факты, убеждения и эвристические правила.
Знания декларативные	знания, не содержащие в явном виде процедуры решения задачи.
Знания каузальные	знания о причинно-следственных связях между объектами предметной области.
Знания неточные	знания, отличающиеся неполнотой, возможно, противоречивостью.
Знания процедурные	знания, отвечающие на вопрос "как решить задачу".
Избыточность	дополнительные средства, вводимые в систему для улучшения ее технических характеристик.
Изоморфизм	взаимооднозначное соответствие между чем-либо.
<u>Индексный указатель</u>	указатель с установленным типом.
Индукция	заклучение от частного к общему.
Инженерия знаний (Knowledge Engineering)	Дисциплина, нацеленная на задачу построения экспертных систем; средства и методы, обеспечивающие разработку таких систем.
<u>Инженер-когнитолог</u>	специалист по сбору информации.
Инструментальные средства инженерии знаний (Tools for knowledge engineering)	Системы программирования, которые упрощают работу по созданию экспертных систем, в особенности пакеты для часто встречающихся задач, такие как EMYCIN, и языки очень высокого уровня для эвристического программирования, подобные ROSIE.
ИНТЕРЛИСП (INTERLISP)	Развитая система программирования, обеспечивающая хорошую программную поддержку для создания и обеспечения работы больших программ на языке LISP.
Интерпретация	приписывание фактам четких и содержательных смысловых знаний, истолкование, разъяснение.
<u>Интерфейс</u>	взаимодействие между системой и пользователем.

ПОЛЬЗОВАТЕЛЯИнтуиционизм

философское направление в математике, сводящее математическую деятельность отдельных людей.

Истина	свойство всех строго и корректно доказанных утверждений, полученных из непротиворечивой системы аксиом,
Источник знаний (Knowledge source)	В общем смысле — совокупность знаний из предметной области, имеющая отношение к некоторой конкретной задаче. В частности, понятие, находящее применение в экспертной системе. См. специалист.
Исчисление	система правил вывода новых объектов из ранее выведенных.
Исчисление предикатов	система правил вывода логических формул (предикатов) с аргументами-переменными.
Квантор	логический оператор, переводящий одну логическую формулу в другую. Различают квантор всеобщности $\forall x$ (читается "для любых $x$ ") и квантор существования $\exists x$ (читается "существует такой $x$ , что").
Континуум	название мощности множества чисел отрезка.
Концепт (Concept)	Описательная схема для класса вещей или конкретный пример такой схемы, в которой некоторые из ее общих свойств конкретизированы так, чтобы охарактеризовать конкретный подкласс или элемент, который является примером описания класса.
Конъюнкция	булева операция, обозначаемая "&" или " $\wedge$ ", значение которой есть истина, если истинны все аргументы.
Корректность	полнота и непротиворечивость.
<u>Критерий</u>	признак, на основе которого производится оценка, определение или классификация чего-либо.
ЛИСП (LISP)	Основной язык программирования в области искусственного интеллекта, образующий удобную, рекурсивную, безтипную аппликативную структуру для символьных вычислений. На самом деле — это некоторое семейство вариантов языка.
Логика	наука о законах и нормах мышления, способах доказательств.
Логика вероятностная	логика, в которой истинностные значения интерпретируются вероятностями.
Логика неклассическая	логика, в которой используется либо более двух значений

	истинности ("ложь", "истина"), либо система аксиом и правил вывода отличается от традиционной.
Логика нечеткая	логика, в которой формулам приписывается число (мера нечеткости) $0 \leq \mu \leq 1$ , характеризующая степень истинности формулы.
Логика предикатов	логика, формулами которой являются предикаты.
Логика формальная	раздел математической логики, изучающий формы мышления.
<u>Машина вывода</u>	применение того, что известно к тому, что еще не известно.
Мета- (Meta- )	Приставка, означающая рефлексивное применение соответствующего понятия.
Метазнания (Metaknowledge)	Знания о знании.
Метаправило (Metarule)	Правило, предписывающее то, как следует использовать правила.
Метасознание (Metacognition)	Способность размышлять над своим собственным процессом мышления.
<u>Метка</u>	зд. название для перехода в программе.
Методы решения, сильные и слабые (Problem-solving meth- ods, weak and strong)	Эвристики управления. Слабые методы не зависят от предметной области, а в сильных методах используются знания о предмете, что позволяет достичь большей работоспособности.
Метрика	способ определения расстояний между двумя точками
Метрическое пространство	множество, наделенное метрикой.
Множество	первичное математическое понятие, неформально интерпретируемое как совокупность, класс, группа.
Множество правил (блок) (ruleset)	Совокупность правил, составляющая модуль эвристического знания.
<u>Моделирование</u>	исследование каких-либо объектов, процессов или систем объектов путем построения их моделей.
Мощность	для множества число его элементов.
Набор	логически связанное множество объектов с определенным свойством.
Независимость	свойство системы аксиом (формул), состоящее в том, что ни одна из аксиом (формул) не выводима из других.
Независимость	применительно к двум событиям А и В означает, что вероятность

случайных событий	наступления двух событий равно произведению вероятности наступления события А на вероятность наступления события В.
<u>Неопределенности</u>	ограничения на достоверность факта.
Неполнота	означает, что не всякая формула теории может быть доказана в рамках теории.
Непротиворечивость	невозможность вывести (доказать) в теории формулу $\Phi$ и противоположную формулу $\bar{\Phi}$ .
Область определения функции	множество знаний, принимаемых независимыми аргументами.
Обратная теорема	для данной теоремы — теорема, в которой условием является заключение, а заключением условие данной теоремы.
Обратная цепочка рассуждений (Back-chaining, backward-chaining)	Управляющая процедура, в ходе которой делается попытка достичь целей рекурсивно, сначала отыскав антецеденты, совокупность которых достаточна для достижения цели, а затем рассматривая эти антецеденты в качестве целей или пытаясь достичь их непосредственно.
Обучение (Learning)	Процесс улучшения характеристик работы путем изменения знаний или структуры управления.
Обучение системы	процесс овладения определенными знаниями.
<u>Объекты</u>	физические предметы (например, "термометр" или "контракт"), так и общие представления (такие как "жар" или "цена").
Объяснение (Explanation)	Мотивирование, оправдание или пояснение действия путем предъявления обуславливающих его соображений, таких как цели, законы или эвристические правила, которые либо определяют желательность этого действия, либо оказывают на нее (заметное) влияние.
Означивание (Instantiation)	Объект, который удовлетворяет общему описанию некоторого класса, или, в более узком смысле, задержанный процесс, ассоциирующий конкретные данные объекты с параметрами некоторой общей процедуры.
Оператор	1) средство отображения одного множества в другое. 2) предписание в языке программирования, предназначенное для задания некоторого завершенного действия в программе.
<u>Опыт</u>	познание действительности, основанное на практике.

Отношение	форма связи между объектами.
Отображение	какое-либо правило или закон сопоставления элементов двух множеств.
Отсечение	сокращение области поиска решения задачи.
Парадигма	образец, вариант.
<u>ПАСКАЛЬ</u>	один из языков программирования.
Поддержание значений истинности (Truth maintenance)	Задача сохранения согласующихся с текущими данными убеждений в системе рассуждений, в которой убеждения со временем пересматриваются.
<u>Подсистема</u>	часть системы.
Полнота	полнота теории $T$ означает, что для любой формулы теории $\varphi$ либо истинна сама эта формула $\varphi$ , либо истинная противоположная ей формула $\bar{\varphi}$ .
<u>Пользователь</u>	человек, который пользуется данной продукцией.
Правило (Rule)	Пара, состоящая из антецедентного условия и консеквентного предложения, которая может быть использована в дедуктивном процессе типа прямой или обратной цепочки рассуждений.
Правило вывода	
Правило вывода (Inferential rule)	1) правило получения одних формул теории из других. 2) Ассоциация между антецедентными условиями и консеквентными убеждениями, которая позволяет выводить эти убеждения из выполнения антецедентных условий.
<u>Предпосылка</u>	факт базы знаний, выраженный парами "объект — значение".
<u>Приложение</u>	дополнение к документу.
Приобретение знаний (Knowledge Acquisition)	Извлечение и формулирование знаний, полученных из внешних источников, в особенности от экспертов.
<u>Программа</u>	описание алгоритма решения задачи, заданное на языке вычислительной машины.
Программа, основанная на правилах (Rule-based program)	Программа для ЭВМ, в явном виде содержащая правила или наборы правил в качестве своих компонент.
Продукция	правило вывода в экспертных системах.
Противоречивость	выводимость в теории формул $\varphi$ и $\bar{\varphi}$ .
<u>Процедура</u>	порядок выполнения чего-либо.

Прямая цепочка рассуждений (Forward-chaining)	Управляющая процедура, рекурсивно вырабатывающая новые решения, подтверждая консеквентные суждения, ассоциированные посредством некоторого правила вывода с antecedентными уровнями, которые в данное время считаются выполненными. По мере того как новые утверждения изменяют текущую совокупность убеждений, рекурсивно применяются новые правила.
Рассуждения, направляемые ожиданиями (Expectation-driven reasoning)	Управляющая процедура, в которой имеющиеся данные и решения применяются для выдвижения гипотез о пока не наблюдаемых событиях и для выделения ресурсов на подтверждение, опровержение или на слежение за ожидаемыми событиями.
Рассуждения, направляемые целями (Goal-directed reasoning)	См. обратная цепочка рассуждений.
Редактирование	изменение порядка размещения, формата и содержания данных.
Редукция	сокращение, упрощающее преобразование.
Резольвента	логическое следствие двух дизъюнктов.
Рекурсия	определение некоторой функции через нее саму, например, определение факториала: $x! = (x-1)! \cdot x$ .
Решение	результат, умозаключение, вывод.
СБИС (VLSI; very large system integration)	Сверхбольшая интегральная схема; конструирование чрезвычайно сложных электронных цепей, размещающихся в небольших по размеру микросхемах.
Свойство (Property)	См. Слот.
Семантика	смысловое содержание, способ приписывания смысла.
Семантический (Semantic)	Относящийся к смыслу, значению или значимости символического выражения, а не к его форме (т. е. не к синтаксису).
Символ	знак, единица алфавита.
Синтаксис	1) совокупность правил образования правильных конструкций языка (см. грамматика). 2) способы соединения слов в выражении.
Синтаксический (Syntactic)	Относящийся к форме или структуре символического выражения, а не к его смыслу или значению

Система	совокупность объектов, отношений между ними и операций над объектами, рассматриваемая как единое целое.
Следствие	формула, полученная из других формул с помощью правил вывода.
Слот (Slot)	Признак или описание компоненты некоторого объекта во фрейме, Слоты могут соответствовать внутренне присущим признакам, таким как имя, определение или происхождение, или же представлять такие выведенные атрибуты, как значение, важность, или другие подобные объекты
Составление расписания (Scheduling)	Определение порядка выполнения, обычно основанное на применении эвристик управления (см. также список заявок)
Специалист (Specialist)	Эксперт в некоторой узкой предметной области, в частности одна из нескольких экспертных подсистем, действующих совместно в рамках архитектуры HEARSAY-II
Список заявок (Agenda)	Упорядоченный по приоритетам список ожидающих исполнения процессов, которые обычно представляют собой применения различных фрагментов базы знаний.
Список свойств (Property list)	Конструкция в языке ЛИСП, в которой с каждым объектом, называемым атомом, связывается множество из одной или более пар, причем каждая пара состоит из «свойства» и «значения» этого свойства для данного объекта
<u>Статус</u>	положение.
Стратегия	совокупность правил (принципов), определяющих выбор варианта действий при каждом ходе в зависимости от ситуации.
Структура	фиксированное упорядоченное множество объектов и отношений между ними.
<u>Субъект</u>	источник активности, направленный на объект.
Схема (Schema)	См. фрейм
<u>Текстовый файл</u>	файл, содержащие текстовую информацию.
Теорема	математическое предложение, истинное в некоторой теории.
Теория	множество аксиом и правил вывода.
<u>Технология</u>	совокупность методов обработки материала, осуществляемой в процессе производства продукции.
Убеждение (Belief)	1) Гипотеза, касающаяся некоторой ненаблюдаемой ситуации 2)

	Мера степени уверенности в неполностью определенном предположении,
Уверенность (Certainty)	Мера уверенности, связываемая пользователем или экспертной системой со справедливостью утверждения, гипотезы или правила вывода
Удовлетворить (Satisfice)	Получить решение, которое удовлетворяет всем имеющимся ограничениям (в отличие от «оптимизировать»)
Управление (в экспертных системах) (Control)	Всякая явная или неявная процедура, которая определяет в целом порядок деятельности по решению задач
Формализация	процесс описания объекта в формализованном виде.
Формализм	описание на основе математического языка.
Формула	символическая запись, содержащая какое-либо утверждение.
Фрейм	в экспертных системах структура представления знаний.
Функция	переменная величина, значение которой зависит от других величин.
Эвристическое правило (эвристика) (Heuristic rule)	Неполный метод для выполнения какой-то задачи
Эквивалентность	логическая операция, результат которой является истинным, если оба операнда имеют одинаковое значение. В противном случае результатом является "ложь".
<u>Экран</u> - устройство отображения информации.	
Экспертная система (Expert system)	Машинная система, достигающая высокого уровня работы в таких областях, в которых человеку необходимо потратить несколько лет на образование и приобретение опыта
Экспертность (Expertise)	Набор качеств, лежащих в основе высокого уровня работы людей-специалистов, в том числе обширные познания в некоторой области, эвристические правила, упрощающие и улучшающие подходы к решению задач, метазнания и метасознание, а также «компилированные» формы поведения (навыки), обеспечивающие большую экономию при высококвалифицированной работе

<u>Экспертные системы</u>	программы ЭВМ, моделирующие действия эксперта-человека при решении задач в узкой предметной области, на основе накопленных знаний, составляющих базу знаний (БЗ).
<u>Элемент</u>	составная часть сложного целого.
<u>Эмпиризм</u>	направление, признающее чувства единственным источником знания.
Эргономика (Human engineering)	Задача проектирования человеко-машинных интерфейсов, позволяющих человеку эффективно использовать возможности машины
Язык	совокупность символов (алфавит) и правил образования слов из символов (синтаксис).

## ЛИТЕРАТУРА

### Документы

- ГОС, 2000 Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования. Направление подготовки дипломированного специалиста 654600 – Информатика и вычислительная техника. Квалификация – инженер. Утвержден 27 марта 2000г. Регистрационный номер 224 тех/дс. Москва, Министерство образования Российской Федерации, 2000.
- Паспорта, 2002 Паспорта номенклатуры специальностей научных работников (технические науки). Электроника, информатика, управление.— М.: 2002. — 76 с. — Министерство промышленности, науки и технологий РФ, Высшая аттестационная комиссия Министерства образования РФ.

### Словари

- АРСЛС, 1996 Англо-русский словарь по лингвистике и семиотике. Около 8000 терминов. Т1. / А.Н.Баранов, Д.О.Добровольский, М.Н.Михайлов, П.Б. Паршин, О.И. Романова. Под ред. А.Н.Баранова, Д.О.Добровольского. М.: Помовский и партнеры, 1996. — 656 с.
- Даль, 1989 *Даль В.* Толковый словарь живого великорусского языка: Т.1–4. М.: Рус. яз., 1989–1991.
- Ожегов, 1992 *Ожегов С.И. и Шведова Н.Ю.* Толковый словарь русского языка: 72500 фразеол. Выражений / Российская АН. Ин-т рус. яз.; Российский фонд культуры. М.: Азъ ltd., 1992 — 960 с.
- РАС, 1994 Русский ассоциативный словарь: Кн.1–6. / Ю.Н.Караулов, Ю.А.Сорокин, Е.Ф.Тарасов, Н.В.Уфимцева, Г.А.Черкасова. М.: Российская АН, Ин-т. рус. яз., 1994–1998.
- САР, 2001 Словарь Академии Российской 1789–1794. Т. 1–6. М.: МГИ им. Е.Р. Дашковой. 2001–2003.  
Т.1: А–В. 2001. — 688 с.  
Т.3: З–Л. 2002. — 832 с.
- Синклер, 1999 *Синклер А.* Большой толковый словарь компьютерных терминов. Русско-английский, англо-русский. М.: Вече, АСТ, 1999. — 512 с.
- СК, 1979 Словарь по кибернетике / Под ред. В.М.Глушкова. К.: Гл. ред.

- Украинской Советской Энциклопедии, 1979. — 624 с.
- СЛРЯ, 1975 Словарь русского языка XI–XVII вв.: Вып.1–25. / Российская АН. Ин-т рус. яз. М.: Наука. 1975–2000. Вып.6: Зипун–Иянуарий. 1979. — 360 с.
- СЛРЯ, 2001 Словарь русского языка XI–XVII вв. Справочный выпуск. / Российская АН. Ин-т рус. яз. М.: Наука, 2001. — 814 с.
- СЭС, 1980 Советский энциклопедический словарь. М.: Советская Энциклопедия, 1980. — 1600 с.
- Терминология, 1989 Вычислительная техника. Терминология: Справочное пособие. М.: Издательство стандартов, 1989. — 168 с. — (Вып. 1).
- ТТС IBM, 1978 Вычислительная техника и обработка данных. Терминологический толковый словарь фирмы IBM. Перевод с англ. Т.Тер-Микаэляна. М.: Статистика, 1978. — 231 с.. Data processing glossary. C20-1699. IBM, August, 1971.

#### **Авторские работы**

- Ю.Филиппович, 1990а Организация взаимодействия человека с техническими средствами АСУ: В 7 кн. н.2. Языковые средства диалога человека с ЭВМ: Практическое пособие / Филиппович Ю.Н., Родионов Е.В., Черкасова Г.А. Под ред. Четверикова В.Н. М.: — Высш. шк., 1990. — 159 с.
- Ю.Филиппович, 1990б Организация взаимодействия человека с ехническими средствами АСУ: В 7 кн. Кн.6. ерсональные автоматизированные информационные системы и дисплейные комплексы: Практическое пособие / Соломонов Л.А., Филиппович Ю.Н., Шульгин В.Л.; Под ред. Четверикова В.Н. — М.: Высш. шк., 1990. —143 с.
- Филиппович, 2002 *Филиппович Ю.Н., Филиппович А.Ю.* Электронный Указатель источников рукописной древнерусской Картотеки и Словаря русского языка XI\_XVII вв. — М.: МГУП, 2002. — 423 с.
- Ю.Филиппович, 2002а *Филиппович Ю.Н.* Метафоры информационных технологий: рабочие материалы исследования. С предисловием Ю.Н.Караулова. М.: Изд-во МГУП, 2002. — 288 с.
- Ю.Филиппович, 2002б *Филиппович Ю.Н., Черкасова Г.А., Дельфт Д.* Ассоциации информационных технологий: эксперимент на русском и французском языках. С предисловием Н.В.Уфимцевой. М.: Изд-во МГУП, 2002. — 304 с.
- Ю.Филиппович, *Филиппович Ю.Н., Прохоров А.В.* Семантика информационных

- 2002в технологий: Опыты словарно-тезаурусного описания. С предисловием А.И.Новикова. — М.: МГУП, 2002. 368 с.
- А.Филиппович, Филиппович А.Ю. Интеграция систем ситуационного, имитационного и экспертного моделирования в полиграфии. — М.: Эликс+, 2003. XXX с.

### Цитируемые источники<sup>22</sup>

- Акофф, 1974** *Акофф Р. Эмери Ф.* О целеустремленных системах. М.: Сов. радио, 1974. — 272 с. — Рис. 21, табл. 3, библи. 171 наз.
- Алиев, 1990** *Алиев Р.А., Абдикеев Н.М., Шахназаров М.М.* Производственные системы с искусственным интеллектом. - М.: Радио и связь, 1990.-264 с.: Табл. 13. Ил. 66. Библиогр. 217 назв.
- Арбиб, 1976 *Арбиб М.* Метафорический мозг.—М.: Мир, 1976
- Бенерджи, 1972 *Бенерджи Р.* Теория решения задач. Пер с англ. — М.: Мир, 1972.
- Букатова, 1979 *Букатова И.Л.* Эволюционное моделирование и его приложения. М.: Наука, 1979. 231с.
- Букатова, 1991** *Букатова И.Л., Михасев Ю.И., Шаров А.М.* Эвоинформатика: Теория и практика эволюционного моделирования. — М.: Наука, 1991. — 206 с. Табл. 29. Ил. 67. Библиогр.: 194 назв.
- Г.Поспелов, 1988** *Поспелов Г.С.* Искусственный интеллект — основа новой информационной технологии. М.: Наука, 1988. — 280 с.
- Глушков, 1976 *Глушков. В.М.* Научные проблемы развития вычислительной техники./ Вестник АН СССР, 1976, №2, с.28–44.
- Горелик, 1989** *Горелик А. Л., Скрипкин В. А.* Методы распознавания: Учеб. пособие для вузов. —3-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1989. —232 с.
- Грей, 1989 *Грей П.* Логика, алгебра и базы данных: Пер. с англ. Х.И. Килова, Г.Е. Минца/ Под ред. Г.В. Орловского, А.О. Слисенко. - М.: Машиностроение. - 1989. - 368 с.
- Громов, 1982 *Громов Г.Р.* Национальные информационные ресурсы: Проблемы промышленной эксплуатации. М.: Наука, 1982. — 552 с.
- Громов, 1993 *Громов Г.Р.* Очерки информационной технологии. М.: Инфоарт, 1993. — 336 с.
- Д.Поспелов, 1988 *Поспелов Д.А.* Послесловие / Горелов И.Н. Разговор с компьютером:

<sup>22</sup> Жирным выделены источники, которые представлены в 3 главе.

- психолингвистический аспект проблемы. М.: Наука, 1988. С.230–250.
- Д.Поспелов, 1990 *Поспелов Д.А.* Структура исследований в области искусственного интеллекта / Лекции всесоюзной школы по основным проблемам искусственного интеллекта и интеллектуальным системам. Ч.1. Минск: Советская ассоциация искусственного интеллекта, научный совет по проблеме «Искусственный интеллект», Институт технической кибернетики АН СССР, Институт технической кибернетики АН БССР, 1990.
- Девятков, 2001 *Девятков В.В.* Системы искусственного интеллекта. - М.: Изд-во МГТУ им.Баумана, 2001 - 352 с
- Заде, 1976 *Заде Л.А.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. — М.: Мир, 1976. — 165 с.
- Карри, 1969 *Карри Х.Б.* Основания математической логики. – М.: Мир, 1969.
- Кларк, 1987 Кларк К., Маккейб Ф. Введение в логическое программирование на микро-Прологе: Пер. с англ. А.И. Горлина / Под ред. В.В. Мартынюка. - М.: Радио и связь 1987.-312 с.
- Кнут, 2001 *Кнут.Д.* Искусство программирования для ЭВМ. т.3. Сортировка и поиск
- Ковальски, 1990** *Ковальски Р. А.* Логика в решении проблем: Пер. с англ. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. - (Пробл. искусств, интеллекта.) - 280с.
- Кпоксин, 1987 Кпоксин У., Меллиш К. Программирование на языке Пролог: Пер. с англ. А.В.Горбунова, М.М. Комарова / Под ред. А.К. Платонова, Ю.М. Лазутина. - М • Мир 1987. - 336 с.
- Кузин, 1989** *Кузин Е.С., Ройтман А.И., Фоминых И.Б., Хахалин Г.К.* Интеллектуализация ЭВМ / Перспективы развития вычислительной техники: Справ. Пособие. В 11 кн. Кн. 2. Под ред. Ю. М. Смирнова. — М.: Высш. шк" 1989. — 159 с.: ил. Библиогр. 24 назв.
- Левитин, 1991** Будущее искусственного интеллекта. М.: Наука,1991. — 302 с. — (Редакторы-составители: К.Е.Левитин и Д.А.Поспелов).
- Леонтьев,1975 *Леонтьев А.Н.* Деятельность, сознание, личность. М., 1975
- Лорьер, 1991** *Лорьер Ж.-Л.* Системы искусственного интеллекта: пер. с англ. Евграфова С. М., Девишев Р. И., Дихтяр В. И., канд. физ.-мат. наук Чигирь С. Д. Под ред. В. Л. Стефанюка М.: Мир, 1991-568 с., ил.
- Лук, 1966 *Лук. А.Н.* Память и кибернетика. — М.: Наука, 1966.
- Маслов, 1986 *Маслов С.Ю.* Теория дедуктивных систем и ее применения. — М.:

- Радио и связь 1986. — 136с.
- Маурер, 1976 *Маурер У.* Введение в программирование на языке Лисп. — М.: Мир, 1976
- Мейер, 1987 *Мейер Д.* Теория реляционных баз данных: Пер. с англ. М.К. Валиева, С.М.Емельяновой и И.С. Захаревича / Под ред. М.Ш. Цаленко. — М.: Мир, 1987. — 608 с.
- Минский, 1978 *Минский М.* Структура для представления знания.— В сб. Психология машинного зрения. Под ред. П.Уинстона.— М.: Мир, 1978.
- Минский, 1979** *Минский М.* Фреймы для представления знаний: Пер. с англ. О.Н.Гринбаума под ред. Ф.М.Кулакова. — М.: Энергия, 1979.-152 с., с ил. Библиогр. 65 назв.
- Моисеев, 1982 *Моисеев Н. Н.* Человек, среда, общество. М., 1982.
- Моисеев, 1985 *Моисеев Н. Н., Александров В. В., Тарко А. М.* Человек и биосфера. М., 1985.
- Моисеев, 1987** *Моисеев Н. Н.* Алгоритмы развития. — М.:Наука, 1987. — 304 с.— (Серия «Академические чтения»).
- Нильсон, 1973 *Нильсон Н.* Искусственный интеллект. Методы поиска решений: пер. с англ. М.: Мир, 1973. — 376 с.
- Нильсон, 1985** *Нильсон Н.* Принципы искусственного интеллекта: пер. с англ. Р.М.Абдусаматова и Ю.И.Крюкова, под ред В.Л.Стефанюка. М.: Радио и связь, 1985. — 376 с. — Табл. 4. Ил. 142. Библиогр. 410 назв.
- Осуга, 1989** *Осуга С.* Обработка знаний: Пер. с япон. —М.: Мир, 1989. — 293 с.
- Пролог, 1988 *Язык Пролог в пятом поколении ЭВМ: Пер. с англ. / Сост. Н.И. Ильинский – М.: Мир. - 1988. - 501 с.*
- Прохоров,1976 *Прохоров А.М.* Физика твердого тела и ее роль в науке и практике. / Вестник АН СССР, 1976. №2, с.19–27.
- Роуз, 1995 *Роуз С.* Устройство памяти: от молекулы к сознанию. Пер. с англ. — М.: Мир, 1995. — 384 с.
- Сборник, 1988 *Логическое программирование. Сборник статей: Пер. с англ, и фр. / Под ред. В.Н. Агафонова. - М.: Мир. - 1988. - 368 с.*
- Семенов, 1977 *Семенов Е, Т,* Язык программирования LISP 1,5,— М.: изд-во МЭИ, 1977
- Слейгл, 1973 *Слейгл Дж.* Искусственный интеллект. Подход на основе эвристического программирования.— М.: Мир, 1973;
- Справочник1,** *Искусственный интеллект: В 3 кн. Кн. 1. Системы общения и*

- 1990** экспертные системы: Справочник / Под ред. Э. В. Попова.—М.: Радио и связь, 1990.—464 с.: ил.
- Справочник2, 1990** Искусственный интеллект: В 3 кн. Кн. 2. —М.: Радио и связь, 1990.—464 с.: ил.
- Справочник3, 1990** Искусственный интеллект: В 3 кн. Кн. 3. —М.: Радио и связь, 1990.—464 с.: ил.
- Стерлинг, 1990** *Стерлинг Л., Шапиро Э.* Искусство программирования на языке Пролог: Пер. с англ. С.Ф. Сопрунова и Л.В. Шабанова / Под ред. Ю.Г. Дадаева. - М.: Мир. - 1990.235 с.
- Тей, 1990** Логический подход к искусственному интеллекту: от классической логики к логическому программированию: Пер. с франц./ А. Тей, П. Грибомон, Ж. Луи, Д. Снийерс, П. Водон, П. Гоше, Э. Грегуар, Э. Санчес, Ф. Дельсарт — М.: Мир, 1990. — 432 с., ил. Библиогр. 115 назв.
- Тихомиров, 1979** *Тихомиров О.К.* Предисловие / Интеллект человека и программы ЭВМ // Под ред. О.К.Тихомирова М.: Наука, 1979.— С.3–10.
- Тихомиров, 1979** Интеллект человека и программы ЭВМ. Ред. О.К.Тихомиров. М.: Наука, 1979 — С....
- Уинстон, 1980** *Уинстон П.* Искусственный интеллект. М.: Мир, 1980. — 530 с.
- Фогель, 1969** *Фогель Л., Оуэнс А., Уолш М.* Искусственный интеллект и эволюционное моделирование: пер. с англ. Ю.П.Заиченко под ред. А.Г.Ивахненко. М.: Мир, 1969. — 230 с.
- Хант, 1978** *Хант Э.* Искусственный интеллект: пер. с англ. М.: Мир, 1978. — 560 с.
- Хоггер, 1988** Хоггер К. Введение в логическое программирование: Пер. с англ. М.В. Захарьящева / Под ред. Ю.И. Янова. - М.: Мир. - 1988. - 348 с.
- ЭВМ пятого поколения, 1984** ЭВМ пятого поколения: Концепции, проблемы, перспективы / Под ред. Т. Мото-ока: Пер. с англ. О.М. Вейнерова / Под ред. А.А. Рывкина, В.М. Савинкова. - М.: Финансы и статистика. - 1984. — 110 с.
- Эндрю, 1985** *Эндрю А.* Искусственный интеллект Перевод с английского канд. техн. наук В.Л. Стефанюка под редакцией д-ра техн. наук, проф. Д.А. Поспелова М.: Мир, 1985. - 264 с. Библиогр. 111 Назв.
- Эндрю, 1991**
- Bledsoe, 1977** *Bledsoe W.W.* [1977] Non-resolution Theorem Proving. Artificial Intelligence, Vol. 9, pp. 51-85.

- Bruynooghe, 1976 *Bruynooghe M.* [1976] An Interpreter for Predicate Logic Programs, Part 1. Report CW 10, Applied Maths and Programming Division, Katholieke Univ., Louven, Belgium.
- Bundy, 1978 *Bundy A.* [1978] Artificial Intelligence, Edinburgh University Press.
- Chang, 1973 *Chang C.L., Lee R.C.T.* [1973] Symbolic Logic and Mechanical Theorem Proving. Academic Press, New York. (Русс, пер.: Чень К.Л., Ли Р.К.Т. Математическая логика и автоматическое доказательство теорем / Пер. с англ, под ред. С.Ю. Маслова. — М.: Мир, 1983).
- Clark, 1979 *Clark K.L., McCabe F.* [1979] Programmer's Guide to IC-Prolog. CCD Rep 79/7, Imperial College, London.
- Colmerauer, 1972 *Colmerauer A.* [1972] Les systemes—Q ou un Formalisme pour Analyser et Synthetiser des Phrases sur Ordinateur. Publication Interne No. 43, Dept. d'Informatique, Universite de Montreal.
- Edelman, 1987–89 *Edelman G.* Neural Darwinism: The Theory of neuronal group selection; Topobiology; and The Remembered Present, Basic Books, 1987, 1988, 1989.
- Hebb, 1949 *Hebb D.O.* Organization of behavior. NY, Science Editions, 1949
- Herbrand, 1930 *Herbrand J.* [1930] Recherches sur la Theorie de la Demonstration. Travaux de la Societe des Sciences et des Lettres de Varsovie, Classe III, Science Mathematique et Physique, No. 33.
- Hodges, 1977 *Hodges W.* [1977] Logic. Penguin Books, Middlesex, England.
- Kosko, 1994 *Kosko B.* Fuzzu systems of approximators. — IEEE TRANS. on Computers. v.43, 11., 1994 p.1329–1333.
- Kosko, 1997 *Kosko B.* Fuzzu Engineering. Prentice-Hall, New Jersey, 1997. —549 pp.
- Kowalski, 1974 *Kowalski R.A* [1974 c] Predicate Logic as Programming Language. Proc. IFIP 74, North Holland Publishing Co., Amsterdam, pp. 569-574.
- Loveland, 1968 *Loveland D.W.* [1968] Mechanical Theorem Proving by Model Elimination. JACM 15 April 1968, pp. 236-251.
- Loveland, 1969 *Loveland D.W.* [1969] A Simplified Format for the Model Elimination Procedure. JACM July 1969, pp. 349-363.
- Loveland, 1978 *Loveland D.W.* [1978] Automated Theorem Proving: A Logical Basis. North Holland Publishing Co., Amsterdam, New York and Oxford.
- Newell, 1972 *Newell A., Simon M.A.* Human Problem Solving. Englewood — Cliffs, NY: Prentice — Hall, 1972.
- Nilsson, 1971 *Nilsson N.J.* [1971] Problem Solving Methods in Artificial Inteligence.

- McGraw Hill, New York. (Русс, пер.: Нильсон Н. Искусственный интеллект. Методы поиска решений / Пер. с англ. - М.: Мир, 1973)
- Penrose, 1990 *Penrose R.* The Emperor's New Mind. Oxford University Press, 1990.
- Prawitz, 1960 *Prawitz D.* [1960] An Improved Proof Procedure. *Theoria* 26, pp. 102-139.
- Quine, 1941 *Quine W.V.O.* [1941, Revised 1965] *Elementary Logic*. Harper and Row. New York.
- Robinson, 1965a *Robinson J.A.* [1965a] A Machine Oriented Logic Based on the Resolution Principle. *J. ACM* 12 (January 1965), pp. 23-41. (Русс, пер.: Робинсон Дж. Машинно-ориентированная логика, основанная на принципе резолюции // Киберн. сб., Нов. сер. № 7. - М.: Мир, 1970)
- Robinson, 1979 *Robinson J.A.* [1979] *Logic: Form and Function*. Edinburgh University Press.
- Roussel, 1975 *Roussel P.* [1975] PROLOG: Manuel de Reference et d'Utilisation. Groupe d'Intelligence Artificielle, Universite d'Aix-Marseille, Luminy, Sept, 1975.
- Russell, 1994 *Russell S., Norvig P.*. *Artificial Intelligence: A modern Approach*. Prentice Hall, 1994. — 840 p.]
- Searle, 1984 *Searle J.R.* *Minds, Brains and Science*. Harvard University, 1984.
- Warren, 1977 *Warren D.H.D., Pereira L.M., Pereira F.* [1977] PROLOG - The Language and its Implementation Compared with LISP. *Proc. Symp. on AI and Programming Languages, SIGPLAN Notices, Vol. 12, No. 8, and SIGART Newsletters No. 64, August 1977, pp. 109-115.*
- Widrow, 1959 Widrow B. Adaptive sampled-data system, a statistical theory of adaptation. IRE Wescon Convention Record, part 4. NY.: Institute of Radio Engineers, 1959.
- Winston, 1977 *Winston P.H.* [1977] *Artificial Intelligence*. Addison-Wesley, Reading, Mass.
- Zadeh, 1965 Zadeh L.F. Fuzzy sets // *Information and Control*, 1965, n.8,3. — p. 338–353.

### Источники Internet

- Internet1, 2002 Масаловин А. Этот нечеткий, нечеткий, нечеткий мир. [www.tora-centre.ru](http://www.tora-centre.ru)
- Adaptation in Natural and Artificial Systems, 1975
- Holland, 1975
- Wang, 1960

Статьи в сборниках «Интеллектуальные технологии и системы»

- Выпуск 5** // Интеллектуальные технологии и системы. Сборник учебно-методических работ и статей аспирантов и студентов. Выпуск 5 / Сост. и ред. Ю.Н.Филипповича. — М.: Изд-во ООО «Эликс+», 2003. —
- Филиппович, 2003 *Филиппович Ю.Н., Филиппович А.Ю.* Специальность «Компьютерная лингвистика и семиотика» С. 7-140
- Чикунев, 2003 *Чикунев И.М.* Электронное переиздание древних рукописей. Лабораторные работы. С. 188-199
- Родионов, 2003а *Родионов П.Е.* Решение задач классификации с использованием нейронных сетей. Лабораторная работа. С. 152-162
- Родионов, 2003б *Родионов П.Е.* Использование нейросетей для оценки влияния случайных возмущений на характеристики насоса авиационного двигателя. С. 297-302
- Родионов, 2003в *Родионов П.Е.* Уточнение прогноза аналитической модели движения искусственного спутника Земли. С. 303-311
- Кадакин, 2003 *Кадакин М.Ю.* Определение угла наклона строк при распознавании текста С. 239-249
- Рабинович, 2003 *Рабинович Б.И.* Аналитическая система обработки и управления структурированной информацией С. 284-296
- Тоноян, 2003 *Тоноян А.С.* Прогнозирование на основе нейронных сетей. С. 312-323
- Анна Филиппович, 2003 *Филиппович Анна.* Среда обработки данных полиязычного ассоциативного эксперимента С. 324-332

## Приложение

## ПРОГРАММА КУРСА

### Раздел 1. Организационно-методический

#### 1.1. Место курса в образовательной программе

Учебный курс «Представление знаний в информационных системах» соответствует одноименной дисциплине, которая входит в цикл специальных дисциплин государственного образовательного стандарта 230200 «Информационные системы».

Программа курса также соответствует требованиям проекта государственного образовательного стандарта третьего поколения (ГОС-3) по направлению «Информационные системы» в части следующих компетенций и их компонент:

- Знания:
  - модель представления знаний,
  - подходы и техника решения задач искусственного интеллекта,
  - информационные модели знаний,
  - методы представления знаний,
  - методы инженерии знаний;
  - модели методы формализации, автоформализации и представления знаний;
  - теорию и технологии приобретения знаний, принципы приобретения знаний;
  - математические модели представления знаний, методы работы со знаниями;
- Умения:
  - разрабатывать модели предметных областей
- Навыки:
  - работы с базами данных и базами знаний

#### 1.2. Цели и задачи курса

*Целью изучения дисциплины является приобретение следующих компетенций:*

- методы, языки и модели представления знаний;
- проектирование и разработка экспертных систем;
- основы искусственного интеллекта.

### 1.3. Требования к уровню освоения курса

На основе изучения материала данной дисциплины студенты должны:

*Иметь представление* о различных направлениях и истории развития в области ИИ; о современных подходах к решению интеллектуальных задач; о принципах построения и обучения нейронных сетей, об основах эволюционных вычислений и генетических алгоритмах.

*Знать* архитектуру и методы проектирования экспертных систем; модели представления знаний: логику высказываний, логику предикатов; нечеткую логику, фреймы, сценарии, семантические сети и продукционные модели.

*Уметь* разрабатывать и программировать диалоги взаимодействия ЭВМ и человека, проектировать и разрабатывать экспертные системы, решать оптимизационные задачи с помощью генетических алгоритмов.

*Иметь навыки* работы на ЭВМ типа IBM PC в среде программирования Delphi и в специализированных ИС.

Более подробно знания, умения и навыки представлены в документе «Модель компетенций УМК «Представление знаний в информационных системах»».

### 1.4. Формы контроля по курсу. Критерии оценки знаний, умений, навыков

**Итоговый контроль.** Для контроля усвоения данного курса учебным планом предусмотрен экзамен в соответствии с учебным планом, который проводится в форме устного экзамена.

**Текущий контроль.** Текущий контроль успеваемости осуществляется согласно «Правилам кредитования учебной нагрузки», описанных в методических указаниях по изучению курса.

**Самопроверка.** В УМК включена тестовая система, которая поможет слушателям проводить самостоятельно контроль усвоения материала лекций и практических занятий, а также более качественно подготовиться к экзамену.

## Раздел 2. Содержание курса

### 2.1. Организационно-методические данные курса

Виды учебных работ	Трудоемкость (в акад. часах и/или кредитах)*	
	всего	семестр
<b>Общая трудоемкость</b>	4 ЗЕ	4 ЗЕ
<i>Аудиторная работа</i>	1.2 ЗЕ	1.2 ЗЕ
Лекции	0.9 ЗЕ	0.9 ЗЕ

Лабораторные работы	0.3 ЗЕ	0.3 ЗЕ
Самостоятельная работа	1.8 ЗЕ	1.8 ЗЕ
Итоговый контроль	1 ЗЕ	1 ЗЕ
<b>Виды текущего контроля*</b>		
<b>Вид итогового контроля</b>		
Экзамен	Экз.	Экз.

\* Текущий контроль успеваемости осуществляется согласно «Правилам кредитования учебной нагрузки», описанных в методических указаниях по изучению курса. Расчет кредитов осуществляется согласно Методики Минобрнауки РФ.

## 2.2. Тематический план курса

Наименование разделов и тем	<i>очная форма обучения</i>			
	Количество часов (в акад. часах и/или кредитах)			
	Лекции	Практические занятия	Самостоят. работа	Всего часов по теме
<b>Модуль 1. Искусственный интеллект как научное направление</b>	<b>12</b>			<b>12</b>
Тема 1.1. Что такое ИИ?	4			4
Тема 1.2. Область ИИ.	2			2
Тема 1.2. Антология ИИ.	6			6
<b>Модуль 2. Представления знаний в системах искусственного интеллекта</b>	<b>14</b>		<b>14</b>	<b>23</b>
Тема 2.1. Формализация знаний в интеллектуальных системах	2		2	2
Тема 2.2. Формально-логические модели	2		2	2
Тема 2.3. Нечеткая логика.	4		4	4
Тема 2.4. Продукционные модели.	4		4	4
Тема 2.5. Сетевые модели	2		2	2
<b>Модуль 3. Теоретические основы проектирования экспертных систем</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>24</b>	<b>22</b>
Тема 3.1. Архитектура интеллектуальных систем	2		14	2
Тема 3.2. Экспертиза и экспертная информация	2	4	6	2
Тема 3.3. Проектирование экспертных систем	2	2	4	2
<b>Модуль 4. Нейро-бионические интеллектуальные системы.</b>		<b>6</b>	<b>14</b>	<b>20</b>
Тема 4.1. Эволюционная теория возникновения интеллекта.			2	2
Тема 4.2. Введение в генетические алгоритмы		2	4	6
Тема 4.3. Введение в нейронные сети.		4	8	12
<b>Итого по курсу:</b>	<b>32/0.9</b>	<b>12/0.3</b>	<b>64/1.8</b>	<b>108/3</b>

## 2.3. Содержание курса

### *Модуль 1. «Искусственный интеллект как научное направление»*

*Тема 1.1. Что такое Искусственный интеллект?* На основе нескольких исторических и современных словарей анализируются слова «Искусственный» и «Интеллект»; затем рассматривается метафора «Искусственный интеллект» на основе экспериментальных наблюдений; далее анализируются различные определения, толкования, ассоциации и сравнения; рассматриваются цели и возможности Искусственного Интеллекта и в завершении анализируются возражения против Искусственного Интеллекта.

*Тема 1.2. Область ИИ.* Рассматривается структура и история формирования области исследований и разработок, которая сегодня относится к искусственному интеллекту. Выделяются следующие этапы: эвристические программы, интегральные роботы, экспертные системы, нейронные сети, нечеткая логика, эволюционный подход. В заключении рассматриваются тенденции дальнейшего развития области ИИ.

*Тема 1.3. Антология искусственного интеллекта.* Искусственный интеллект рассматриваются как новая информационная технология, связь методов ИИ с психологией и подробно представляется структура всей области ИИ.

### *Модуль 2. «Представления знаний в системах искусственного интеллекта»*

*Тема 2.1. Формализация знаний в интеллектуальных системах.* Вводятся основные понятия и определения, а затем рассматривается классификация моделей представления знаний.

*Тема 2.2. Формально-логические модели.* Сначала дается определение формальной системы, затем последовательно рассматриваются логики высказываний и предикатов

*Тема 2.3. Нечеткая логика.* Посвящена нечетким множествам. Сначала рассматриваются операции над нечеткими множествами, затем нечеткий вывод, в последующем делается сравнение моделей выводов  $\text{mamdani}$  и  $\text{tvfi}$ . Завершает тему рассмотрения понятий «нечеткость» и «вероятность».

*Тема 2.4. Продукционные модели.* Рассматриваются структура и состав продукционных моделей, а затем модели с использованием вероятностных продукций и смешанные.

*Тема 2.5. Сетевые модели.* Приведена классификация сетевых моделей и рассмотрены функциональные и семантические сети, фреймы и сценарии.

### ***Модуль 3. «Теоретические основы проектирования экспертных систем»***

*Тема 3.1. Архитектура интеллектуальных систем.* Рассматриваются три архитектурных аспекта проектирования интеллектуальных систем: функциональная предназначенность, возможность технической реализации и социально-эстетическую форму существования. В рамках первого аспекта рассматривается принцип автоформализации знаний и необходимость естественно-языкового интерфейса между человеком и интеллектуальной системой. При рассмотрении второго аспекта представляется трехкомпонентная структура интеллектуальной системы: машина знаний, машина принятия решений (вывода) и интерфейс.

*Тема 3.2. Экспертиза и экспертная информация.* Рассматриваются подходы к проектированию экспертных систем, их структура, классификация и тенденции развития.

*Тема 3.3. Проектирование экспертных систем.* Посвящена рассмотрению задач практического создания следующих основных компонент экспертных систем: а) компоненты извлечения знаний и их различным методам, включая машинно-ориентированное получение знаний; б) интерфейсной компоненты и методам формализация задачи проектирования интерфейсной модели.

### ***Модуль 4. Нейро-бионические интеллектуальные системы***

*Тема 4.1. Эволюционная теория возникновения интеллекта.* Понятие эволюции. Возникновение жизни, психики, рефлексов. Инстинктивное, индивидуально-изменчивое, интеллектуальное, сознательное поведение. Формирование и отделение человека от природы, от животного мира. Отличие животного от человека. Интеллект как исключительный атрибут человека.

*Тема 4.2. Введение в генетические алгоритмы.* Теория эволюции Дарвина и ее применение в СИИ. Эволюционные исчисления. Генетические алгоритмы. Сравнение ЭИ и ГА. Примеры решения задач. Хромосомы, популяция, поколение, элитизм, гены, наследование, качество хромосомы, критерий отбора. Операторы мутации, скрещивания, размножения, редукции.

*Тема 4.3. Введение в нейронные сети.* Нейронные сети и их применение в ИС. Биологический прототип и искусственный нейрон. Математические модели нейронов. Однослойные искусственные нейронные сети. Многослойные искусственные нейронные сети. Терминология, обозначения и схематическое изображение искусственных нейронных сетей.

Перцептроны и зарождение искусственных нейронных сетей. Перцептронная представляемость. Обучение перцептрона. Алгоритм обучения перцептрона. Процедура

обратного распространения. Обучающий алгоритм обратного распространения. Пример обучения. Область применения алгоритма и ограничения по использованию.

#### **2.4. Самостоятельная работа слушателей**

Виды самостоятельной внеаудиторной работы: домашнее задание, дополнительные лабораторные работы, самостоятельное изучение разделов курсов, повторение лекционного материала и материала учебников, конспектирование литературных источников по вопросам ИИ.

#### **2.5. Аудиторный и внеаудиторный практикум**

Перечень основных лабораторных работ:

- № 1. Разработка диалоговой компоненты прототипа ЭС.
- № 2. Разработка базы знаний и машины вывода прототипа ЭС.
- № 3. Разработка базы знаний с использованием сетевых ЯПЗ.
- № 4. Решение задачи поиска кратчайшего пути с помощью генетических алгоритмов.
- № 5. Решение задачи распознавания изображения с помощью нейронной сети.
- № 6. Обучение нейрона с помощью генетических алгоритмов.

### **Раздел 3. Учебно-методические материалы по дисциплине**

#### **3.1. Список рекомендуемой основной и дополнительной литературы**

##### *3.3.1. Основная литература*

*Девятков В.В.* Системы искусственного интеллекта. –М.: Изд-во МГТУ им.Баумана, 2001. –352 с.

*Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. –СПб.: Питер, 2001.

*Джексон П.* Введение в экспертные системы. –М.: Издательский дом “Вильямс”, 2001. – 624 с.

##### *3.3.2. Дополнительная литература*

*Филиппович А.Ю.* Интеграция систем ситуационного, имитационного и экспертного моделирования. – М.: Изд-во "ООО Эликс+", 2003. –300 с.

*Корнеев В.В., Гареев А.Ф., Васютин С.В., Райх В.В.* Базы данных. Интеллектуальная обработка информации. –М.: "Нолидж", 2002. – 352 с.

Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учебник / Под ред. Н.Д. Егупова. –М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. – 744 с.

*Трахтенгерц Э.А.* Компьютерная поддержка принятия решений. –М.: Синтег, 1998. – 376 с.

*Герман О.В.* Введение в теорию экспертных систем и обработку знаний. –Мн.: ДизайнПРО, 1995. – 255 с.

*Баилюков А.А., Еремеев А.П.* Экспертные системы поддержки принятия решений в энергетике. –М.: МЭИ, 1994.

*Нейлор К.* Как построить свою экспертную систему. –М.: Энергоатомиздат, 1991. –286 с.

### 3.3.3. Интернет источники

- <http://www.raai.org/> - Российская ассоциация искусственного интеллекта
- [fuzzy.kstu.ru/rans.htm](http://fuzzy.kstu.ru/rans.htm) - Российская ассоциация нечетких систем
- [ni.iont.ru](http://ni.iont.ru) - Российская ассоциация нейроинформатики (РАСНИ)
- [www.larichev.com](http://www.larichev.com) - Сайт академика О.И.Ларичева
- [www.aaai.org](http://www.aaai.org) - Американская ассоциация искусственного интеллекта American Association for Artificial Intelligence (AAAI)
- [prof9.narod.ru](http://prof9.narod.ru) - Искусственный Интеллект от Prof'a. Сайт посвящен Искусственному Интеллекту и всему, что с ним связано.
- [iii.newmail.ru](http://iii.newmail.ru) - Лаборатория искусственного интеллекта. В основном содержит материалы по нейронным сетям.
- [www.ai.obrazec.ru](http://www.ai.obrazec.ru) - Сайт "Искусственный интеллект"
- [aifuture.chat.ru](http://aifuture.chat.ru) - Искусственный интеллект ("Взгляд в будущее").
- [www.aicomunity.org](http://www.aicomunity.org) - Материалы об искусственном интеллекте
- [newasp.omskreg.ru/intellect/](http://newasp.omskreg.ru/intellect/) - Сборник электронных вариантов статей и книг, объединенных общей темой "Парадигма искусственного интеллекта"
- [artema.fopf.mipt.ru/ai/aihist.html](http://artema.fopf.mipt.ru/ai/aihist.html) - Материалы по ИИ. В т.ч. - об истории, языках и проч.

## Раздел 4. Материально – техническое обеспечение дисциплины

### 4.1. Список учебно-лабораторного оборудования

Теоретические и практические занятия должны проводиться в специализированной аудитории, оснащенной современными персональными компьютерами и программным обеспечением в соответствии с тематикой изучаемого материала. Число рабочих мест в

аудитории должно быть таким, чтобы обеспечивалась индивидуальная работа студента на отдельном персональном компьютере. Аудитория также должна быть оснащенной современным компьютером с подключенным к нему проектором с видеотерминала на настенный экран, или иным аналогичным по функциональному назначению оборудованием.

#### **4.2. Программные, технические и электронные средства обучения и контроля знаний слушателей**

Программные средства обучения: Офисные системы (Microsoft Office, Visio), среды программирования (Delphi), СУБД (MS Access, Corel Paradox).

## МОДЕЛЬ КОМПЕТЕНЦИЙ

### 1.1. Введение

В данном документе под *компетенцией* понимается совокупность (интегральная характеристика) нескольких компонент, необходимых для эффективного выполнения задач профессиональной деятельности.

*Модель компетенции* в зависимости от степени ее проработанности может включать такие компоненты, как: кругозор, знания, умения, навыки, личные качества, способности и другие индикаторы.

Компетенция является не только многокомпонентной, но иерархической структурой, т.е. укрупненные компетенции можно декомпозировать на более мелкие составляющие<sup>23</sup>. Четкое разграничение компетенций между собой в общем случае является трудоемкой задачей, поэтому целесообразно описывать либо модель укрупненной компетенции, либо единую модель сразу нескольких компетенций.

Приведенная ниже *модель компетенций* максимально приближена к структуре макета государственного образовательного стандарта третьего поколения (ГОС-3) и включает в себя следующие основные ракурсы:

- *Профессиональный*, который дает определение компетенции через область применения, объекты, виды и задачи профессиональной деятельности;
- *Когнитивный*, который дает определение компетенции через модель знаний-умений-навыков, дополненную требованиями к кругозору;
- *Личностный*, который содержит перечень личных качеств и способностей, приобретаемых в ходе изучения УМК.

Табл. 1.1. Описание компонент компетенции.

Компоненты компетенции	Описание
1. Кругозор	Иметь представление о предмете, процессе, явлении. Способность его выделить, назвать, привести пример (теоретическое экстенциональное декларативное знание).
2. Знания	Знать, понимать содержание предмета, процесса, явления. Способность дать определение через структуру и связи с другими понятиями (теоретическое интенциональное декларативное знание).
3. Умения	Уметь решать задачи, выполнять действия, владеть методиками (теоретическое процедурное знание).
4. Навыки	Иметь навыки по решению задач, применения знаний и умений на практике (опытное, практическое знание).

<sup>23</sup> Наименьшей является *атомарная компетенция*, которая не раскладывается и не выражается через другие компетенции.

5. Личные качества	Личностные характеристики, необходимые для наиболее эффективной работы в определенной ситуации.
6. Свойства, классификационные характеристики	Служебная информация, необходимая для структурирования компетенции и представления их в виде онтологий или других иерархических структур.

## 1.2. Профессиональный ракурс

### 1.2.1. Сфера и область применения компетенций

Сферой применения компетенций являются информационно-коммуникационные технологии (ИКТ), используемые на различных стадиях жизненного цикла (ЖЦ) информационных систем (ИС).

Область применения компетенций представлена в Таблица 1.2 и определяется через процессы ЖЦ ИС (в соответствии с ГОСТ ИСО МЭК 12207), предметную область и класс ИС.

Таблица 1.2. Область применения компетенций для УМК «Представлений знаний в ИС»

Процессы ЖЦ ИС	Область применения
<i>Предпроектные процессы</i>	
научное исследование	
обследование и анализ	Широкий класс ИС
формирование требований	
разработка концепции	
техническое задание	
<i>Основные процессы</i>	
Заказ	
Поставка	
Разработка: <ul style="list-style-type: none"> <li>• анализ требований к системе;</li> <li>• проектирование системной архитектуры;</li> <li>• анализ требований к программным средствам;</li> <li>• проектирование программной архитектуры;</li> <li>• техническое проектирование программных средств;</li> <li>• программирование и тестирование программных средств;</li> <li>• сборка программных средств;</li> <li>• квалификационные испытания программных средств;</li> <li>• сборка системы;</li> <li>• квалификационные испытания системы;</li> <li>• ввод в действие программных средств;</li> <li>• обеспечение приемки программных средств.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Системы поддержки принятия решений</li> <li>• Экспертные системы</li> <li>• Информационно-аналитические системы</li> <li>• ситуационные центры</li> <li>• другие интеллектуальные системы</li> </ul>
Эксплуатация	
Сопровождение	
<i>Вспомогательные процессы</i>	
документирование	Персональные ИС
управление конфигурацией	
обеспечение качества;	
верификация	

аттестация	
совместный анализ	
аудит	
решение проблем	
<i>Организационные процессы</i>	
управление	
создание инфраструктуры	
усовершенствование	
обучение	

### 1.2.2. Объекты профессиональной деятельности

Объектами профессиональной деятельности являются инструменты, источники и результирующие артефакты профессиональной деятельности, которые представлены в Таблица 1.3.

Таблица 1.3. Объекты профессиональной деятельности

Группы объектов профессиональной деятельности	Объекты профессиональной деятельности
Информационные сети	Сети Интернет и Интранет
Программное обеспечение	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Среды программирования (Delphi, C++ Builder, PHP, Net)</li> <li>• СУБД (Paradox, Access, MySQL)</li> <li>Интерфейсы взаимодействия с БД (BDE, ADO, ODBC)</li> <li>• Средства документирования (Word, Visio)</li> <li>Операционная система Windows</li> </ul>
Техническое обеспечение	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Компьютеры PC</li> <li>• Периферийные устройства (принтер, внешние накопители данных)</li> </ul>
Организационное и правовое обеспечение	—
Методическое обеспечение	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Методы инженерии знаний</li> <li>• Метода проектирования и разработки экспертных систем</li> <li>• Методы обучения нейронных сетей</li> <li>• Методы решения задач с помощью генетических алгоритмов.</li> </ul>
Математическое обеспечение	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Математические модели представления знаний и данных в интеллектуальных системах</li> <li>• Математические модели и методы нейронных сетей и генетических алгоритмов.</li> </ul>
Информационное обеспечение	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Знания экспертов и другие информационные источники о предметной области.</li> </ul>
Лингвистическое обеспечение	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Лингвистические модели представления знаний</li> <li>• Языки представления знаний</li> <li>• Языки инженерии знаний</li> </ul>
Эргономическое обеспечение	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Интерфейсная компонента экспертных систем (подсистемы диалога и объяснения)</li> <li>• Редактор базы знаний ЭС</li> </ul>

### 1.2.3. Виды и задачи профессиональной деятельности

Задачами профессиональной деятельности являются информационные процессы, в рамках которых создаются или используются объекты профессиональной деятельности. В Таблица 1.4.4 они сгруппированы по нескольким видам деятельности.

Таблица 1.4. Виды и задачи профессиональной деятельности

Виды профессиональной деятельности	Задачи профессиональной деятельности
Аналитическая и научно-исследовательская	Извлечение знаний: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Интервьюирование экспертов предметной области;</li> <li>• Работа с документами предметной области;</li> <li>• Обследование предметной области;</li> <li>• Документирование результатов.</li> </ul> Концептуализация, формализация и моделирование знаний: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Выбор моделей и систем представления знаний;</li> <li>• Построение и описание моделей объектов, процессов и ситуаций в предметной области.</li> </ul>
Проектно-конструкторская	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Разработка концепции и технических заданий для информационных систем;</li> <li>• Проектирование, разработка, тестирование, внедрение и сопровождение экспертных и других интеллектуальных систем.</li> </ul>

### 1.3. Личностный ракурс

Личностные качества, под которыми часто также понимают некоторые способности, являются одной из основных компонент модели компетенции, которой в последнее время уделяют особое внимание. Для УМК «Представление знаний» выбраны следующие личностные качества, которые косвенным или прямым образом развиваются при изучении теоретического материала и выполнении практических занятий.

Таблица 1.5. Личные качества

Личные качества	Комментарий-обоснование
Внимание к деталям	Изучение математических методов, программирование
Новаторство	Наличие факультативных и недетерминированных заданий
Гибкость	Методы ИИ направлены на решение нестандартных задач
Обучаемость	Изучаются принципы, и методы организации знаний, а также методы и системы обучения
Мысленная визуализация	Проектирование интерфейсов ЭС, разработка моделей и баз знаний
Самооценка	Наличие множества различных факультативных заданий и системы накопления кредитов позволяет самостоятельно выбирать тип учебной нагрузки и оценивать свои возможности
Логическое мышление	Модели представления знаний, программирование ЭС

Творческое мышление	Факультативные задания, возможность самостоятельно выбрать предметную область при разработке ЭС
Коммуникабельность	При разработке ЭС необходимо осуществлять взаимодействие с экспертом, групповое выполнение домашнего задания
Инициативность	Выполнение дополнительных заданий поощряется получением зачетных единиц
Внешняя осведомленность	Для выполнения факультативных заданий необходимо самостоятельно изучать дополнительные внешние источники информации

#### 1.4. Когнитивный ракурс

##### 1.4.1. Знания и умения учебного пособия

Учебное пособие, как правило, содержит теоретический материал, который может быть впоследствии закреплён путем упражнений, выполнения лабораторных или других практических заданий, поэтому в Таблица 1.6 представлены только теоретические знания. В одном из столбцов таблицы размещаются разделы, пункты и подпункты содержания, а в других – соответственно *кругозор, знания и умения*.

Таблица 1.6. Знания и умения учебного пособия УМК

Пункт содержания	Декларативные знания (Что?)		Процедурные знания (Как?)
	Кругозор (иметь представление)	Знания	Умения
Формализация знаний в интеллектуальных системах			
Основные понятия и определения		Картина мира, Предметная область. Данные и знания. Формальные языки. Базы знаний и СУБЗ. Языки (модели) представления знаний.	
Свойства и классификация знаний		Способы формализации знаний. Свойства и отличительные черты знаний. Формы представления знаний. Процедурные и декларативные знания. Экстенциональные и интенциональные знания.	
Модели представления знаний		Классификация моделей знаний и данных.	
Формально-логические модели	Алетическая логика деонтическая логика эпистемическая логика Темпоральные логики Немонотонные логики Псевдофизические логики Онтологии	Формальная система Классификация формально-логических систем Достоинства и недостатки формально-логических систем Дедуктивные модели Индуктивные модели Правдоподобный вывод Модальные логики	

Логика высказываний		Алфавит логики высказываний (ЛВ) Операторы и правила построения формул ЛВ Атомарные и общезначимые формулы ЛВ Теоремы и формальное доказательство в ЛВ	Аксиомы ЛВ, Основные законы ЛВ Правила вывода ЛВ. Исчисление высказываний Описание предметной области с помощью ЛВ
Логика предикатов		Лингвистические переменные и константы Предикат, местность предиката Кванторы всеобщности и общезначимости Формулы и термы логики предикатов Преимущества логики предикатов	Описание предметной области с помощью логики предикатов
Нечеткая логика	Трехзначная логика современных СУБД	Многозначные логики	
Нечеткие множества		Аналитическое и графическое представление нечеткого множества (НМ). Степень вхождения (уровень принадлежности) элемента в НМ. Основа НМ	Описание предметной области с помощью НМ
Операции над нечеткими Множествами	Специфические операции над НМ	Основные операции над НМ Достоинства и недостатки методов для выполнения основных операций над НМ Невыполнимость операций классической логики в нечеткой.	Операция пересечения НМ метод Min Combination пересечение НМ методом «мягких вычислений» Операция Объединения НМ метод Max Combination метод Sum Combination Объединение НМ методом «мягких вычислений» Операция отрицания НМ
Нечеткий вывод		Структура и этапы нечеткого вывода	Правило фазификации Нечеткие правила вывода: Метод "минимума" (correlation-min encoding) Метод "произведения" (correlation-product encoding) Правило агрегации Методы дефазификации: метод центра тяжести, методы крайне левого, крайне правого и среднего максимума. Метод взвешенного среднего
Сравнение Моделей выводов Mamdani и TVFI		Достоинства и недостатки моделей нечеткого вывода	модель вывода Мамдани (Mamdani) модель вывода Truth Value Flow Inference (TVFI)
Нечеткость и вероятность		Отличие нечеткости и вероятности	
Продукционные модели			Описание предметной области с помощью
		Продукция, консеквенты и антецеденты Достоинства и недостатки продукционных систем	

Вероятностные продукции		Гипотеза, факт, свидетельство коэффициенты уверенности Шортлифа.	Формулы Байеса и Байесовская стратегия вывода. Метод цен свидетельств Метод вывода с коэффициентами уверенности Шортлифа
Смешанные модели			
Сетевые модели		Сетевая модель представления знаний Классификация сетевых моделей <ul style="list-style-type: none"> <li>• простые и иерархические сети</li> <li>• однородные и неоднород- ные сети</li> </ul> Достоинства и недостатки сетевых моделей	
Функциональные сети			Описание предметной области с помощью функциональных сетей
Ассоциативные сети.		Сети Квилиана. Механизм ассоциации нейронных клеток	
Семантические сети		Основные отношения в семантических сетях.	Описание предметной области с помощью семантических сетей
Фреймовая модель		Фреймы Минского, слоты. Виды фреймов. Фрейм-прототип. Процедурный фрейм. Процедура-демон Процедура-слуга	Описание предметной области с помощью фреймов
Сценарии		Сценарии Шенка. Каузальные отношения.	Описание предметной обла- сти с помощью сценариев
Что такое искусственный интеллект		Понятие интеллекта. Интеллектуальные системы.	
Сравнения искусственного интеллекта	Когнитивная модель и методы для изучения когнитивной модели Интеллекта Рациональное мышле- ние и формальные системы Рациональный агент	Подходы к определению системы ИИ Тест Тьюринга, Общий тест Тьюринга	
Цели искусственного интеллекта		Цели и основные принципы информационного направления в ИИ. Цели и основные принципы Бионического направления в ИИ Цели и основные принципы Эволюционного направления в ИИ.	
Возможность искусст- венного интеллекта		возможность искусственного интеллекта	
Возражения против ИИ.	Возражения против возможности создания ИИ на более низком уровне развития материи (в неживой	Возражения против теста Тьюринга как критерия Интеллектуальности (Джон Серл) Возражения против	

	<p>среде).</p> <p>Возражение о неразложимости процесса мышления на простейшие логические операции.</p> <p>Возражение о неспособности искусственной системы к творческой и инновационной деятельности</p> <p>Возражение, основанное на гипотезе о возникновении сознания только в общественной среде.</p> <p>Наличие чувств как атрибут интеллектуальности сознания и мышления</p> <p>Другие возражения</p>	<p>бионического подхода как стратегии редукционизма (Роджер Пенроуз)</p> <p>Эмерджентные свойства Интеллекта и возражения против бионического подхода на базе гипотезы об уникальности развития нейронных ансамблей (Джералд Эделмен)</p>	
Область искусственного интеллекта		<p>Структура и динамика развития области ИИ.</p> <p>Этапы развития ИИ</p> <p>Условность выделения направлений в ИИ</p>	
Начальный этап — эвристические программы		<p>Эвристика и эвристические программы</p> <p>Смена парадигмы ИИ в сторону решения сложных вычислительных задач</p>	
Второй этап — интегральные роботы		<p>Формирование парадигмы ИИ как интегрального робота</p> <p>Основные проблемы создания интегральных роботов</p>	
Третий этап — экспертные системы		<p>Преимущества эргатических интеллектуальных систем</p> <p>Выделение класса экспертных систем</p> <p>Вклад экспертных систем в развитие области ИИ</p> <p>Преимущества и недостатки ЭС</p>	
Четвертый этап — нейронные сети		<p>Возникновение искусственных нейронных сетей (НС)</p> <p>Причины спада интереса к НС на начальном этапе развития ИИ</p> <p>Преодоление ограничений однослойных НС и рост интереса к НС</p> <p>Область применения НС</p> <p>Достоинства и недостатки НС</p>	
Пятый этап — нечеткая логика	<p>теория нечетких множеств Заде</p> <p>Теорема FAT (Fuzzy Approximation Theorem)</p> <p>Фаззи-контроллеры.</p>		

Шестой этап — эволюционный подход		Основные принципы эволюционного подхода Ключевые направления эволюционного подхода Принципы построения генетических алгоритмов Достоинства и недостатки ГА	
Тенденции дальнейшего развития области искусственного интеллекта	Тенденции дальнейшего развития области искусственного интеллекта		
Экспертиза и экспертная информация		экспертная система Основные подходы к определению ЭС Функции ЭС Экспертиза Процедура извлечения знаний: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ идентификация,</li> <li>▪ концептуализация,</li> <li>▪ формализация,</li> <li>▪ реализация,</li> <li>▪ испытание</li> <li>▪ реструктуризация</li> </ul> Процедура предъявления знаний в ЭС	
Структура, классификация и тенденции развития ЭС		Структура ЭС База знаний и данных; Машина вывода; Интерфейс с пользователем; Модуль извлечения знаний и обучения; Компонент приобретения и объяснения знаний. Классификация ЭС: По решаемой задаче <ul style="list-style-type: none"> <li>○ ЭС интерпретации данных</li> <li>○ ЭС диагностики</li> <li>○ ЭС мониторинга</li> <li>○ ЭС проектирования</li> <li>○ ЭС планирования</li> <li>○ ЭС обучения</li> <li>○ ЭС синтеза и анализа</li> </ul> По связи с реальным временем <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Статические ЭС</li> <li>○ Квазидинамические ЭС</li> <li>○ Динамические ЭС</li> </ul> По степени интеграции <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Автономные ЭС</li> <li>○ Интегрированные (гибридные) ЭС</li> </ul> По степени сложности <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Поверхностные ЭС</li> <li>○ Глубинные ЭС</li> </ul> По стадии реализации <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Демонстрационный прототип</li> </ul>	

		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Исследовательский прототип</li> <li>○ Действующий прототип</li> <li>○ Промышленная стадия</li> <li>○ Коммерческая система</li> </ul> <p>По типу языковых средств</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ символьные языки программирования</li> <li>○ языки инженерии знаний</li> <li>○ системы, автоматизирующие разработку (проектирование) ЭС</li> <li>○ оболочки ЭС</li> </ul> <p>тенденции развития ЭС</p>	
Компонента извлечения знаний		<p>Модель знаний эксперта</p> <p>Модель знаний инженера по знаниям</p> <p>процесс приобретения знаний</p>	
Методы извлечения знаний		<p>режимы взаимодействия инженера по знаниям с экспертом-специалистом</p> <p>стратегии интервьюирования:</p> <p>разбиение на ступени, репертуарная решетка</p> <p>подтверждение сходства.</p> <p>Этапы взаимодействия инженера по знаниям с экспертом-специалистом</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Подготовительный этап</li> <li>▪ Установление лингвистического альянса</li> <li>▪ Гносеологический этап</li> </ul>	
Машинно-ориентированное получение знаний		<p>Ассоциативная модель обучения</p> <p>Лабиринтная модель обучения</p> <p>Получение знаний по примерам:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Простейшее прогнозирование</li> <li>▪ Идентификация (синтез) функций.</li> <li>▪ Расшифровка языков.</li> <li>▪ Индуктивный вывод.</li> <li>▪ Синтез с дополнительной информацией</li> </ul>	Этапы гипотетико-дедуктивного подхода
Задача проектирования интерфейсной компоненты интеллектуальных систем		<p>Естественно-языковой (ЕЯ) и визуальный интерфейс взаимодействия с ИС</p> <p>Способы организации взаимодействия ЭС с пользователем:</p> <p>Недостатки использования ЕЯ-интерфейсов</p> <p>Требования к интерфейсу взаимодействия ЭС</p> <p>требования к средствам проектирования интерфейса</p>	

		взаимодействия	
Формализация задачи проектирования интерфейсной модели		Формализованная модель проектирования интерфейсной компоненты ЭС	

#### 1.4.2. Навыки и другие индикаторы

Навыки приобретаются опытным путем в результате выполнения упражнений, лабораторных работ, домашних заданий, тренингов и т.д. Как правило, во время обучения приобретаются не только навыки, связанные с тематикой дисциплиной (УМК), но и ряд вспомогательных навыков. Например, подготовка отчетов развивает навыки создания технической документации, а разработка алгоритмов задач с помощью компьютера дает опыт программирования. В связи с этим навыки можно разбить на две группы: *основные* и *дополнительные*.

Для решения учебных задач и приобретения навыков необходимо предварительно получить соответствующие теоретические знания и умения. В связи с этим каждое упражнение может быть направлено либо на закрепление имеющихся, либо на приобретение новых знаний и умений.

Таблица 1.7. Навыки и другие индикаторы УМК

Пункт лабораторной работы, домашнего задания и т.д.	Умения/ Навыки основные (по дисциплине)	Умения/ Навыки дополнительные	Знания (необходимые и приобретаемые)
<i>Разработка прототипа и базы знаний ЭС с правилами вывода</i>			
Выбрать предметную область и задачу, которая может быть решена с помощью ЭС.	Оценка возможности и необходимости применения ЭС для решения задач	Анализ информации принятие решений	Область применения ЭС
Разбить процесс решения задачи на следующие этапы	Извлечение знаний: идентификация, концептуализация, формализация, реализация, испытание реструктуризация	Анализ и моделирование предметной области Поиск и структурирование информации	Виды знаний Языки представления знаний
Разработать вопросы к пользователю и граф диалога	Разработка графа диалога ЭС Проектирование пользовательского интерфейса ЭС		
Разработать БД для хранения исходных, промежуточных и результирующих данных.	Проектирование и Разработка БД ЭС		Объектные и реляционные БД СУБД
Разработать вопросно-ответную компоненту БЗ	Проектирование и разработка БЗ		
Разработать правила и машину вывода	Разработка продукционных правил и систем вывода стратегии и методы вывода	Проектирование, программирование и тестирование компьютерных программ в синтаксический разбор логических и математических выражений. Чтение и написание	Продукции Сложные правила вывода

		запросов SQL	
Содержание отчета		Разработка технической и пользовательской документации	
<i>Разработка базы знаний с использованием сетевых ЯПЗ<sup>24</sup></i>	Разработка ЭС с использованием семантических сетей и фреймов	Применение объектно-ориентированного подхода и механизмов наследования	Семантические сети Фреймы
<i>Решение задач с помощью генетических алгоритмов</i>	Решение задач с помощью генетических алгоритмов (ГА) Методы и алгоритмы селекции, редукции, кроссинговера и мутации Проектирование и разработка интеллектуальных систем с использованием ГА	Передача и маршрутизация данных в компьютерных сетях Решение оптимизационных задач (задачи поиска кратчайшего маршрута) Оценка сходимости и эффективности алгоритмов Проведение экспериментов	Основные понятия ГА: популяция хромосома гены поколение
<i>Решение задач с помощью нейронных сетей</i>	Решение задач обучения и распознавание с помощью нейронных сетей (НС). Алгоритм обучения персептрона Проектирование и разработка интеллектуальных систем с использованием НС.	Распознавание изображений Компьютерное обучение	Основные понятия НС: модель искусственного нейрона функции активации НС персептрон Персептронная представляемость
<i>Обучение нейрона с помощью ГА</i>	Обучение нейронной сети с помощью генетических алгоритмов Использование вещественных чисел в ГА	Интеграция интеллектуальных систем	
<i>Домашнее Задание и дополнительные лабораторные работы</i>	Разработка онтологии предметной области Формализация предметной области и постановки задач	Обследование и анализ объекта автоматизации	Онтология Модели представления знаний
<i>Домашнее Задание и дополнительные лабораторные работы</i>	Разработка ЭС с поддержкой вероятностного вывода Разработка ЭС с поддержкой нечеткого вывода		Теория вероятности Теорема и формулы Байеса Нечеткая логика Теория уверенности, коэффициенты уверенности
<i>Домашнее Задание и дополнительные лабораторные работы</i>	Разработка следующих компонент ЭС: интеллектуальный редактор объяснения обучения самообучения Методы автоматизированного и автоматического обучения	Отладка программ Управление изменениями	Режимы объяснения ЭС: Что? Как? Почему? Что если? Трассировка правил вывода
<i>Домашнее Задание и дополнительные лабораторные работы</i>	Разработка следующих компонент ЭС: программный интерфейс	Распределенные информационные системы Интеграция программных	

<sup>24</sup> Далее расписываются только новые навыки и другие индикаторы для последующих практических заданий, которые уже описаны ранее, а не дублируются.

	взаимодействия с ЭС генерации исходных данных (подсистема моделирования).	систем Моделирование систем	
<i>Дополнительные лабораторные работы</i>	Сравнение и оценка эффективности использования ГА с другими подходами Решение типовых задач с использованием ГА, возникающих при передаче пакетов данных в компьютерных сетях: задача коммивояжера передача широковеб-ательных запросов оптимизация пропускной способности другие.	Методы и алгоритмы Теории исследования операций Передача данных в компьютерных сетях	Область применения ГА
<i>Дополнительные лабораторные работы</i>	Решение задач распознавания и обучения с использованием многослойных нейронных сетей Алгоритм обратного распространения		Многослойные НС
<i>Дополнительные лабораторные работы</i>	Разработка ЭС с использованием онтологий и сценариев		Онтологии Сценарии Современные стандарты для описания онтологий (OWL, XML)

### 1.4.3. Модель предметной области

Для структурирования моделей знаний-умений-навыков, представленных в предыдущих разделах, используется *тезаурусная модель предметной области*. Ее особенностью является иерархическая структура и типизация (с помощью цветowych выделений) отдельных элементов в соответствии с элементами модели компетенций.

В рамках общей модели компетенций УМК можно выделить следующие группы укрупненных компетенций:

- «Методы, языки и модели представления знаний»;
- «Проектирование и разработка экспертных систем»;
- «Основы искусственного интеллекта».

#### 1.4.3.1. Модель компетенции «Методы, языки и модели представления знаний»

##### Данные и знания

- Основные понятия и определения
  - Картина мира,
  - Предметная область.
  - Данные и знания.
  - Формальные языки.
  - Базы знаний и СУБЗ.
- Свойства и классификация знаний

- Свойства и отличительные черты знаний.
- Формы представления знаний.
- Виды знаний
  - Процедурные и декларативные знания.
  - Экстенциональные и интенциональные знания.

Языки (модели) представления знаний.

- Формальная система
- Способы формализации знаний.
- Формально-логические модели
  - Достоинства и недостатки формально-логических систем
  - Классификация формально-логических систем
    - Дедуктивные модели
      - Логика высказываний
        - Основные понятия и определения
          - Алфавит логики высказываний (ЛВ)
          - Операторы и правила построения формул ЛВ
          - Атомарные и общезначимые формулы ЛВ
          - Теоремы и формальное доказательство в ЛВ
        - Методы логики высказываний
          - Аксиомы ЛВ,
          - Основные законы ЛВ
          - Правила вывода ЛВ.
          - Исчисление высказываний
        - Описание предметной области с помощью ЛВ
      - Логика предикатов
        - Лингвистические переменные и константы
        - Предикат, местность предиката
        - Кванторы всеобщности и общезначимости
        - Формулы и термы логики предикатов
        - Преимущества логики предикатов
        - Описание предметной области с помощью логики предикатов
    - Индуктивные модели
      - Правдоподобный вывод
    - Модальные логики
      - Алетическая логика
      - деонтическая логика
      - эпистемическая логика
      - Темпоральные логики
      - Немонотонные логики
    - Псевдофизические логики
    - Онтологии
    - Многозначные логики
      - Трехзначная логика современных СУБД
      - Нечеткая логика
        - нечеткие множества
          - Аналитическое и графическое представление нечеткого множества (НМ).
          - Степень вхождения (уровень принадлежности) элемента в НМ.
          - Основа НМ

- Описание предметной области с помощью НМ
  - Операции над нечеткими Множествами
    - Основные операции над НМ
    - Специфические операции над НМ
    - Достоинства и недостатки методов для выполнения основных операций над НМ
    - Операция пересечения НМ
      - метод Min Combination
      - пересечение НМ методом «мягких вычислений»
    - Операция Объединения НМ
      - метод Max Combination
      - метод Sum Combination
      - Объединение НМ методом «мягких вычислений»
    - Операция отрицания НМ
  - Нечеткий вывод
    - Структура и этапы нечеткого вывода
    - Правило фазификации
    - Нечеткие правила вывода
      - Метод "минимума" (correlation-min encoding)
      - Метод "произведения" (correlation-product encoding)
    - Правило агрегации
    - Методы дефазификации:
      - метод центра тяжести,
      - методы крайне левого, крайне правого и среднего максимума.
      - Метод взвешенного среднего
  - Модели нечеткого вывода
    - модель вывода Мамдани (Mamdani)
    - модель вывода Truth Value Flow Inference (TVFI)
    - Достоинства и недостатки моделей нечеткого вывода
  - Отличие нечеткости и вероятности
- Продукционные модели
  - Продукция, консеквенты и антецеденты
  - Достоинства и недостатки продукционных систем

#### Описание предметной области с помощью

- Вероятностные продукции
  - Гипотеза,
  - факт,
  - свидетельство
  - коэффициенты уверенности Шортлифа.
  - Формулы Байеса и Байесовская стратегия вывода.
  - Метод цен свидетельств
  - Метод вывода с коэффициентами уверенности Шортлифа
- Смешанные модели

- Сетевые модели
  - Сетевая модель представления знаний
  - Достоинства и недостатки сетевых моделей
  - Классификация сетевых моделей
    - простые и иерархические сети
    - однородные и неоднородные сети
    - Функциональные сети
    - Ассоциативные сети.
      - Сети Квилиана.
      - Механизм ассоциации нейронных клеток
    - Семантические сети
      - Основные отношения в семантических сетях.
      - Описание предметной области с помощью семантических сетей
    - Фреймовая модель
      - Фреймы Минского
      - Виды фреймов.
        - Фрейм-прототип.
        - Процедурный фрейм.
          - Процедура-демон
          - Процедура-слуга
      - Описание предметной области с помощью фреймов
    - Сценарии
      - Сценарии Шенка.
      - Каузальные отношения.
      - Описание предметной области с помощью сценариев

#### 1.4.3.2. Модель компетенции «Проектирование и разработка экспертных систем»

##### Экспертные системы

- Основные подходы к определению ЭС
- Экспертиза и функции ЭС
- Область применения ЭС
  - Оценка возможности и необходимости применения ЭС для решения задач
- Структура ЭС
  - База знаний и данных
    - Проектирование и Разработка БД
    - Проектирование и разработка БЗ
      - Разработка продукционных правил вывода
      - Разработка БЗ с использованием семантических сетей и фреймов
  - Машина вывода
    - Стратегии и методы вывода
    - Разработка продукционных систем вывода
    - Разработка машины вывода для семантических сетей и фреймов
  - Интерфейс с пользователем
    - Способы организации взаимодействия ЭС с пользователем:
    - Естественно-языковой (ЕЯ) и визуальный интерфейс взаимодействия с ИС

- Недостатки использования ЕЯ-интерфейсов
- Требования к интерфейсу взаимодействия ЭС
- Требования к средствам проектирования интерфейса взаимодействия
- Формализованная модель проектирования интерфейсной компоненты ЭС
- Разработка графа диалога ЭС
- Проектирование пользовательского интерфейса ЭС
- Модуль извлечения знаний и обучения
  - Модель знаний эксперта
  - Модель знаний инженера по знаниям
  - Процедура извлечения знаний:
    - идентификация,
    - концептуализация,
    - формализация,
    - реализация,
    - испытание
    - реструктуризация
  - Методы извлечения знаний
    - режимы взаимодействия инженера по знаниям с экспертом-специалистом
    - стратегии интервьюирования:
      - разбиение на ступени,
      - репертуарная решетка
      - подтверждение сходства.
    - Этапы взаимодействия инженера по знаниям с экспертом-специалистом
      - Подготовительный этап
      - Установление лингвистического альянса
      - Гносеологический этап
    - Машинно-ориентированное получение знаний
      - Ассоциативная модель обучения
      - Лабиринтная модель обучения
      - получение знаний по примерам:
        - Простейшее прогнозирование
        - Идентификация (синтез) функций.
        - Расшифровка языков.
        - Индуктивный вывод.
        - Синтез с дополнительной информацией
  - Компонент объяснения знаний.
    - Процедура предъявления знаний в ЭС
- Классификация ЭС:
  - По решаемой задаче
    - ЭС интерпретации данных
    - ЭС диагностики
    - ЭС мониторинга
    - ЭС проектирования
    - ЭС планирования
    - ЭС обучения
    - ЭС синтеза и анализа
  - По связи с реальным временем

- Статические ЭС
- Квазидинамические ЭС
- Динамические ЭС
- По степени интеграции
  - Автономные ЭС
  - Интегрированные (гибридные) ЭС
- По степени сложности
  - Поверхностные ЭС
  - Глубинные ЭС
- По стадии реализации
  - Демонстрационный прототип
  - Исследовательский прототип
  - Действующий прототип
  - Промышленная стадия
  - Коммерческая система
- По типу языковых средств
  - символьные языки программирования
  - языки инженерии знаний
  - системы, автоматизирующие разработку (проектирование) ЭС
  - оболочки ЭС
- тенденции развития ЭС

#### 1.4.3.3. Модель компетенции «Основы искусственного интеллекта»

##### Область ИИ

- Основные понятия и определения
  - Понятие интеллекта
  - Искусственный интеллект.
  - Интеллектуальные системы.
    - Подходы к определению системы ИИ
      - Тест Тьюринга, Общий тест Тьюринга
      - Когнитивная модель и методы для изучения когнитивной модели Интеллекта
      - Рациональное мышление и формальные системы
      - Рациональный агент
- Цели и возможность искусственного интеллекта
  - Цели и основные принципы информационного направления в ИИ.
  - Цели и основные принципы Бионического направления в ИИ
  - Цели и основные принципы Эволюционного направления в ИИ.
  - Возможность искусственного интеллекта
  - Возражения против ИИ
    - Возражения против теста Тьюринга как критерия интеллектуальности (Джон Серл)
    - Возражения против бионического подхода как стратегии редуционизма (Роджер Пенроуз)
    - Эмерджентные свойства Интеллекта и возражения против бионического подхода на базе гипотезы об уникальности развития нейронных ансамблей (Джералд Эделмен)
    - Возражения против возможности создания ИИ на более низком уровне развития материи (в неживой среде).

- Возражение о неразложимости процесса мышления на простейшие логические операции
- Возражение о неспособности искусственной системы к творческой и инновационной деятельности
- Возражение, основанное на гипотезе о возникновении сознания только в общественной среде.
- Наличие чувств как атрибут интеллектуальности сознания и мышления
- Другие возражения
- Структура и динамика развития области ИИ.
  - Этапы развития ИИ
  - Этапы и направления в области ИИ
    - Начальный этап — эвристические программы
      - Эвристика и эвристические программы
      - Смена парадигмы ИИ в сторону решения сложных вычислительных задач
    - Второй этап — интегральные роботы
      - Формирование парадигмы ИИ как интегрального робота
      - Основные проблемы создания интегральных роботов
    - Третий этап — экспертные системы
      - Преимущества эвристических интеллектуальных систем
      - Выделение класса экспертных систем
      - Вклад экспертных систем в развитие области ИИ
      - Преимущества и недостатки ЭС
    - Четвертый этап — нейронные сети
      - История развития НС
        - Возникновение искусственных нейронных сетей (НС)
        - Причины спада интереса к НС на начальном этапе развития ИИ
        - Преодоление ограничений однослойных НС и рост интереса к НС
      - Область применения НС
      - Достоинства и недостатки НС
      - Основные понятия НС:
        - модель искусственного нейрона
        - функции активации НС
        - перцептрон
        - Перцептронная представляемость
      - Проектирование и разработка интеллектуальных систем с использованием НС.
        - Решение задач обучения и распознавание с помощью нейронных сетей (НС).
        - Алгоритм обучения перцептрона
        - Обучение нейронной сети с помощью генетических алгоритмов
    - Пятый этап — нечеткая логика
      - теория нечетких множеств Заде
      - Теорема FAT (Fuzzy Approximation Theorem)
      - Фаззи-контроллеры.
    - Шестой этап — эволюционный подход

- Основные принципы эволюционного подхода
- Ключевые направления эволюционного подхода
  - Искусственная жизнь
  - Генетические алгоритмы
    - Основные понятия ГА:
      - популяция
      - хромосома
      - гены
      - поколение
    - Принципы построения генетических алгоритмов
    - Проектирование и разработка интеллектуальных систем с использованием ГА
      - Решение задач с помощью генетических алгоритмов (ГА)
      - Методы и алгоритмы селекции, редукции, кроссинговера и мутации
      - Обучение нейронной сети с помощью генетических алгоритмов
      - Использование вещественных чисел в ГА
    - Достоинства и недостатки ГА
- Тенденции дальнейшего развития области искусственного интеллекта

## Материалы для контроля знаний

*Тест А.*

### Описание.

Тест содержит 26 вопросов и ответов. Необходимо выбрать и пометить правильные ответы.

Инструкция.

1. Заполните персональные сведения: Фамилия, Имя, Отчество, группа.
2. Укажите дату и время начала теста.
3. Внимательно прочитайте вопрос и возможные варианты ответов.
4. Выберите правильный ответ(ы) и пометьте их.
5. Перейдите к следующему вопросу.
6. Укажите время завершения теста.

*Список вопросов и вариантов ответов:*

<p>Какое из определений лучше всего объясняет суть теста Тьюринга (Выберите один правильный ответ)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Тест Тьюринга проверяет, может ли компьютерная программа быть представлена в виде Машины Тьюринга</li> <li>• Тест Тьюринга проверяет способность компьютера (программы) взаимодействовать с собеседником через чат (телетайп) аналогично человеку</li> <li>• Тест Тьюринга определяет количество логических операций, выполняемых компьютером (программой) при решении интеллектуальных задач</li> </ul>
<p>Какие существуют методы для изучения когнитивной модели Интеллекта (Выберите все правильные ответы)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Интроспекция</li> <li>• Интерполяция</li> <li>• Экстраполяция</li> <li>• Психологический эксперимент</li> </ul>
<p>Существуют ли отличия между рациональным мышлением и поведением (Выберите один правильный ответ)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Принципиальных отличий не существует, т.к. рациональное поведение невозможно без рационального мышления</li> <li>• Отличия существуют, т.к. во многих реальных ситуациях рациональное поведение может противоречить выводам рационального мышления</li> <li>• Отличия существуют, т.к. во многих реальных ситуациях невозможно или требуется слишком много времени для формулировки рационального вывода</li> </ul>
<p>Какие существуют проблемы для использования классической логики при создании ИИ (Выберите все правильные ответы)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Никаких проблем или серьезных препятствий не существует</li> <li>• С помощью классической логики невозможно представить многие НЕ-факторы (нечеткость, неопределенность и т.д.)</li> <li>• Представление правил интеллектуального мышления и поведения невозможно с помощью классической логики</li> <li>• Использование классической логики для представления рассуждений и их исчисления требует больших вычислительных ресурсов, чем использование других</li> </ul>

	<p>подходов</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Модели, создаваемые в терминах классической логики, имеют большую размерность и не наглядны.</li> </ul>
<p>Назовите основные направления исследований в области ИИ (Выберите все правильные ответы)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Бионическое направление</li> <li>• Футуристическое направление</li> <li>• Революционное направление</li> <li>• Информационное направление</li> <li>• Биомеханическое направление</li> <li>• Эволюционное направление</li> <li>• Математическое направление</li> </ul>
<p>Какие цели и подход используется в бионическом направлении ИИ (Выберите один правильный ответ)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Целью подхода является создание информационной (или биологической) копии естественного интеллекта человека путем изучения принципов его работы и точного воспроизведения.</li> <li>• Целью подхода является реализация интеллектуальных функций и поведения в информационной среде без обязательно учета и копирования механизмов и особенностей естественного интеллекта.</li> <li>• Целью подхода является «выращивание» ИИ или формирование его отдельных интеллектуальных свойств поведения за счет постепенного развития искусственного организма в специально созданной информационной среде.</li> </ul>
<p>Какие цели и подход используется в Информационном направлении ИИ (Выберите один правильный ответ)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Целью подхода является создание информационной (или биологической) копии естественного интеллекта человека путем изучения принципов его работы и точного воспроизведения.</li> <li>• Целью подхода является реализация интеллектуальных функций и поведения в информационной среде без обязательно учета и копирования механизмов и особенностей естественного интеллекта.</li> <li>• Целью подхода является «выращивание» ИИ или формирование его отдельных интеллектуальных свойств поведения за счет постепенного развития искусственного организма в специально созданной информационной среде.</li> </ul>
<p>Какие цели и подход используется в эволюционном направлении ИИ (Выберите один правильный ответ)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Целью подхода является создание информационной (или биологической) копии естественного интеллекта человека путем изучения принципов его работы и точного воспроизведения.</li> <li>• Целью подхода является реализация интеллектуальных функций и поведения в информационной среде без обязательно учета и копирования механизмов и особенностей естественного интеллекта.</li> <li>• Целью подхода является «выращивание» ИИ или формирование его отдельных интеллектуальных свойств поведения за счет постепенного развития искусственного организма в специально созданной информационной среде.</li> </ul>
<p>Насколько возможно создание системы ИИ (выберите наиболее правильное утверждение)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Создание системы ИИ вообще невозможно, т.к. не существует четкого понимания, что такое естественный интеллект</li> <li>• ИИ возможен ровно настолько, насколько решен вопрос о познании интеллектуальных функций человека.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Возможно создание системы ИИ, т.к. в настоящее время искусственные системы могут реализовать все интеллектуальные функции человека</li> </ul>
<p>В чем состоит возражение против возможности создания ИИ философа Джона Серла (Выберите один правильный ответ)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Тест Тьюринга не может быть использован для оценки интеллектуальности системы: «Представьте себе, что в закрытой комнате находится человек, который не знает китайского языка, но через машину получает вопросы, написанные по-китайски. В его распоряжении имеется код, позволяющий сопоставлять китайские иероглифы с другим набором текстов, содержащим ответы на задаваемые вопросы. Эти ответы можно передавать, опять-таки с помощью машины, за пределы комнаты. Находящимся снаружи наблюдателям будет ясно, что на заданные по-китайски вопросы поступают осмысленные ответы на том же языке; таким образом, тот, кто находится в комнате, выдержит тест Тьюринга. Но из этого никак не следует, что он понимал содержание посланий, поступавших в комнату и выходявших из нее, и отвечал на них сознательно и разумно: на самом деле он выполнял чисто автоматические операции. Именно это делают компьютеры, поэтому нет оснований считать их разумными и сознательными устройствами».</li> <li>• Бионический подход в области ИИ не может принести успехов, т.к. использует стратегию редукционизма для исследования отдельных функций мозга: «Во-первых, недетерминированность на уровне нейронов и синаптических связей между ними означает, что мы никогда не сможем понять работу мозга и разума путем простого анализа составляющих компонентов, реакции которых непредсказуемы по самой своей природе. Во-вторых, эта неопределенность на уровне отдельных компонентов может, однако, обеспечивать предсказуемость на уровне всей системы. Поэтому сознание, разум, память возникают как свойства мозга в целом, а не как свойства его отдельных элементов».</li> <li>• Бионический подход в области ИИ не может принести успехов, т.к. изучение нейронных структур одного человека не позволит определить устройство тех же структур у другого человека. Предпосылкой для такого утверждения является гипотеза, что «развитие нервной системы и ее способность изменять свои свойства под влиянием индивидуального опыта следует рассматривать как процесс непрерывного отбора предшествующих групп нейронов и их синаптических связей в ответ на воздействие провоцирующих и лимитирующих факторов окружающей среды»</li> </ul>
<p>В чем состоит возражение против возможности создания ИИ оксфордского математика Роджера Пенроуза (Выберите один правильный ответ)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Тест Тьюринга не может быть использован для оценки интеллектуальности системы: «Представьте себе, что в закрытой комнате находится человек, который не знает китайского языка, но через машину получает вопросы, написанные по-китайски. В его распоряжении имеется код, позволяющий сопоставлять китайские иероглифы с другим набором текстов, содержащим ответы на задаваемые вопросы. Эти ответы можно передавать, опять-таки с помощью</li> </ul>

	<p>машины, за пределы комнаты. Находящимся снаружи наблюдателям будет ясно, что на заданные по-китайски вопросы поступают осмысленные ответы на том же языке; таким образом, тот, кто находится в комнате, выдержит тест Тьюринга. Но из этого никак не следует, что он понимал содержание посланий, поступавших в комнату и выходявших из нее, и отвечал на них сознательно и разумно: на самом деле он выполнял чисто автоматические операции. Именно это делают компьютеры, поэтому нет оснований считать их разумными и сознательными устройствами».</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Бионический подход в области ИИ не может принести успехов, т.к. использует стратегию редукционизма для исследования отдельных функций мозга: «Во-первых, недетерминированность на уровне нейронов и синаптических связей между ними означает, что мы никогда не сможем понять работу мозга и разума путем простого анализа составляющих компонентов, реакции которых непредсказуемы по самой своей природе. Во-вторых, эта неопределенность на уровне отдельных компонентов может, однако, обеспечивать предсказуемость на уровне всей системы. Поэтому сознание, разум, память возникают как свойства мозга в целом, а не как свойства его отдельных элементов».</li> <li>• Бионический подход в области ИИ не может принести успехов, т.к. изучение нейронных структур одного человека не позволит определить устройство тех же структур у другого человека. Предпосылкой для такого утверждения является гипотеза, что «развитие нервной системы и ее способность изменять свои свойства под влиянием индивидуального опыта следует рассматривать как процесс непрерывного отбора предшествующих групп нейронов и их синаптических связей в ответ на воздействие провоцирующих и лимитирующих факторов окружающей среды»</li> </ul>
<p>В чем состоит возражение против возможности создания ИИ лауреата Нобелевской премии иммунолога Джералда Эделмена (Выберите один правильный ответ)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Тест Тьюринга не может быть использован для оценки интеллектуальности системы: «Представьте себе, что в закрытой комнате находится человек, который не знает китайского языка, но через машину получает вопросы, написанные по-китайски. В его распоряжении имеется код, позволяющий сопоставлять китайские иероглифы с другим набором текстов, содержащим ответы на задаваемые вопросы. Эти ответы можно передавать, опять-таки с помощью машины, за пределы комнаты. Находящимся снаружи наблюдателям будет ясно, что на заданные по-китайски вопросы поступают осмысленные ответы на том же языке; таким образом, тот, кто находится в комнате, выдержит тест Тьюринга. Но из этого никак не следует, что он понимал содержание посланий, поступавших в комнату и выходявших из нее, и отвечал на них сознательно и разумно: на самом деле он выполнял чисто автоматические операции. Именно это делают компьютеры, поэтому нет оснований считать их разумными и сознательными устройствами».</li> <li>• Бионический подход в области ИИ не может принести</li> </ul>

	<p>успехов, т.к. использует стратегию редукционизма для исследования отдельных функций мозга: «Во-первых, недетерминированность на уровне нейронов и синаптических связей между ними означает, что мы никогда не сможем понять работу мозга и разума путем простого анализа составляющих компонентов, реакции которых непредсказуемы по самой своей природе. Во-вторых, эта неопределенность на уровне отдельных компонентов может, однако, обеспечивать предсказуемость на уровне всей системы. Поэтому сознание, разум, память возникают как свойства мозга в целом, а не как свойства его отдельных элементов».</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Бионический подход в области ИИ не может принести успехов, т.к. изучение нейронных структур одного человека не позволит определить устройство тех же структур у другого человека. Предпосылкой для такого утверждения является гипотеза, что «развитие нервной системы и ее способность изменять свои свойства под влиянием индивидуального опыта следует рассматривать как процесс непрерывного отбора предшествующих групп нейронов и их синаптических связей в ответ на воздействие провоцирующих и лимитирующих факторов окружающей среды»</li> </ul>
<p>Что такое редукционизм (Выберите один правильный ответ)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• методологический принцип, согласно которому сложные явления могут быть полностью объяснены на основе законов, свойственных более простым.</li> <li>• Методика решения задач, при которой осуществляется редукция факторов, оказывающих незначительное влияние на решение задачи.</li> <li>• Направление в области эволюционных вычислений и генетических алгоритмов, в котором главное внимание уделяется разработки операторов редукции.</li> </ul>
<p>Что такое эмерджентные свойства системы (Выберите один правильный ответ)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Это особые свойства системы, не присущие ее подсистемам и элементам</li> <li>• Это особые свойства системы, не выразимые через свойства ее подсистем и элементов.</li> <li>• Это свойства системы, которые можно измерить путем суммирования (суперпозиции) значений свойств ее подсистем и элементов.</li> <li>• Это свойства системы, которые невозможно измерить количественными показателями и можно охарактеризовать только качественно.</li> </ul>
<p>Можно ли эмерджентные свойства системы выявить с помощью стратегии редукционизма (Выберите один правильный ответ)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Возможно для любых систем, т.к. можно выявить свойства системы, не выводимые из совокупности (суперпозиции) свойств ее частей.</li> <li>• Невозможно для любых систем, т.к. эмерджентные свойства не присутствуют у элементов системы.</li> <li>• Возможно для некоторых систем, в которых эмерджентные свойства системы наследуются отдельными ее подсистемами или элементами.</li> </ul>
<p>Почему наличие чувств рассматривают как</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• В связи с тем, что компьютерные системы в настоящее время могут реализовать все остальные возможности человека, а</li> </ul>

<p>атрибут интеллектуальности сознания и мышления (Выберите один правильный ответ)?</p>	<p>наличие чувств пока является уникальной особенностью человека и его мышления.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Чувства играют важную роль в мыслительных процессах человека и во многом определяют степень интеллектуальности его поведения. Наличие чувств позволяет решать более сложные интеллектуальные задачи.</li> <li>• Это заблуждение связано с так называемым «седьмым чувством» - чувством интуиции, которое на взгляд многих играет определяющую роль в мыслительных процессах.</li> </ul>
<p>Какая парадигма ИИ соответствует началу первого этапа развития ИИ (Выберите один правильный ответ)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ИИ – это эвристическая программа, которая решает задачи с помощью продукционных правил «если то» и методом проверки догадок («проб и ошибок»), что свойственно человеку и несвойственно детерминированной машине.</li> <li>• ИИ – это компьютерная программа, которая решает сложные вычислительные задачи, которые раньше мог решить только человек.</li> <li>• ИИ – это робот (андроид), который живет в мире людей, обладает сознанием, умеет говорить и управлять предметами окружающего мира.</li> <li>• ИИ – это эргатическая (человеко-машинная) система-помощник, которая обладает экспертными знаниями и помогает человеку решать более сложные интеллектуальные задачи с большей эффективностью.</li> </ul>
<p>Какая парадигма ИИ соответствует концу первого этапа развития ИИ?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ИИ – это эвристическая программа, которая решает задачи с помощью продукционных правил «если то» и методом проверки догадок («проб и ошибок»), что свойственно человеку и несвойственно детерминированной машине.</li> <li>• ИИ – это компьютерная программа, которая решает сложные вычислительные задачи, которые раньше мог решить только человек.</li> <li>• ИИ – это робот (андроид), который живет в мире людей, обладает сознанием, умеет говорить и управлять предметами окружающего мира.</li> <li>• ИИ – это эргатическая (человеко-машинная) система-помощник, которая обладает экспертными знаниями и помогает человеку решать более сложные интеллектуальные задачи с большей эффективностью.</li> </ul>
<p>Какая парадигма ИИ соответствует второму этапу развития ИИ (Выберите один правильный ответ)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ИИ – это эвристическая программа, которая решает задачи с помощью продукционных правил «если то» и методом проверки догадок («проб и ошибок»), что свойственно человеку и несвойственно детерминированной машине.</li> <li>• ИИ – это компьютерная программа, которая решает сложные вычислительные задачи, которые раньше мог решить только человек.</li> <li>• ИИ – это робот (андроид), который живет в мире людей, обладает сознанием, умеет говорить и управлять предметами окружающего мира.</li> <li>• ИИ – это эргатическая (человеко-машинная) система-помощник, которая обладает экспертными знаниями и помогает человеку решать более сложные интеллектуальные задачи с большей эффективностью.</li> </ul>

<p>Какая парадигма ИИ соответствует третьему этапу развития ИИ (Выберите один правильный ответ)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ИИ – это эвристическая программа, которая решает задачи с помощью продукционных правил «если то» и методом проверки догадок («проб и ошибок»), что свойственно человеку и несвойственно детерминированной машине.</li> <li>• ИИ – это компьютерная программа, которая решает сложные вычислительные задачи, которые раньше мог решить только человек.</li> <li>• ИИ – это робот (андроид), который живет в мире людей, обладает сознанием, умеет говорить и управлять предметами окружающего мира.</li> <li>• ИИ – это эргатическая (человеко-машинная) система-помощник, которая обладает экспертными знаниями и помогает человеку решать более сложные интеллектуальные задачи с большей эффективностью.</li> </ul>
<p>Какие разработки в области ИИ, нашедшие массовое коммерческое применение, считаются первой волной интеллектуальных программ (Выберите один правильный ответ)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Экспертные системы и системы, основанные на знаниях.</li> <li>• Системы, основанные на искусственных нейронных сетях</li> <li>• Системы с использованием нечеткой логики</li> </ul>
<p>Какие разработки в области ИИ, нашедшие массовое коммерческое применение, считаются второй волной интеллектуальных программ (Выберите один правильный ответ)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Экспертные системы и системы, основанные на знаниях.</li> <li>• Системы, основанные на искусственных нейронных сетях</li> <li>• Системы с использованием нечеткой логики</li> </ul>
<p>Какие разработки в области ИИ, нашедшие массовое коммерческое применение, считаются третьей волной интеллектуальных программ (Выберите один правильный ответ)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Экспертные системы и системы, основанные на знаниях.</li> <li>• Системы, основанные на искусственных нейронных сетях</li> <li>• Системы с использованием нечеткой логики</li> </ul>
<p>Что подразумевается под понятием эвристики в области ИИ (Выберите один правильный ответ)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Под эвристикой подразумевают метод решения задачи, при котором делаются предположения (догадки, гипотезы) и их последующая проверка.</li> <li>• Под эвристикой понимают детальное описание особенностей предметной области на одном из языков представления (инженерии) знаний.</li> <li>• Под эвристикой понимают оптимизированный алгоритм решения задачи, который позволяет увеличить скорость и точность выполнения программы.</li> </ul>
<p>Почему эвристические</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Традиционный алгоритмический подход имеет</li> </ul>

<p>методы противопоставляют традиционным алгоритмическим подходам (Выберите один правильный ответ)?</p>	<p>детерминированную последовательность шагов и не допускает возможности решения задачи методом проб и ошибок.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Эвристические методы решения задачи имеют более высокую скорость и точность, не достижимую при решении задачи с помощью традиционных алгоритмических подходов</li> <li>• Эвристические методы подразумевают использование специальных конструкций, имитирующих особенности предметной области, что несвойственно традиционным алгоритмическим подходам, которые носят универсальный характер.</li> </ul>
<p>В чем причины основных неудач по созданию интегральных роботов (расставьте в порядке значимости по убыванию)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• выяснилось, что даже простые на первый взгляд задачи, возникающие перед интегральным роботом при его функционировании в реальном мире (например, движение по пересеченной местности, распознавание объектов на сложном фоне с естественным освещением, организация сложного поведения и т. п.), не могут быть решены методами, разработанными для экспериментальных задач в специально сформированных проблемных средах;</li> <li>• успехи в области создания интегральных роботов послужили основой для написания многочисленных фантастических рассказов и фильмов, многие из которых сформировали негативное отношение и страх перед искусственными системами, которые могут заменить человека на рабочем месте, и тем самым лишит его работы, или даже поработить и уничтожить человечество. Из-за волнений и протестов со стороны профсоюзов, государствам и коммерческим компаниям пришлось сократить или даже закрыть финансирование многих проектов. В СССР, например, кибернетика была объявлена лженаукой.</li> <li>• Уровень научно-технического развития на этот период времени был недостаточным, чтобы создавать высокотехнологичные материалы, имеющие небольшие размеры и вес, потребляющие мало энергии. Это привело к тому, что создаваемые роботы были громоздки, занимали много места, требовали много обслуживания и оказались экономически невыгодными.</li> </ul>

*Тест Б.*

**Описание.**

Тест содержит 60 вопросов. Необходимо дать на них ответы.

**Инструкция.**

1. Заполните персональные сведения: Фамилия, Имя, Отчество, группа.
2. Укажите дату и время начала теста.
3. Внимательно прочитайте вопрос.
4. Напишите короткий (не более 50 слов) ответ.

5. Перейдите к следующему вопросу.
6. Укажите время завершения теста.

## Список вопросов

	<b>Вопрос</b>	<b>Ответ не более 50 слов</b>
1.	Назовите преимущества эргатических интеллектуальных систем.	
2.	Какие существуют распространенные заблуждения относительно экспертных систем и в чем их причина?	
3.	Какую роль сыграли ЭС в развитии ИИ?	
4.	Назовите три поколения интеллектуальных систем, нашедших массовое коммерческое применение.	
5.	Какими недостатками обладали первые искусственные нейронные сети и как они повлияли на развитие бионического направления в области ИИ?	
6.	Перечислите области применения нейронных сетей.	
7.	Сравните преимущества и недостатки ЭС и НС.	
8.	Какие актуальные проблемы в области ЭС решаются за счет интеграции с другими интеллектуальными системами?	
9.	Для каких целей был исходно разработан математический аппарат нечеткой логики? Перечислите другие теории, направленные на достижение тех же целей.	
10.	Назовите область применения НЛ.	
11.	В чем состоит важность ФАТ-теоремы с точки зрения применения НЛ для решения практических задач?	
12.	Для каких целей используется интеграция НС и НЛ?	
13.	Как используется НЛ в ЭС?	
14.	Какие направления существуют в рамках эволюционного подхода к созданию ИИ?	
15.	В чем состоит основное отличие направленности методов, относящихся к категории искусственная жизнь и генетических алгоритмов?	
16.	Для каких задач возможно использование ГА?	
17.	Перечислите основные тенденции в области ИИ.	
18.		
19.	Дайте определение понятиям «картина мира» и «предметная область».	
20.	В каких формах может быть представлено знание?	
21.	Что представляют собой данные, и в какой форме они могут быть представлены?	
22.	Какими свойствами обладают знания?	
23.	Чем отличаются экстенциональные знания от интенциональных?	
24.	Сформулируйте отличия между декларативными и процедурными знаниями.	
25.	Назовите подходы к формализации данных.	
26.	Каким образом формализуются неструктурированные данные?	
27.	Какие формальные модели используются для представления декларативных и процедурных знаний?	

	<b>Вопрос</b>	<b>Ответ не более 50 слов</b>
28.	Какой ЯПЗ наиболее близок к объектно-ориентированным языкам?	
29.	Дайте определение «формально-логической модели». Из каких компонент она может состоять?	
30.	Сформулируйте отличия дедуктивных и индуктивных логик.	
31.	Приведите примеры правдоподобного вывода.	
32.	Дайте определение и приведите примеры модальных логик.	
33.	Чем отличаются темпоральные логики от немонотонных?	
34.	Назовите несколько многозначных логик.	
35.	Для каких целей используются псевдофизические логики и онтологии?	
36.	Перечислите достоинства и недостатки формально-логических моделей.	
37.	Перечислите основные операция и законы логики высказываний.	
38.	Какие формулы называются общезначимыми?	
39.	Чем отличаются операторы импликации ( $\rightarrow$ ) и выводимости ( $\Rightarrow$ )?	
40.	Приведите примеры выводов, часто используемых в логике высказываний.	
41.	Какие преимущества имеет логика предикатов по сравнению с логикой высказываний?	
42.	Приведите примеры одно-, двух-, трех- и четырехместного предикатов.	
43.	Какие кванторы используются в логике предикатов первого порядка?	
44.	Проиллюстрируйте преимущества, которые дает использование кванторов и лингвистических переменных.	
45.	Пусть $A$ — это алфавит $\{a, b\}$ и пусть в этом алфавите существуют аксиомы $ab, ba$ . Какие строки будут сформированы следующими порождающими правилами: (P1) $\$a \rightarrow \$ab$ (P2) $\$b \rightarrow \$ba$	
46.	Пусть $A$ — это алфавит $\{a, b\}$ и пусть в этом алфавите существуют аксиомы $aa, bb$ . Какой набор порождающих правил может сформировать строки вида $aa, bb, aabb, bbaa, aabbaa, bbaabb, aabbaabb, bbaabbaa$ и т.д.	
47.	В чем состоит отличие нечеткого множества от четкого?	
48.	Какие значения может принимать функция принадлежности нечеткого множества?	
49.	Что такое основа нечеткого множества?	
50.	Приведите пример графической и аналитической записи нечеткого множества.	
51.	Какие основные и специфические операции используются в теории нечетких множеств?	
52.	Сравните методы выполнения основных операций над нечеткими множествами.	
53.	Назовите основные этапы нечеткого вывода.	

	<b>Вопрос</b>	<b>Ответ не более 50 слов</b>
54.	Как и для чего осуществляется фазификация данных?	
55.	Приведите примеры нечетких правил.	
56.	Проиллюстрируйте различные методы выполнения нечетких правил.	
57.	В каких случаях используется агрегация нечетких множеств?	
58.	Какие методы дефазификации Вы знаете?	
59.	Какие преимущества и недостатки имеет модель вывода TVFI?	
60.	Сформулируйте отличия между понятиями вероятности и нечеткости.	