

# АРХИТЕКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

## Свойства знаний

**Данные** – это информация, полученная в результате наблюдений или измерений отдельных свойств (атрибутов), характеризующих объекты, процессы и явления предметной области.

**Знания (с точки зрения представления знаний в интеллектуальных системах)** – это связи и закономерности предметной области (принципы, модели, законы), полученные в результате практической деятельности и профессионального опыта, позволяющего специалистам ставить и решать задачи в данной области.

Знания от данных отличаются рядом **свойств**:

- внутренняя интерпретируемость;
- структурированность;
- связность;
- семантическая метрика;
- активность.

**Внутренняя интерпретируемость.** Данные, хранящиеся в памяти или на внешних носителях, лишены имен, таким образом, отсутствует возможность их однозначной идентификации системой. Данные может идентифицировать лишь программа, извлекающая их по определенному алгоритму. При переходе к знаниям в память вводится дополнительная информация (атрибуты: фамилия, год рождения, специальность, стаж). Атрибуты могут играть роль имен. По ним можно осуществлять поиск нужной информации.

**Структурированность.** Информационные единицы должны обладать гибкой структурой. Иначе говоря, должна существовать возможность произвольного установления между отдельными информационными единицами отношений типа «часть – целое», «род – вид» или «элемент – класс».

**Связность.** Между информационными единицами должна быть предусмотрена возможность установления связей различного типа.

Семантика отношений может носить декларативный или процедурный характер. Например, две и более информационные единицы могут быть связаны отношением «одновременно», две информационные единицы – отношением «причина – следствие» или «быть рядом».

**Семантическая метрика.** На множестве информационных единиц в некоторых случаях полезно задавать отношение, характеризующее их ситуационную близость, то есть силу ассоциативной связи. Его можно было бы назвать отношением релевантности для информационных единиц. Оно дает возможность выделять в информационной базе некоторые типовые ситуации (например, «покупка», «регулирование движения на перекрестке»). Отношение релевантности при работе с информационными единицами позволяет находить знания, близкие к уже найденным.

**Активность.** Все вычислительные процессы инициируются командами, а данные используются этими командами лишь в случае необходимости. Иначе говоря, данные пассивны, а команды активны.

Знания позволяют адаптироваться и действовать в реальной действительности. Существует огромное множество различных знаний, начиная от рецепта приготовления омлета до квантовой физики.

## Классификация знаний

Знания можно классифицировать по нескольким критериям (рисунок 1).

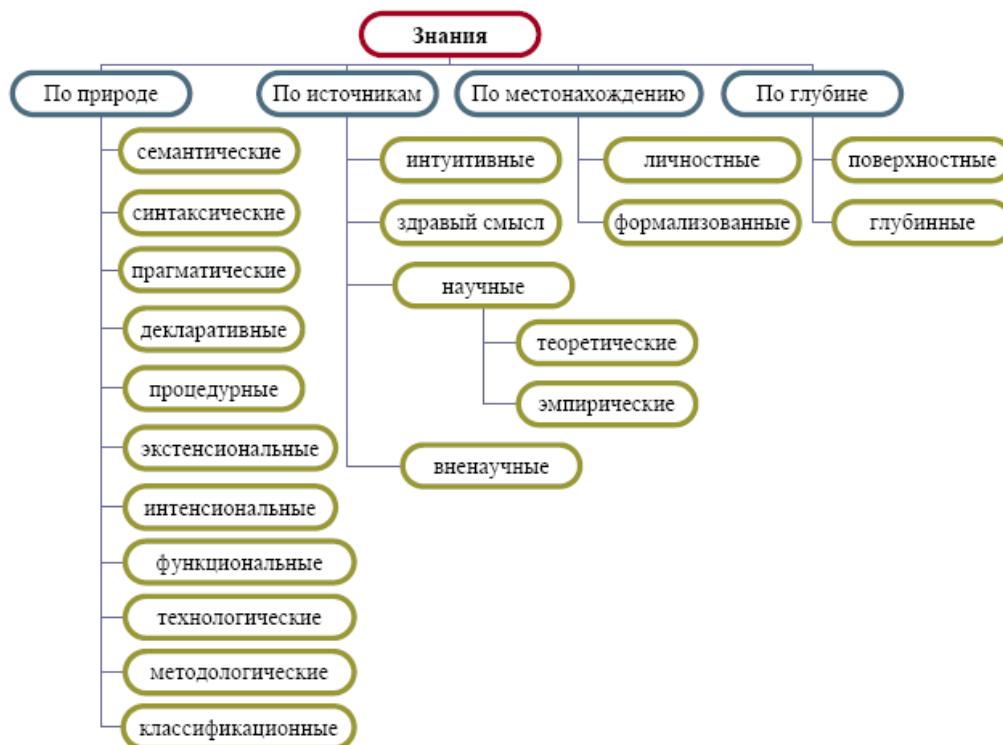


Рисунок 1 – Классификация знаний

Знание *синтаксического* типа характеризует синтаксическую структуру потока информации, которая не зависит от смысла и содержания используемых при этом понятий, то есть интеллектуальную систему не образует.

*Семантическое* знание рассматривается как структура, образующая текущий контекст. Оно содержит информацию, непосредственно связанную с текущими значениями и смыслом описываемых понятий, и предопределяет состояние связей данных в информационной базе.

*Прагматическое* знание предопределяет наиболее вероятные связи, описывающие данные с точки зрения решаемой задачи (обобщенный или «объективный» контекст), например, с учетом действующих в данной задаче специфических критериев и соглашений.

*Декларативные* знания содержат в себе представление о структуре понятий. Эти знания приближены к данным, фактам. Например, высшее учебное заведение есть совокупность факультетов, а каждый факультет в свою очередь есть совокупность кафедр.

*Процедурные* знания имеют активную природу. Они определяют представления о средствах и путях получения новых знаний, проверке знаний. Это алгоритмы разного рода. С развитием информатики все большая часть знаний сосредотачивалась в структурах данных (таблицы, списки, абстрактные типы данных), то есть увеличивалась роль декларативных.

Существенными для понимания природы знаний являются способы определения понятий. Один из широко применяемых способов основан на идее интенционала и экстенционала.

**Интенционал понятия** – это определение его через соотнесение с понятием более высокого уровня абстракции с указанием специфических свойств.

**Экстенционал понятия** – это определение понятия через перечисление его конкретных примеров, то есть понятий более низкого уровня абстракции. Интенционалы формируют знания об объектах, в то время как экстенционалы объединяют данные.

Отсюда *интенциональные* знания – это знания о предметной области, которые отражают факты, закономерности, свойства и характеристики, справедливые для любых ситуаций, которые могут возникнуть в этой предметной области.

*Экстенциональные* знания – это знания о предметной области, отражающие факты, закономерности, свойства и характеристики, типичные для конкретных ситуаций или классов однотипных ситуаций, которые могут возникнуть в этой области.

*Функциональные* знания – это знания о выполняемых функциях отдельных предметов и о применении их в реальной действительности.

*Технологические* знания – специализированные знания, обеспечивающие поддержание технологических параметров производства; производственный опыт и навыки, используемые при решении повседневных производственных вопросов. Это может быть знание последовательности операций или знание технологической цепочки, позволяющие достигать поставленные цели в соответствии с принятой технологией.

*Методологические* знания – знания о методах преобразования действительности, научные знания о построении эффективной деятельности. К методологическим знаниям относят знание целей, форм и направлений развития теории, методов и способов эффективного преобразования практики.

*Классификационные* знания применяются главным образом в науке, являются обобщенными, системными знаниями. Пример – система элементов Д. И. Менделеева.

*Интуиция* – это вид знания, специфика которого обусловлена способом его приобретения. Это знание, не нуждающееся в доказательстве и воспринимаемое как достоверное. По способу получения интуиция – это прямое усмотрение объективной связи вещей, не опирающееся на доказательство (интуиция есть усмотрение внутренним зрением; от лат. *intueri* – созерцать).

Под *здоровым смыслом* понимают знания, позволяющие принимать правильные решения и делать правильные предположения, основываясь на логическом мышлении и накопленном опыте. В этом значении термин зачастую акцентирует внимание на способности человеческого разума противостоять предрассудкам, заблуждениям, мистификациям.

*Научные* знания в любом случае должны быть основанными на эмпирической или теоретической доказательной основе.

*Теоретические* знания – абстракции, аналогии, схемы, отображающие структуру и природу процессов, протекающих в предметной области. Эти знания объясняют явления и могут использоваться для прогнозирования поведения объектов.

Теоретический уровень научного знания предполагает установление законов, дающих возможность идеализированного восприятия, описания и объяснения эмпирических ситуаций, то есть познания сущности явлений. Теоретические законы имеют более строгий, формальный характер по сравнению с эмпирическими. Термины описания теоретического знания относятся к идеализированным, абстрактным объектам. Подобные объекты невозможно подвергнуть непосредственной экспериментальной проверке.

Эмпирические знания получают в результате применения эмпирических методов познания: наблюдения, измерения, эксперимента. Это знания о видимых взаимосвязях между отдельными событиями и фактами в предметной области. Эмпирические знания, как правило, констатируют качественные и количественные характеристики объектов и явлений. Эмпирические законы часто носят вероятностный характер и не являются строгими.

*Вненаучные* знания могут быть различными. *Паранормальные* знания – знания, несовместимые с имеющимся гносеологическим стандартом. Широкий класс *паранаучного* (пара от греч. около, при) знания включает в себя учения или размышления о феноменах, объяснение которых не является убедительным с точки зрения критериев научности. *Лженаучные* знания – сознательно эксплуатирующие домыслы и предрассудки. В качестве симптомов лженауки выделяют малограмотный пафос, принципиальную нетерпимость к опровергающим доводам, а также претенциозность. Лженаучные знания сосуществуют с научными знаниями.

*Личностные* (неявные, скрытые) знания – это знания людей, полученные из практики и опыта.

*Формализованные* (явные) знания – знания, содержащиеся в документах, на компакт-дисках, в персональных компьютерах, в Интернете, в базах знаний, в экспертных системах. Формализованные знания объективизируются знаковыми средствами языка, охватывают те знания, о которых мы знаем, их можно записать, сообщить другим.

## Базы знаний

Перечисленные ниже пять особенностей информационных единиц определяют ту грань, за которой данные превращаются в знания, а базы данных перерастают в **базы знаний**.

**База знаний (БЗ)** – основа любой интеллектуальной системы, где знания описаны на некотором языке представления знаний, приближенном к естественному. Сегодня знания приобрели чисто декларативную форму, то есть знаниями считаются предложения, записанные на языках представления знаний, приближенных к естественному языку и понятных неспециалистам.

**Внутренняя интерпретируемость.** Каждая информационная единица должна иметь уникальное имя, по которому ИС находит ее, а также отвечает на запросы, в которых это имя упомянуто. Когда данные, хранящиеся в памяти, были лишены имен, то отсутствовала возможность их идентификации системой. Данные могла идентифицировать лишь программа, извлекающая их из памяти по указанию программиста, написавшего программу. Что скрывается за тем или иным двоичным кодом машинного слова, системе было неизвестно.

Таблица 1 – Данные о сотрудниках предприятия

Фамилия	Год рождения	Специальность	Стаж, число лет
Попов	1965	Слесарь	5
Сидоров	1946	Токарь	20
Иванов	1925	Токарь	30
Петров	1937	Сантехник	25

Если, например, в память компьютера нужно было записать сведения о сотрудниках учреждения, представленные в таблице 1, то без внутренней интерпретации в память компьютера была бы занесена совокупность из четырех машинных слов, соответствующих строкам этой таблицы. При этом информация о том, какими группами двоичных разрядов в этих машинных словах закодированы сведения о специалистах, у системы отсутствуют. Они известны лишь программисту, который использует данные таблице 1 для решения возникающих у него задач.

При переходе к знаниям в память компьютера вводится информация о некоторой протоструктуре информационных единиц. В рассматриваемом примере она представляет собой специальное машинное слово, в котором указано, в каких разрядах хранятся сведения о фамилиях, годах рождения, специальностях и стажах. При этом должны быть заданы специальные словари, в которых перечислены имеющиеся в памяти системы фамилии, года рождения, специальности и продолжительности стажа. Все эти атрибуты могут играть роль имен для тех машинных слов, которые соответствуют строкам таблицы. По ним можно осуществлять поиск нужной информации. Каждая строка таблицы будет экземпляром протоструктуры. В настоящее время СУБД обеспечивают реализацию внутренней интерпретируемости всех информационных единиц, хранящихся в базе данных.

**Структурированность.** Информационные единицы должны обладать гибкой структурой. Для них должен выполняться "принцип матрешки", т.е. рекурсивная вложенность одних информационных единиц в другие. Каждая информационная единица может быть включена в состав любой другой, и из каждой информационной единицы можно выделить некоторые составляющие ее информационные единицы. Другими словами, должна существовать возможность произвольного установления между отдельными информационными единицами отношений типа "часть - целое", "род - вид" или "элемент - класс".

**Связность.** В информационной базе между информационными единицами должна быть предусмотрена возможность установления связей различного типа. Прежде всего эти связи могут характеризовать отношения между информационными единицами.

Семантика отношений может носить декларативный или процедурный характер. Например, две или более информационные единицы могут быть связаны отношением "одновременно", две информационные единицы - отношением "причина - следствие" или отношением "быть рядом". Приведенные отношения характеризуют декларативные знания. Если между двумя информационными единицами установлено отношение "аргумент - функция", то оно

характеризует процедурное знание, связанное с вычислением определенных функций. Далее будем различать отношения структуризации, функциональные отношения, каузальные отношения и семантические отношения. С помощью первых задаются иерархии информационных единиц, вторые несут процедурную информацию, позволяющую находить (вычислять) одни информационные единицы через другие, третьи задают причинно-следственные связи, четвертые соответствуют всем остальным отношениям.

Между информационными единицами могут устанавливаться и иные связи, например, определяющие порядок выбора информационных единиц из памяти или указывающие на то, что две информационные единицы несовместимы друг с другом в одном описании.

Перечисленные три особенности знаний позволяют ввести общую модель представления знаний, которую можно назвать семантической сетью, представляющей собой иерархическую сеть, в вершинах которой находятся информационные единицы. Эти единицы снабжены индивидуальными именами. Дуги семантической сети соответствуют различным связям между информационными единицами.

**Семантическая метрика.** На множестве информационных единиц в некоторых случаях полезно задавать отношение, характеризующее ситуационную близость информационных единиц, т.е. силу ассоциативной связи между информационными единицами. Его можно было бы назвать отношением релевантности для информационных единиц. Такое отношение дает возможность выделять в информационной базе некоторые типовые ситуации. Отношение релевантности при работе с информационными единицами позволяет находить знания, близкие к уже найденным.

**Активность.** Все процессы, протекающие в ЭВМ, инициируются командами, а данные используются этими командами лишь в случае необходимости. Для ИС эта ситуация не приемлема. Как и у человека, в ИС актуализации тех или иных действий способствуют знания, имеющиеся в системе. Таким образом, выполнение программ в ИС должно инициироваться текущим состоянием информационной базы.

Появление в базе фактов или описаний событий, установление связей может стать источником активности системы. Совокупность средств, обеспечивающих работу с знаниями, образует **Систему Управления Базой Знаний (СУБЗ)**. В настоящее время не существует баз знаний, в которых в полной мере были бы реализованы внутренняя интерпретируемость, структуризация, связность, введена семантическая мера и обеспечена активность знаний.

### Архитектура интеллектуальных систем

Архитектура интеллектуальных систем включает три комплекса вычислительных средств (рисунок 2).

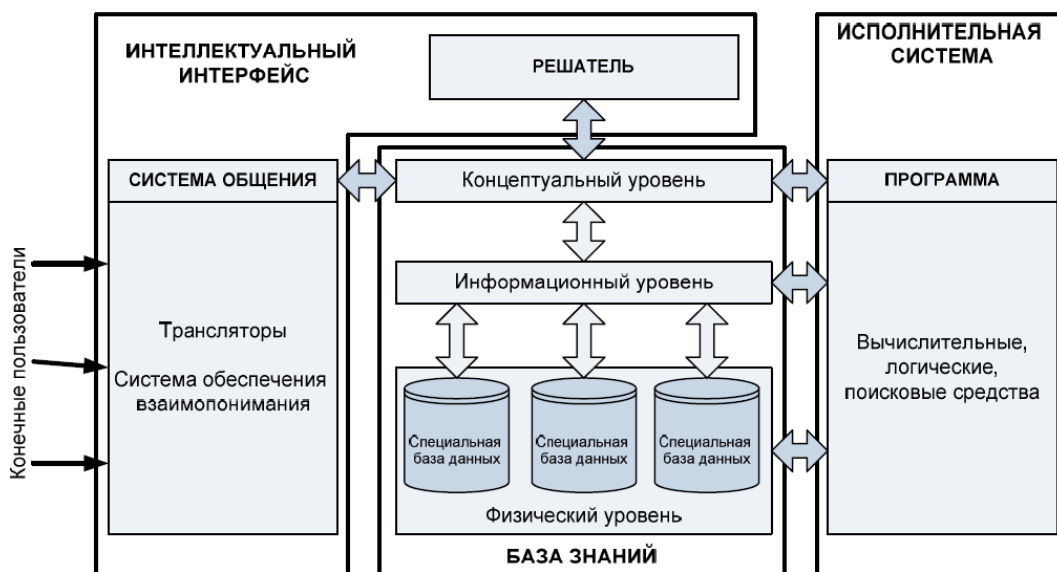


Рисунок 2 – Архитектура интеллектуальных систем

Первый комплекс представляет собой совокупность средств, выполняющих программы (исполнительную систему), спроектированных с позиций эффективного решения задач, имеет в ряде случаев проблемную ориентацию.

Второй комплекс представляет собой совокупность средств интеллектуального интерфейса, имеющих гибкую структуру, которая обеспечивает возможность адаптации в широком спектре интересов конечных пользователей.

Третьим комплексом средств, с помощью которых организуется взаимодействие первых двух, является база знаний, обеспечивающая использование вычислительными средствами первых двух комплексов целостной и независимой от обрабатываемых программ системы знаний о проблемной среде. Исполнительная система объединяет всю совокупность средств, обеспечивающих выполнение сформированной программы.

**Интеллектуальный интерфейс** – система программных и аппаратных средств, обеспечивающих для конечного пользователя использование компьютера для решения задач, которые возникают в среде его профессиональной деятельности либо без посредников, либо с незначительной их помощью.

**БЗ** занимает центральное положение по отношению к остальным компонентам вычислительной системы. В целом, через БЗ осуществляется интеграция средств вычислительной системы, участвующих в решении задач.

### Структура интеллектуальной системы

В зависимости от характера выполняемых функций и области действий эксперты выполняют несколько характерных задач, которые являются типичными: интерпретация, планирование, управление, проектирование, прогнозирование, диспетчирование и мониторинг, диагностика. Главное, эксперт способен обновлять свои знания (т. е. обучаться), объяснять действия, обосновывать решения, прогнозировать развитие ситуаций, активно взаимодействовать с внешней средой и воспринимать информацию различного характера, получать решения на основе имеющихся знаний, хранить в памяти необходимую информацию и фактографические данные. Анализ задач послужит ориентиром при рассмотрении архитектуры ИС, основанных на знаниях.

Таким образом, чтобы создать систему, работающую со знаниями и способную в какой-то мере заменить эксперта или помочь ему в принятии решений при управлении производством, необходимо стремиться заложить в архитектуру нашей системы возможности по реализации названных функций.

На рис.3 представлена обобщенная структура и компоненты интеллектуальной системы, а также ее окружение.

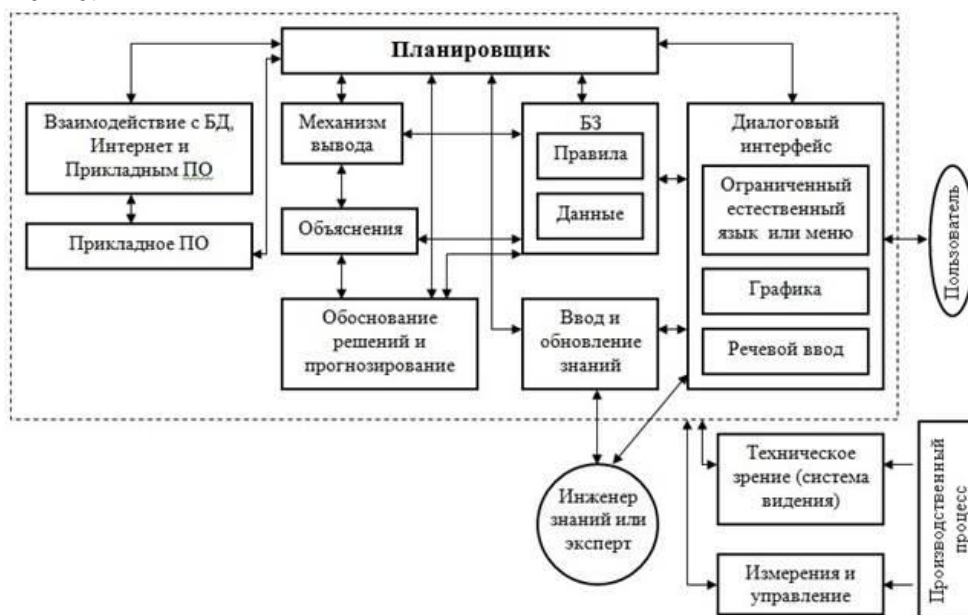


Рис.3 Структура интеллектуальных систем

Производственная система ИИ организует и направляет свое функционирование в соответствии с воплощенными в нее архитектурными проектными принципами. Для каждой

управляющей схемы могут потребоваться своя база знаний и соответствующий механизм вывода, который работает со знаниями. Обычно интеллектуальные системы взаимодействуют с конечными пользователями, экспертом, инженером знаний, внешними БД, прикладным программным обеспечением.

Пользовательский интерфейс обеспечивает связь на ограниченном естественном языке, речевой ввод, а также визуальные представления (графику, техническое зрение). В качестве пользователя может выступать либо человек-оператор, либо сам производственный процесс в случае закрытых циклических операций. Для некоторых производственных процессов бывают необходимы средства для автоматического получения данных и их обработки, а также обратной связи по управлению. С инженером знаний интеллектуальная система обычно связывается с помощью структурных редакторов, которые позволяют ему получать и модифицировать компоненты базы знаний.

Взаимодействие интеллектуальной системы с прикладным программным обеспечением осуществляется при выполнении специальных вычислений, так как часто возникает необходимость использовать в качестве подзадач стандартные операции по обработке данных.

Связь с распределенной БД интегрированной системы управления производством и Интернет используется интеллектуальными системами для получения данных и знаний, рассредоточенных на различных уровнях иерархии управления. Кроме того, организуется взаимодействие с внешними базами данных и Интернет.

В задачах управления производством экспертом обычно используются три уровня знания: «умения», соответствующие поверхностному знанию рефлекторных реакций; правила для случаев стандартных рассуждений; глубинные знания для трудных, неординарных ситуаций. При проектировании базы знаний интеллект необходимо стремиться принимать в расчет глубинные знания, чтобы создать систему, способную при поддержке решений пользователя предлагать (рекомендации, наиболее адекватные возникающим ситуациям).

При проектировании интеллектуальных систем и выборе их архитектуры следует разрабатывать не просто независимое программное обеспечение, которое оценивает существующий производственный объект. Надо стремиться к тому, чтобы интеллектуальная система была приближена к различным элементам процесса, выступала в качестве одного из основных звеньев технологической цепочки управления и организации.

Важное значение при создании интеллектуальных систем имеют способы представления знаний о предметной области и моделирования мыслительной деятельности человека, методов рассуждения и поиска при принятии решений. Разработчик интеллектуальной системы (инженер знаний) длительное время работает совместно со специалистом-экспертом в данной области, который является источником информации для создания базы знаний. В результате нескольких итераций избираются схема представления знаний в системе и стратегия логического вывода.

Помимо проблемы структуризации знаний в базе знаний и организации механизмов вывода, рассуждений и поиска важное значение имеют функции объяснения решений и выводов. Как правило, интеллектуальные системы объясняют и подтверждают свои заключения и рекомендации, тем самым увеличивая к ним доверие со стороны пользователей.

Чтобы реализовать и представить объяснение, интеллектуальная система обычно преобразует экспертные эвристические правила в цепочку рассуждений, которая показывает, как начальное множество данных и утверждений, а также набор эвристических или иных правил приводят систему к заключению. Это свойство интеллектуальной системы реализуется пользователем также для периодической оценки качества функционирования системы.

Оценка ситуаций, складывающихся во внешней среде, а также необходимость оценки развития событий в результате принятия решения ИС, т. е. определение и прогнозирование наиболее важных свойств процесса или объекта на основе интерпретации имеющихся данных, является важнейшей операцией во многих задачах управления производством. На основании этих оценок и прогнозов принимаются управляющие решения, вырабатываются обоснованные рекомендации. Они являются результатом функционирования компонента интеллектуальной системы, реализующего обоснование решений и прогнозирование.

Структура интеллектуальных систем, представленная на рис.3, безусловно, не универсальна. Ни одна из существующих интеллектуальных систем не содержит все описанные

компоненты. Вместе с тем наличие этих элементов отражает важность реализации различных функций системы, претендующей на интеллектуальность не в абстрактном, а в прикладном аспекте. Включение тех или иных компонентов и связей в интеллектуальную систему в значительной степени определяется ее назначением, функциями, предметной областью, формой взаимодействия с производственным процессом. Например, нецелесообразна реализация функций объяснения в системах управления технологическими процессами на базе интеллектуальных систем регулирования. В то же время ясно, что такие компоненты интерфейса ПСИИ, как системы технического зрения и речевого ввода информации, преимущественно используются в производственных робототехнических комплексах. Некоторые компоненты могут встречаться в составе практически каждой интеллектуальной системы.

### **Способы представления знаний**

Важным вопросом при создании БЗ является выбор способа представления знаний. Цель представления знаний — организация необходимой информации в такую форму, чтобы программа искусственного интеллекта имела легкий доступ к ней для принятия решений, планирования, узнавания объектов и ситуаций, анализа сцен, вывода заключений и других когнитивных функций.

Представление знаний в интеллектуальных системах осуществляется на основе:

1. Фреймов и семантических сетей
2. Продукционных и логических моделей
3. Моделей представления и формализации нечетких знаний
4. Нейронных сетей.

Знания в ИИС можно представить с помощью моделей двух типов: декларативных и процедурных. К типовым декларативным моделям относят семантические сети и фреймы, а типовым процедурным моделям – исчисления предикатов, системы продукций, нечёткая логика. На практике редко удаётся обойтись рамками одной модели при разработке ИИС, поэтому представление знаний получается сложным.

**Семантическая сеть** представляет собой ориентированный граф, вершинами которого являются информационные единицы, имеющие индивидуальные имена. В качестве информационной единицы могут выступать события, действия, обобщённые понятия или свойства объектов. Вершины графа соединяются дугой, если соответствующие информационные единицы находятся в каком-либо отношении.

**Фрейм** представляет собой структуру данных, дающую целостное представление об объектах, явлениях и их типах в виде абстрактных образов. Структура фрейма записывается в виде списка свойств (слотов). Каждый фрейм имеет

специальный слот, заполненный наименованием представляемой сущности, а другие заполнены значениями разнообразных атрибутов, ассоциирующихся с объектом.

**Логика предикатов** является расширением логики высказываний. Основным объектом здесь является переменное высказывание (предикат), истинность и ложность которого зависят от значения его переменных. Язык логики предикатов является более мощным по сравнению с языком логики высказываний. Он пригоден для формализации понятий многих проблемных областей.

**Продукционная модель**, или модель, основанная на правилах, позволяет представить знания в виде предложений типа *ЕСЛИ (условие), ТО (действие)*.

Количественные данные (знания) могут быть неточными. Для учёта неточности лингвистических знаний используется формальный аппарат **нечёткой алгебры**. Одно из главных понятий в нечёткой логике – это понятие лингвистической переменной, которое определяется через нечёткие множества. Нечёткие множества позволяют учитывать субъективные мнения отдельных экспертов.

**Нейронные сети** – это направление компьютерной индустрии, в основе которого лежит идея создания ИИ по образу и подобию человеческого мозга. Существует большое количество различных алгоритмов обучения нейросетей, среди которых успешным признаётся идея **генетических алгоритмов**, которая состоит в имитации природных оптимизационных процессов, происходящих при эволюции живых организмов.