

## Экспертные системы

Вопросы, рассматриваемые при изучении и разработке ЭС:

1. Архитектура ЭС
2. Представление знаний
3. Взаимодействие пользователей с ЭС
4. Приобретение знаний
5. Управление функционированием ЭС
6. Объяснительные способности ЭС

### Организация процесса создания ЭС

Экспертная система (ЭС) это раздел приложений искусственного интеллекта. Современные ЭС широко применяются для тиражирования опыта и знаний ведущих специалистов практически во всех сферах деятельности. Предварительно нужно выяснить: имеет ли смысл строить экспертную систему в конкретной предметной области? Следует учитывать ряд факторов. Среди них можно выделить следующие.

Уместность разработки ЭС:

- Задача не столько связана с расчетами по формулам, сколько с логическими рассуждениями, анализом, перебором вариантов.
- Решение задачи опирается на использование эвристик.
- Задача не слишком проста, т.е. имеет смысл привлекать ЭВМ (пример - диагностика неисправности автомобиля).
- Задача не является слишком крупной для решения на ЭВМ. ЭС медицинской диагностики компетентны лишь в какой-то отдельной узкой области. Все знающая и все умеющая система может убить столько же людей, сколько вылечить. При недостаточно полном воплощении польза от этой системы сомнительна.
- Задача должна быть не слишком расплывчата. Например, футбольный тотализатор. Сложно учитывать такого рода фактор, как больная с похмелья голова у ведущего игрока.

Оправданность разработки ЭС:

- Решение задачи обещает приносить высокий доход (открыть месторождение, вылечить людей)
- Позволяет сохранять и накапливать опыт решения задач в данной области.
- Верно, что экспертов в данной области недостаточно.
- Специалисты нужны во многих, физически разнесенных местах.
- Условия, в которых решается задача, опасны для человека.

Возможности разработки ЭС:

- Задача не требует привлечения здравого смысла (здравый смысл – практический опыт, который не удастся выделить и формализовать).
- Задача требует только интеллектуальных навыков (а не применения физических усилий).
- Важно, чтобы имелись специалисты, чьи знания можно заложить в ЭС.
- Эксперты единодушны в принимаемых ими решениях.
- Сама решаемая задача должна быть достаточно понятна.

## Перечень типов решаемых ЭС задач:

- Проектирование;
- Интерпретация;
- Прогноз;
- Диагностика;
- Планирование;
- Управление;
- Наблюдение;
- Исправление;
- Отладка;
- Ремонт;
- Обучение.

**Общий принцип** оправданности разработки ЭС: если в предметной области большая часть знаний является личным опытом специалистов высокого уровня и если это знания по каким-либо причинам слабо структурированы, то такая предметная область, скорее всего, нуждается в ЭС.

## Архитектура ЭС

Экспертная система – это сложный программный комплекс. Обобщенную схему ЭС можно представить на следующем рисунке.

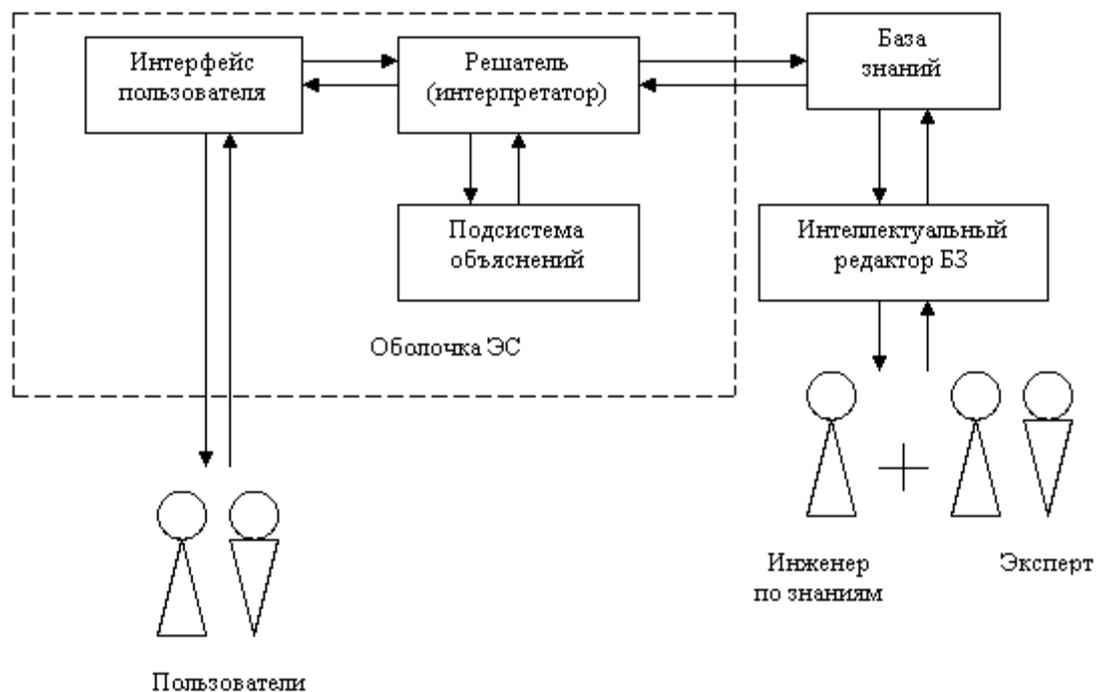


Рисунок 1. Архитектура экспертной системы

**Инженер по знаниям** – специалист по ИИ, выступающий посредником между экспертом и базой знаний. Синонимы: когнитолог, аналитик.

**Интерфейс пользователя** – комплекс программ, реализующих диалог пользователя с ЭС получения результатов и вывода информации.

**Решатель** – программа, моделирующая ход рассуждений эксперта на основании знаний, имеющихся в ЭС. Синонимы: машина логического вывода, интерпретатор.

**Подсистема объяснений** – модуль, позволяющий получать ответ на вопросы «как» и «почему» («как было получено решение», т.е. трассировка процесса получения

решения, и «почему ты об этом спрашиваешь», т.е. ссылка на умозаключение, непосредственно следующее из рассматриваемого).

**Интеллектуальный редактор базы знаний** – программа, предоставляющая возможность инженеру по знаниям создавать базу знаний в диалоговом режиме. Включает набор сервисных средств: систему вложенных меню, шаблонов языка представления знаний, подсказок и др. (в идеале).

### Представление знаний в ЭС

Первый и основной вопрос, который надо решить при представлении знаний, - это вопрос определения состава знаний, т.е. определение того, "ЧТО ПРЕДСТАВЛЯТЬ" в экспертной системе. Второй вопрос касается того, "КАК ПРЕДСТАВЛЯТЬ" знания. Необходимо отметить, что эти две проблемы не являются независимыми. Действительно, выбранный способ представления может оказаться непригодным в принципе либо неэффективным для выражения некоторых знаний.

Вопрос "КАК ПРЕДСТАВЛЯТЬ" можно разделить на две в значительной степени независимые задачи: как организовать (структурировать) знания и как представить знания в выбранном формализме.

Стремление выделить организацию знаний в самостоятельную задачу вызвано, в частности, тем, что эта задача возникает для любого языка представления и способы решения этой задачи являются одинаковыми (либо сходными) вне зависимости от используемого формализма.

Итак, в круг вопросов, решаемых при представлении знаний, будем включать следующие:

- определение состава представляемых знаний;
- организацию знаний;
- представление знаний, т.е. определение модели представления. Состав знаний ЭС определяется следующими факторами:
  - проблемной средой;
  - архитектурой экспертной системы;
  - потребностями и целями пользователей;
  - языком общения.

В соответствии с общей схемой статической экспертной системы (см. рисунок 1) для ее функционирования требуются следующие знания:

- знания о процессе решения задачи (т.е. управляющие знания), используемые интерпретатором (решателем);
- знания о языке общения и способах организации диалога, используемые лингвистическим процессором (диалоговым компонентом);
- знания о способах представления и модификации знаний, используемые компонентом приобретения знаний;
- поддерживающие структурные и управляющие знания, используемые объяснительным компонентом.

Для динамической ЭС, кроме того, необходимы следующие знания:

- 1) знания о методах взаимодействия с внешним окружением;
- 2) знания о модели внешнего мира.

Зависимость состава знаний от требований пользователя проявляется в следующем:

- какие задачи (из общего набора задач) и с какими данными хочет решать пользователь;
- каковы предпочтительные способы и методы решения;
- при каких ограничениях на количество результатов и способы их получения должна быть решена задача;

- каковы требования к языку общения и организации диалога;
- какова степень общности (конкретности) знаний о проблемной области, доступная пользователю;
- каковы цели пользователей.

Состав знаний о языке общения зависит как от языка общения, так и от требуемого уровня понимания.

С учетом архитектуры экспертной системы знания целесообразно делить на *интерпретируемые* и *неинтерпретируемые*.



Рисунок 2. Представление знаний ЭС

К первому типу относятся те знания, которые способен интерпретировать решатель (интерпретатор). Все остальные знания относятся ко второму типу. Решатель не знает их структуры и содержания. Если эти знания используются каким-либо компонентом системы, то он не "осознает" этих знаний. Неинтерпретируемые знания подразделяются на *вспомогательные* знания, хранящие информацию о лексике и грамматике языка общения, информацию о структуре диалога, и *поддерживающие* знания. Вспомогательные знания обрабатываются естественно-языковой компонентой, но ход этой обработки решатель не осознает, так как этот этап обработки входных сообщений является вспомогательным для проведения экспертизы. Поддерживающие знания используются при создании системы и при выполнении объяснений. Поддерживающие знания выполняют роль описаний (обоснований) как интерпретируемых знаний, так и действий системы. Поддерживающие знания подразделяются на *технологические* и *семантические*. Технологические поддерживающие знания содержат сведения о времени создания описываемых ими знаний, об авторе знаний и т.п. Семантические поддерживающие знания содержат смысловое описание этих знаний. Они содержат информацию о причинах ввода знаний, о назначении знаний, описывают способ использования знаний и получаемый эффект. Поддерживающие знания имеют описательный характер.

Интерпретируемые знания можно разделить на *предметные знания*, *управляющие знания* и *знания о представлении*. Знания о представлении содержат информацию о том, каким образом (в каких структурах) в системе представлены интерпретируемые знания.

Предметные знания содержат данные о предметной области и способах преобразования этих данных при решении поставленных задач. Отметим, что по

отношению к предметным знаниям знания о представлении и знания об управлении являются *метазнаниями*. В предметных знаниях можно выделить описатели и собственно предметные знания. Описатели содержат определенную информацию о предметных знаниях, такую, как коэффициент определенности правил и данных, меры важности и сложности. Собственно предметные знания разбиваются на *факты* и *исполняемые утверждения*. Факты определяют возможные значения сущностей и характеристик предметной области. Исполняемые утверждения содержат информацию о том, как можно изменять описание предметной области в ходе решения задач. Говоря другими словами, исполняемые *утверждения* - это знания, задающие процедуры обработки. Однако мы избегаем использовать термин "процедурные знания", так как хотим подчеркнуть, что эти знания могут быть заданы не только в процедурной, но и в декларативной форме.

Управляющие знания можно разделить на *фокусирующие* и *решающие*. Фокусирующие знания описывают, какие знания следует использовать в той или иной ситуации. Обычно фокусирующие знания содержат сведения о наиболее перспективных объектах или правилах, которые целесообразно использовать при проверке соответствующих гипотез. В первом случае внимание фокусируется на элементах рабочей памяти, во втором - на правилах базы знаний. Решающие знания содержат информацию, используемую для выбора способа интерпретации знаний, подходящего к текущей ситуации. Эти знания применяются для выбора стратегий или эвристик, наиболее эффективных для решения данной задачи.

Качественные и количественные показатели экспертной системы могут быть значительно улучшены за счет использования *метазнаний*, т.е. знаний о знаниях. Метазнания не представляют некоторую единую сущность, они могут применяться для достижения различных целей. Перечислим возможные назначения метазнаний :

- 1) метазнания в виде стратегических метаправил используются для выбора релевантных правил;
- 2) метазнания используются для обоснования целесообразности применения правил из области экспертизы;
- 3) метаправила используются для обнаружения синтаксических и семантических ошибок в предметных правилах;
- 4) метаправила позволяют системе адаптироваться к окружению путем перестройки предметных правил и функций;
- 5) метаправила позволяют явно указать возможности и ограничения системы, т.е. определить, что система знает, а что не знает.

Вопросы организации знаний необходимо рассматривать в любом представлении, и их решение в значительной степени не зависит от выбранного способа (модели) представления. Выделим следующие аспекты проблемы организации знаний:

- организация знаний по уровням представления и по уровням детальности;
- организация знаний в рабочей памяти;
- организация знаний в базе знаний.

## **Уровни представления и уровни детальности**

Для того чтобы экспертная система могла управлять процессом поиска решения, была способна приобретать новые знания и объяснять свои действия, она должна уметь не только использовать свои знания, но и обладать способностью понимать и исследовать их, т.е. экспертная система должна иметь знания о том, как представлены ее знания о проблемной среде. Если знания о проблемной среде назвать знаниями нулевого уровня представления, то первый уровень представления содержит метазнания, т.е. знания о том, как представлены во внутреннем мире системы знания нулевого уровня. Первый уровень содержит знания о том, какие средства используются для представления знаний нулевого уровня. Знания первого уровня играют существенную роль при управлении процессом

решения, при приобретении и объяснении действий системы. В связи с тем, что знания первого уровня не содержат ссылок на знания нулевого уровня, знания первого уровня независимы от проблемной среды.

Число уровней представления может быть больше двух. Второй Уровень представления содержит сведения о знаниях первого уровня, т.е. знания о представлении базовых понятий первого уровня. Разделение знаний по уровням представления обеспечивает расширение области применимости системы.

Выделение уровней детальности позволяет рассматривать знания с различной степенью подробности. Количество уровней детальности во многом определяется спецификой решаемых задач, объемом знаний и способом их представления. Как правило, выделяется не менее трех уровней детальности, отражающих соответственно общую, логическую и физическую организацию знаний. Введение нескольких уровней детальности обеспечивает дополнительную степень гибкости системы, так как позволяет производить изменения на одном уровне, не затрагивая другие. Изменения на одном уровне детальности могут приводить к дополнительным изменениям на этом же уровне, что оказывается необходимым для обеспечения согласованности структур данных и программ. Однако наличие различных уровней препятствует распространению изменений с одного уровня на другие.

## Инженерия знаний

Направление исследований, зародившееся в рамках искусственного интеллекта и выделившееся в самостоятельную дисциплину, связанную с вопросами извлечения, структурирования, формирования, обработки и приобретения знаний, носит название **инженерии знаний**. Специалиста предметной области, чьи знания и опыт «извлекаются», называют экспертом, а специалиста, который занимается извлечением и структурированием знаний - инженером по знаниям.

Под извлечением знаний понимают процедуру взаимодействия инженера по знаниям с источником знаний (экспертом, литературой и т.д.), в результате которой становятся явными процесс рассуждений специалистов при принятии профессиональных решений и структура их представлений о предметной области

Проблема извлечения экспертных знаний традиционно считается «узким местом» в проектировании интеллектуальных систем. Практическая работа по извлечению знаний, позволяет отметить ряд эффектов или явлений, наблюдаемых при работе с экспертами и оказывающий существенное влияние на процесс извлечения знаний. К ним относятся:

- существование так называемых молчаливых или подразумеваемых знаний, обусловленное тремя причинами: неосознаваемым характером экспертного умения, трудностью процесса вербализации и недооценкой экспертом важности некоторых знаний, используемых при решении профессиональных задач;
- особая форма организации знаний экспертов по сравнению с организацией знаний новичков;
- достаточно высокая скорость решения экспертом профессиональных задач;
- ограниченность объема кратковременной памяти человека;
- некорректность некоторых способов получения информации (присвоение весов признаков, присвоение вероятностей и т.д.);
- существование механизма когнитивной защиты;

Наличие психолингвистических проблем, в частности, различие между коммуникативным языком и языком мыслительного процесса приводит в процессе общения инженера по знаниям с экспертом к значительной потере информации.

Для преодоления описанных выше проблем в рамках инженерии знаний (как в теоретическом плане, так и в результате практических разработок конкретных систем) создаются так называемые методы извлечения знаний или техники, представляющие

собой некоторую процедуру или форму взаимодействия инженера по знаниям с экспертом.

Под концептуальным анализом знаний (или структурированием) понимается процесс анализа информации, полученной от источника знаний, и синтез ее (или кодирование) в некоторые структуры, независимые от какой-либо программной реализации.

Извлечение и структурирование знаний - это единый процесс взаимодействия инженера по знаниям с экспертом, различающийся лишь своими аспектами. Если проблема извлечения знаний заключается в выборе формы взаимодействия инженера по знаниям с экспертом, то проблема концептуального анализа знаний предполагает рассмотрение собственно предмета, ради которого такое взаимодействие организовано, а именно, той информации, смысл которой в процессе преобразования от представлений эксперта к представлению в компьютере должен остаться неизменным.

Процесс преобразования знаний от представлений эксперта к представлению в компьютере можно рассматривать как проблему преобразования информации, осуществляемой путем перехода от одного материального носителя знаний к другому. В зависимости от вида материального носителя знаний можно выделить следующие уровни представлений знаний:

- представление знаний в памяти человека (эксперта);
- концептуальное или полуформализованное представление знаний как результат взаимодействия эксперта и инженера по знаниям (возможно на бумаге);
- формализованное представление знаний на специализированных языках искусственного интеллекта (на бумаге или в компьютере);
- представление знаний на машинных носителях информации (база знаний).

В этом отношении концептуальный анализ знаний - это переход от представления знаний в памяти эксперта к некоторым концептуальным, полуформализованным представлениям или структурам, отражающим понимание экспертом предметной области в целом и стратегий рассуждений при решении профессиональных задач.

## Приобретение знаний

Одна из главных проблем, возникающих при проектировании ЭС: как преобразовать знания, имеющие отношение к любой предметной области, во фреймы или порождающие правила. Источниками знаний могут быть эксперты, или книги, или документы, инструкции или специальные программы добытчики знаний.

**Приобретение знаний** – процесс получения знаний от эксперта (или от других источников) и передача их экспертной системе. **Извлечение знаний** – способ передачи знаний инженером по знаниям от эксперта экспертной системе.

Приобретение знаний – одно из главных узких мест технологии ЭС по временным и прочим затратам. Причины низкой производительности:

1. Специалисты в узкой предметной области пользуются своим лексиконом, который трудно перевести на обычный человеческий язык, так как специалисты используют его, не задумываясь о точном определении.
2. Даже опытному специалисту трудно расчлнить большую проблему на более простые, которые можно решать более или менее независимо.
3. Экспертный анализ надо поместить в довольно обширный контекст, который включает многие вещи, кажущиеся эксперту само собой разумеющимися, но для постороннего таковыми не являются.
4. Сложность проблемы взаимодействия эксперта и инженера по знаниям: эксперт не знаком с программированием, т.е. он может взаимодействовать с системой только на высоком уровне. Инженер по знаниям плохо разбирается в проблемной области; лексика ПО непонятна программисту.

Таким образом, требуется совместная длительная работа эксперта и инженера по знаниям, чтобы помочь эксперту структурировать ПО и уточнить и расширить лексику.

### Методы извлечения знаний

Принцип деления предложенной ниже схемы связан с источником знаний.

Разделение этих групп методов на верхнем уровне классификации не означает их антагонистичности, обычно инженер по знаниям комбинирует различные методы, например, сначала изучает литературу, затем беседует с экспертами, или наоборот.

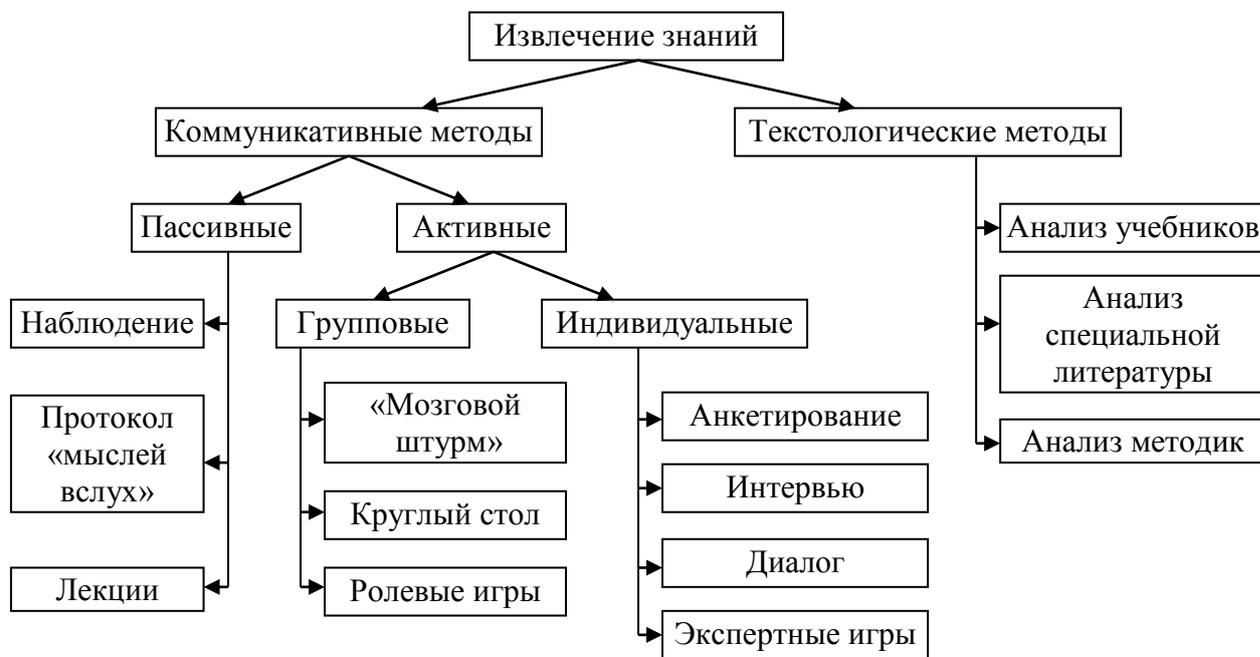


Рисунок 3. Методы извлечения знаний

**Пассивные методы** подразумевают, что ведущая роль в процедуре извлечения знаний как бы передаётся эксперту, а инженер по знаниям только протоколирует рассуждения эксперта во время его реальной работы по принятию решений или записывает то, что эксперт считает нужным рассказать в форме лекции. В активных методах, напротив, инициатива полностью в руках инженера по знаниям, который активно контактирует с экспертом различными способами – в играх, диалогах, беседах за круглым столом и т.д.

**Активные методы** можно разделить на две группы в зависимости от числа экспертов, отдающих свои знания. Если их больше одного, то целесообразно помимо серии индивидуальных контактов с каждым применять и методы групповых обсуждений предметной области. Такие групповые методы обычно активизируют мышление участников дискуссий и позволяют выявлять весьма нетривиальные аспекты их знаний. Однако индивидуальные методы на сегодняшний день остаются ведущими, поскольку столь деликатная процедура, как «отъём знаний», не терпит лишних свидетелей.

### **Наблюдения**

Моделирование сценария. Эксперт выбирает сам какой-либо сценарий и на естественном языке ведет рассуждения. В процессе наблюдений инженер по знаниям находится непосредственно рядом с экспертом во время его профессиональной деятельности или имитации этой деятельности. При подготовке к сеансу извлечения эксперту необходимо объяснить *цель наблюдений* и попросить максимально комментировать свои действия.

Во время сеанса аналитик записывает все действия эксперта, его реплики и объяснения. Может быть сделана и видеозапись в реальном масштабе времени. Непременное условие этого метода - невмешательство аналитика в работу эксперта хотя бы на первых порах.

Протоколы наблюдений после сеансов в ходе домашней работы тщательно расшифровываются, а затем обсуждаются с экспертом. Таким образом, наблюдения - один из наиболее распространенных методов извлечения знаний на начальных этапах разработки. Обычно он применяется не самостоятельно, а в совокупности с другими методами.

Декомпозиция цели – разбиение задачи на подзадачи. Метод наиболее полезен для описания общих категорий целей. Не годится для приобретения детальных правил. Реклассификация - проведение классификации вновь.

### **Протокол "мыслей вслух"**

Протоколирование "мыслей вслух" отличается от наблюдений тем, что эксперта просят не просто прокомментировать свои действия и решения, но и объяснить, как это решение было найдено, т.е. продемонстрировать всю цепочку своих рассуждений. Во время рассуждения эксперта все его слова протоколируются инженером по знаниям: при этом полезно отмечать даже паузы и междометия. Вопрос об использовании для этой цели магнитофонов и диктофонов является дискуссионным, поскольку магнитофон иногда действует на эксперта парализующе, разрушая атмосферу доверительности, которая может и должна возникать при непосредственном общении.

### **Лекции**

Лекция - самый старый способ передачи знаний. Лекторское искусство издревле высоко ценилось во всех областях науки и культуры.

В лекции эксперту предоставлено много степеней свободы для самовыражения, при этом необходимо сформулировать эксперту тему и задачу лекции. При такой постановке опытный лектор может заранее структурировать свои знания, ход рассуждений. От инженера по знаниям в этой ситуации требуется лишь грамотно законспектировать лекцию и в конце задать необходимые вопросы.

### **Анкетирование**

Анкетирование – опрос экспертов с помощью анкет, содержащих типовые вопросы, в том числе анкетирование в несколько туров. Анкетирование - наиболее жесткий метод, т.е. наиболее стандартизованный. Инженер по знаниям заранее составляет вопросник или анкету, размножает ее и использует для опроса нескольких экспертов. Это основное преимущество анкетирования.

### **Интервью**

Под интервью понимаем специфическую форму общения инженера по знаниям и эксперта, в которой инженер по знаниям задает эксперту серию заранее подготовленных вопросов с целью извлечения знаний о предметной области. Наибольший опыт в проведении интервью накоплен также в журналистике и социологии.

### **Свободный диалог**

Свободный диалог - это метод извлечения знаний в форме беседы инженера по знаниям и эксперта, в которой нет жестко регламентированного плана и вопросника.

### **Метод круглого стола**

Метод круглого стола предусматривает обсуждение какой-либо проблемы из выбранной предметной области, в котором принимают участие с равными правами несколько экспертов. Обычно вначале участники высказываются в определенном порядке, а затем переходят к живой свободной дискуссии. Дискуссия – обсуждение, в ходе которого допускается открытая взаимная критика. Число участников дискуссии колеблется от трех до пяти-семи.

### **Мозговой штурм**

Мозговой штурм или мозговая атака – групповое обсуждение вопросов, имеющее целью генерацию новых идей и вариантов решения. Мозговой штурм - один из наиболее распространенных методов раскрепощения и активизации творческого мышления. Критика высказываний экспертов не допускается. Впервые этот метод был использован в США как способ получения новых идей в условиях запрещения критики. Замечено, что боязнь критики мешает творческому мышлению, поэтому основная идея штурма - это отделение процедуры генерирования идей в замкнутой группе специалистов от процесса анализа и оценки высказанных идей.

### **Экспертные игры**

Понятие экспертной игры, или игры с экспертами, в целях извлечения знаний восходит к трем источникам - это понятие деловой игры, широко используемое при подготовке специалистов и моделировании, понятие диагностической игры, а также компьютерные игры, все чаще применяемые в обучении.

### **Ролевые игры в группе**

Групповые игры предусматривают участие в игре нескольких экспертов. К такой игре обычно заранее составляется сценарий, распределяются роли, к каждой роли готовится портрет-описание и разрабатывается система оценивания игроков.

### **Текстологические методы**

Группа текстологических методов объединяет методы извлечения знаний, основанные на изучении специальных текстов из учебников, монографий, статей, методик и других носителей профессиональных знаний. Наиболее простым методом является анализ учебников, в которых логика изложения обычно соответствует логике предмета, и поэтому макроструктура такого текста будет, наверное, более значима, чем структура текста какой-нибудь специальной статьи. Анализ методик затруднен как раз сжатостью изложения и практическим отсутствием комментариев, т.е. фоновых знаний, облегчающих понимание для неспециалистов.

## Фазы приобретения знаний

Фактически в разработке базы знаний ЭС три участника: эксперт, инженер по знаниям и сама экспертная система. Процесс приобретения знаний разбивается на фазы, отражающие изменение функций участников проектирования ЭС.

**1. Предварительная фаза.** ЭС еще не существует. Знания приобретаются от эксперта инженером по знаниям. Эта фаза выполняется на этапах идентификации, концептуализации и формализации ЭС. Здесь определяются основные понятия, отношения, базовые правила анализа и рассуждений и на их основе формируется общее представление о структуре данных. Здесь формируются модели правил, происходит описание сценариев, т.е. наиболее типичных, важных, наиболее вероятных ситуаций; описание основных стратегий. Каждая модель правил может рассматриваться как абстрактное описание подмножества правил БЗ. Все операции осуществляются вручную, автоматизация невозможна.

**2. Начальная фаза.** Формирование начальных (фундаментальных) формализованных знаний. Это знания о представлении, или метазнания, т.е. знания, определяющие организацию, структуру и способ представления БЗ. На этой фазе ведение знаний осуществляет *только инженер*, а не эксперт, так как надо детально понимать функционирование проектируемой ЭС. Приобретение знаний на этой фазе не поддается формализации и осуществляется вручную. Оно остается искусством, а не наукой. Приобретение знаний о представлении позволяет автоматизировать процесс получения знаний о проблемной области на следующей фазе. В результате этого этапа получают прототипы правил.

**3. Накопительная фаза.** Формирование основного состава знаний. Приобретены знания, необходимые для эффективной и качественной работы ЭС. Этот этап поддается автоматизации по следующим причинам:

- Правила имеют более простую структуры, чем базовые понятия. Они имеют единый формат, простые связи.
- Правила несут информацию о проблемной области, хорошо известной эксперту. Эксперт может взаимодействовать с БЗ через интеллектуальный редактор, без посредничества эксперта. Пример такого редактора: TEIRESIAS для MYCIN.

Таким образом, участники этой фазы – эксперт и экспертная система.

## Цикл разработки ЭС

Как и большинство разработок ИИ, экспертные системы требуют нетрадиционного жизненного цикла разработки, основанного на раннем прототипировании и постепенной модификации кода. Когда инженер по знаниям получит общее представление о предметной области и проведет несколько сеансов решения задач с экспертом, он может приступить к разработке системы: выбрать способ представления знаний (например, правила или фреймы), определить стратегию поиска (прямой, обратный, в глубину, в ширину и т.п.), разработать пользовательский интерфейс. После выполнения этих обязательных этапов инженер по знаниям строит прототип.

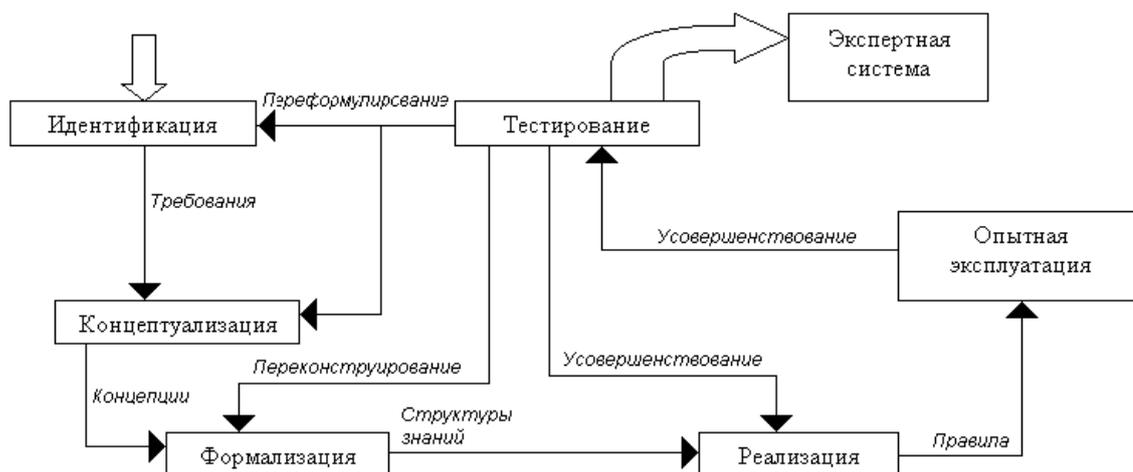


Рисунок 4. Этапы разработки экспертной системы

Этот прототип должен быть способен решить проблемы из данной предметной области и обеспечить испытательный стенд для проверки предварительных проектных решений. Если предположения, сделанные при проектировании прототипа, оказываются корректными, прототип можно поступательно расширять до тех пор, пока он не превратится в окончательную систему.

Экспертные системы строятся *методом последовательных приближений*. Выявляемые ошибки приводят к коррекции и наращиванию базы знаний. Процесс проб и корректировки проектов-кандидатов является общепринятым в разработке экспертных систем и кардинально отличается от таких проработанных иерархических процессов, как проектирование сверху вниз. Если прототип стал слишком громоздким, его можно просто выбросить. После завершения последней модификации зачастую создается более прозрачная версия, обычно с меньшим количеством правил.

Другой важной особенностью ЭС является то, что программа никогда не должна рассматриваться как законченная. Эвристическая база знаний всегда будет иметь ограниченные возможности. Модульность модели продукционной системы позволяет естественным образом добавить новые правила или в любое время подкорректировать существующую базу правил.

### Управление функционированием ЭС

Это способ осуществления механизма поиска. ЭС использует нетрадиционные методы управления процессом поиска, что вызвано, в первую очередь, неформализованностью задач. Особенность таких задач – процесс поиска нельзя представить в виде детерминированной последовательности программных модулей. Здесь в текущий момент к исполнению пригодны несколько модулей (или один модуль, но над разными данными). Чем больше число готовых к исполнению модулей, тем выше степень неформализованности задачи.

Здесь отметим две основные архитектуры управляющей компоненты (по сложности модулей), используемые при реализации:

1. Модулями являются сравнительно небольшие автономные фрагменты знаний, представляемые в виде правил, которые понятны пользователю (эксперту). Этот подход называется «управляемые образцами правила». Сюда относятся продукционные системы. Пример – MYCIN.
2. В качестве модулей используются большие сложные автономные фрагменты знаний, представленные в виде программ. Этот подход называется «управляемые образцами модули». Пример - HEARSAY-II. Рабочая память называется «классной доской», конфликтный набор называется «агенда».

Управляющую компоненту ЭС называют **интерпретатором**. Задача интерпретатора – на основании текущего состояния рабочей памяти определить, какой модуль и с какими данными будет работать. Модули обычно реализуются в виде правил или процедур. Каждый модуль снабжается образцом, т.е. описанием, указывающем, при выполнении каких условий этот модуль может приступить к работе. Интерпретатор циклически выполняет два основных действия:

1. Распознавание
2. Выполнение

По окончании работы текущего модуля интерпретатор проверяет условия окончания задачи, и если они не удовлетворены, выполняется очередной цикл.

В своей работе интерпретатор использует следующие источники знаний:

1. Рабочая память – память, в которой хранится информация о состоянии текущего процесса вывода (ответы пользователя, промежуточные результаты, означенные модули)
2. База знаний – основные знания ЭС
3. Память интерпретатора – информация о поведении интерпретатора в предшествующих циклах.

На этапе **распознавания** интерпретатор в первую очередь определяет подмножество элементов рабочей памяти, которые могут быть использованы в текущем цикле. Модуль готов к работе, если среди активных данных есть данные, указанные в его образце. Такие модули называются означенными. В результате формируется набор означенных модулей, который еще называется **конфликтным набором**. Интерпретатор выбирает из конфликтного набора то означивание, которое будет выполняться в текущем цикле. Здесь применяются различные стратегии разрешения конфликтов:

- Стратегия приоритетов, приписываемых правилам. Источник знаний – рабочая память
- Стратегия специальных случаев. Означивание «специальный случай» является предпочтительным.
- Стратегия «возраста» элементов – время нахождения элементов в рабочей памяти. Если выбираются «старые» элементы, это равносильно стратегии поиска в ширину, а если «молодые» - стратегии поиска в глубину.
- Стратегии различий. В качестве критерия выбора – подобие (или отличие) означиваний из текущего конфликтного набора тем означиваниям, которые были выполнены в предыдущих циклах. Источник знаний – память состояний интерпретатора.
- Случайные стратегии, к ним приходится прибегать, когда после применения других стратегий не происходит выбора ни одного означивания.

На этапе выполнения осуществляется действие правила (модуля), что приводит к изменению рабочей памяти и памяти состояний интерпретатора, соответствующего выполненным действиям.

### Объяснительные способности экспертных систем

Различают понятия: объяснить и обосновать. В экспертных системах, как правило, объяснение и обоснование не удается реализовать на одних и тех же данных.

**Объяснить** – значит сделать ясным. Пользователь не всегда понимает все возможности и действия ЭС. Для реализации качественных объяснений необходимо:

1. определить минимальный фрагмент действий, подлежащий объяснению;
2. снабдить систему способностью запоминать ее поведение на выбранном уровне детальности;
3. составить модуль, позволяющий анализировать трассировку текущего состояния вывода в терминах целей и правил. Пользователю должны быть предоставлены команды КАК и ПОЧЕМУ, позволяющие просматривать дерево

целей (КАК – как достигалась текущая цель, ПОЧЕМУ – поиск вперед ближайшей цели).

**Обосновать** – подтвердить правильность вывода. Область экспертизы является слабоформализованной, в условиях отсутствия теории, гарантирующей правильность полученных результатов, пользователям необходимо убедиться в достоверности решения. Как оказалось, значительная часть знаний о предметной области представлена в правилах неявно. Эксперт обычно не задумывается об обосновании предлагаемых им правил, таким образом, в базе данных оказываются так называемые *поверхностные знания*, те, что лежат на поверхности – о видимых взаимосвязях между отдельными событиями и фактами предметной области. С другой стороны, различают *глубинные знания* – абстракции, аналогии, схемы, отображающие структуру и природу процессов, протекающих в предметной области. Эти знания могут использоваться для обоснования путем введения промежуточных шагов между посылкой и заключением правила.

Пример поверхностных знаний: «Если нажать на выключатель, загорится лампочка». Глубинные знания: «Принципиальная электрическая схема электроприборов и проводки».

### Представление неопределенности знаний и данных

В реальных приложениях приходится сталкиваться с ситуацией, когда решатель задач имеет дело с неточной информацией. Источников неопределенности может быть достаточно много, но в большинстве случаев их можно разделить на две категории:

1. Недостаточно полное знание предметной области. Могут использоваться недостаточно четко сформулированные концепции или недостаточно изученные явления. Например, в диагностике психических заболеваний существует несколько теорий о происхождении и симптоматике шизофрении.
2. Недостаточная информация о конкретной ситуации. Любой сенсор имеет ограниченную разрешающую способность. Методики постановки диагноза несовершенны, иногда рискованны (ядерный реактор), дорогостоящи. Иногда время требует быстрого принятия решений (медицина).

Таким образом, зачастую либо точных методов не существует, либо они неприменимы.

Неточные методы имеют важную роль в разработке ЭС но возникает вопрос, какие методы и когда использовать.

Выделяют три основных группы методов:

1. Методы, использующие понятия теории вероятностей;
2. Неклассические логики: нечеткая, интервальная, модальная, временная и др.
3. Теория функций доверия.

### Прототипы и жизненный цикл экспертной системы

По степени готовности к использованию и распространению различают четыре прототипа экспертных систем:

1. **демонстрационный** - предназначен для демонстрации возможностей будущей экспертной системы, основных архитектурных решений, пользовательского интерфейса, для уточнения требований к пользовательскому интерфейсу и функциям, выполняемым экспертной системой, содержит демонстрационную далеко неполную базу знаний;
2. **исследовательский** - предназначен для исследования направлений дальнейшего совершенствования экспертной системы и для пополнения базы знаний, может использоваться для решения реальных задач в ограниченных пределах;

3. **промышленный** - предназначен для использования, как правило, в организации, где был разработан, в нем возможны ограничения, условности, специализация, свойственные для данной организации;
4. **коммерческий** - предназначен для широкого распространения, обладает гибкостью, удобством в эксплуатации, адаптируемостью к конкретным задачам и требованиям пользователя.

Жизненный цикл экспертной системы состоит из этапов разработки и сопровождения. На этапе разработки создается программное обеспечение и база знаний экспертной системы, на этапе сопровождения происходит исправление выявленных ошибок и пополнение базы знаний без участия разработчиков (если последнее допускается архитектурой экспертной системы).

Применение экспертной системы с базой знаний, неизменяемой в процессе эксплуатации, возможно при достаточно стабильной в течение длительного времени предметной области, в которой решаются задачи. Примерами таких предметных областей являются разделы математического анализа, описание правил диагностики различных заболеваний.

Примерами областей применения, требующих гибкости со стороны создания и пополнения базы знаний, являются: планирование производства, проектирование и диагностика в области электроники, вычислительной техники и машиностроения.

### Примеры широко известных экспертных систем

**DENDRAL** - ЭС для распознавания структуры сложных органических молекул по результатам их спектрального анализа (считается первой в мире экспертной системой),

**MOLGEN** - ЭС для выработки гипотез о структуре ДНК на основе экспериментов с ферментами,

**XCON** - ЭС для конфигурирования (проектирования) вычислительных комплексов VAX-11 в корпорации DEC в соответствии с заказом покупателя;

**MYCIN** - ЭС диагностики кишечных заболеваний;

**PUFF** - ЭС диагностики легочных заболеваний;

**MACSYMA** - ЭС для символьных преобразований алгебраических выражений;

**YES/MVS** - ЭС для управления многозадачной операционной системой MVS больших ЭВМ корпорации IBM;

**DART** - ЭС для диагностики больших НМД корпорации IBM;

**PROSPECTOR** - ЭС для консультаций при поиске залежей полезных ископаемых;

**POMME** - ЭС для выдачи рекомендаций по уходу за яблоневым садом;

набор экспертных систем для управления планированием, запуском и полетом космических аппаратов типа "челнок";

**ЭСПЛАН** - ЭС для планирования производства на Бакинском нефтеперерабатывающем заводе;

**МОДИС** - ЭС диагностики различных форм гипертонии.