

# ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ



## Из истории

**С 70-х** годов ЭС стали ведущим направлением в области искусственного интеллекта. В этот период было создано множество разнообразных экспертных и диагностических систем, большая часть которых действует и сегодня. Самыми известными из них являются MYCIN и PROSPECTOR, предназначенная для геологической разведки месторождений полезных ископаемых.



# Из истории

## 80-е годы

В 80-х годах в мире начался принципиально новый этап развития интеллектуальных технологий – эра интеллектуальных систем - консультантов, которые предлагали варианты решений, обосновывали их, способны были к обучению и, следовательно, к развитию, общались с человеком на привычном для него, хотя и ограниченном, естественном языке. Знания стали товаром. Носителей систем знаний называли экспертами. Человечество получило возможность сохранять и накапливать базы знаний отдельных специалистов (или групп специалистов) в определенной области. Знания стало возможным собирать, тиражировать, проектировать, сделать доступными для всех заинтересованных в нем людей. Появилась новая профессия – «инженер по знаниям» или «инженер-когнитолог».

При разработке последующих экспертных систем были учтены особенности и недостатки PROSPECTOR и MYCIN. Благодаря этому такие диагностические медицинские системы, как INTERNIST и CASNET, основанные на ассоциативном и казуальном (от англ. casual - случайный) подходах, приобрели более мощные механизмы вывода.



# Из истории

## 90-е годы

Усложнение систем связи и решаемых задач потребовало качественно нового уровня «интеллектуальности» обеспечивающих программных систем, таких систем, как защита от несанкционированного доступа, информационная безопасность ресурсов, защита от нападений, смысловой анализ и поиск информации в сетях и т.п. И новой парадигмой создания перспективных систем защиты всех видов стали интеллектуальные системы. Именно они позволяют создавать гибкие среды, в рамках которых обеспечивается решение всех необходимых задач. Это новое направление получило название мультиагентных систем. Каждый агент имеет свою систему целеполагания и мотивации, свою область действий и ответственности, а взаимодействие между ними обеспечивается метаинтеллектом. В рамках такого осмысления традиционные методы, алгоритмы и программы становятся элементарными «кирпичиками», из которых строятся затем алгоритмы и решения возникающих задач. Таким образом, моделируется некоторое виртуальное сообщество интеллектуальных агентов-систем, которые автономны, активны, вступают в различные «социальные» отношения – кооперации и сотрудничества (дружбы), конкуренции, соревнования, вражды и т.п. Этот «социальный» аспект решения задач - фундаментальная особенность концептуальной новизны передовых информационных технологий, искусственных (виртуальных) организаций, виртуального общества. Уже сегодня мультиагентные системы находят широчайшее применение для: распределенного решения сложных задач, совмещенного проектирования изделий, построения виртуальных предприятий, моделирования больших производственных систем и электронной торговли, электронной разработки сложных компьютерных систем, управления системами знаний и информации и т.п.




## Из истории

### 21 век

Сейчас количество экспертных систем исчисляется тысячами и десятками тысяч. В развитых зарубежных странах сотни фирм занимаются их разработкой и внедрением в различные сферы жизни. . В настоящее время ведутся разработки самостоятельно обучаемых экспертных систем.

В качестве современных ЭС можно назвать быстродействующую систему OMEGAMON (фирма Candle, с 2004 г. IBM) для отслеживания состояния корпоративной информационной сети и G2 (фирма Gensym) - коммерческую экспертную систему для работы с динамическими объектами ([www.intuit.ru/department/human/isrob/6/isrob\\_6.html](http://www.intuit.ru/department/human/isrob/6/isrob_6.html)). Они служат для принятия решения за считанные секунды с момента наступления внештатных или критических ситуаций. Для G2 также характерно распараллеливание процессов рассуждений.



# ASTA

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ВОЕННОЕ ДЕЛО

ASTA помогает аналитику определить тип радара, пославшего перехваченный сигнал. Система анализирует этот сигнал в свете имеющихся у нее общих знаний о физике радаров и специальных знаний о конкретных типах радарных систем. ASTA также помогает аналитику, обеспечивая ему доступ к соответствующим базам данных и давая объяснения своим заключениям. Знания в системе представлены в виде правил. Эта система разработана компанией Advanced Information & Decision Systems и доведена до уровня исследовательского прототипа. (Assistant for Science and Technology Analysis)



# ACES

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ВОЕННОЕ ДЕЛО

ACES выполняет картографические работы по нанесению нагрузки на карты. Система получает в качестве исходных данных карту без нагрузки и данные, описывающие, в каких точках расположены объекты и какая строка текста и вид условного знака должны быть нанесены на карту рядом с каждой точкой. Система выдает карту, содержащую все желаемые условные обозначения и названия, красиво размещенные без взаимного наложения. Система выбирает размещение символов, гарнитуру и кегль шрифта для текстов названий и уровень описания, наиболее подходящие для данной карты. Она применяет объектно-ориентированную схему представления знаний и реализована на языке LOOPS для работы на АРМ Xerox Dolphin. Система разработана компанией ESL и доведена до уровня исследовательского прототипа. (AI Cartographic Expert System)



# AIRID

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ВОЕННОЕ ДЕЛО

AIRID распознает самолеты на основании визуально наблюдаемых характеристик. Пользователь вводит замеченные особенности и условия наблюдения (например, плохая погода), по которым AIRID определяет тип самолета. Знания системы включают физические особенности самолетов, извлеченные из каталога Janes All the Worlds Aircraft 1982—83. Существенные свойства включают форму крыла, число и места установки двигателей, а также форму хвостового оперения. Система реализована на языке KAS и использует комбинированную схему представления знаний посредством правил и семантических сетей. AIRID считает определение успешным, если уровень достоверности в ее сети вывода достиг 98 %. Система разработана в Национальной лаборатории в Лос-Аламосе и доведена до уровня демонстрационного прототипа. (AIRcraft IDentifier)





# DIPMETER ADVISOR

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ГЕОЛОГИЯ

DIPMETER ADVISOR выводит картину подземных геологических структур, интерпретируя данные инклинометрии, т.е. измерений проводимости пород внутри и вокруг скважины каротажным зондом в зависимости от глубины от поверхности. Система использует знания о возможных формах инклинометрических записей и о геологии, чтобы распознать характерные особенности в записях прибора и связать их с подземными геологическими структурами. Система предоставляет пользователю управляемый с помощью меню графический интерфейс, включающий демонстрацию записей каротажного зонда в режиме плавного перемещения. Система использует основанное на правилах представление знаний с управлением посредством прямой цепочки рассуждений. Она реализована на языке INTERLISP-D и предназначена для работы на АРМ Xerox 1100. Система была разработана компанией Schlumberger-Doll Research и доведена до уровня исследовательского прототипа.



# DRILLING ADVISOR

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ГЕОЛОГИЯ

DRILLING ADVISOR помогает буровому мастеру при бурении нефтяных скважин разрешать вопросы, связанные с прихваткой долота. Система диагностирует наиболее вероятные причины прихватки (например, коническая форма скважины, закупорка буровой колонны разбуренной породой) и рекомендует ряд мер для преодоления трудности и снижения вероятности ее повторения (например, подъем и/или опускание буровой колонны). Система основывает свои решения на знании геологической обстановки в месте нахождения скважины и соотношений между наблюдаемыми симптомами и предполагаемыми причинами неполадок. Знания представлены в виде правил, доступ к которым осуществляется механизмом прямой цепочки рассуждений. Система сначала была реализована на языке KS300 и затем переписана на языке S.1. Она была разработана компанией Teknowledge в сотрудничестве с Societe Nationale Elf Aquitaine и доведена до уровня исследовательского прототипа.



# CONPHYDE

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

CONPHYDE помогает инженерам-химикам выбирать методы оценивания физических свойств веществ. Система управляет выбором констант равновесия между жидкой и газовой фазами для имитационного моделирования технологического процесса, исходя из требуемой точности и ожидаемых концентраций, температур и диапазонов давлений. Знания в CONPHYDE представлены гибридной схемой, сочетающей правила и семантические сети, аналогичной схеме представления системы PROSPECTOR. Механизм вывода основан на использовании коэффициентов уверенности и байесовской теории принятия решений для распространения вероятностей, связанных с данными. Система реализована на языке KAS и использует его средства объяснения. CONPHYDE разработана в Университете Карнеги-Меллон и доведена до уровня демонстрационного прототипа. (CONsultant for PHYsical property DEcisions)



# DELTA

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

DELTA помогает обслуживающему персоналу обнаруживать и устранять неполадки в дизель-электровозах, применяя диагностические стратегии по техническому обслуживанию локомотивов. Система может руководить пользователем в ходе всей процедуры ремонта, снабжая его представленными компьютером чертежами деталей и подсистем, последовательностями ремонтных операций в виде записанных на видеодиск мультфильмов и, после определения неисправности, конкретными инструкциями по ремонту. DELTA — это основанная на правилах система, разработанная на универсальном языке представления и написанная на языке Лисп. Доступ к правилам осуществляется как прямой, так и обратной цепочкой рассуждений; для пользования правилами, справедливость посылок которых известна лишь в вероятностном смысле, употребляются коэффициенты уверенности. Хотя прототип системы был реализован на языке Лисп, позднее она была заново реализована на FORTH с целью эксплуатации на микропроцессорной аппаратуре. Компания «Дженерал электрик» разработала эту систему в своем научно-исследовательском и проектном центре в г.Шенектади, штат Нью-Йорк. Завершается опытная эксплуатация системы DELTA, и намечено перейти к использованию ее на коммерческой основе. (Diesel-Electric Locomotive Troubleshooting Aid)



# НРРС

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

НРРС помогает операторам атомной электростанции определять причины некоторых нештатных ситуаций (например, повышения температуры в реакторе за пределы нормы), применяя правила в сочетании с моделью работы станции. НРРС использует модель первичного контура системы охлаждения, включающую насосы, реактор, парогенератор и аварийную систему охлаждения активной зоны, для диагностирования причины возникновения нештатного режима или аварийной ситуации, а затем предлагает меры для исправления положения. Модель состоит из совокупности алгоритмов, основанных на здравом смысле, имеющих доступ к соответствующим диагностическим правилам. Система была разработана в Технологическом институте штата Джорджия и доведена до уровня исследовательского прототипа. (Nuclear Power Plant Consultant)



# РЕАСТОР

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

РЕАСТОР помогает операторам атомного реактора диагностировать аварийные ситуации и справляться с ними. Система следит за показаниями измерительных приборов, такими как расход подпитывающей воды и уровень радиации в реакторе, отыскивая отклонения от нормального режима работы. Когда система обнаруживает отклонение, она оценивает ситуацию и рекомендует соответствующие действия, используя знания о конструкции реактора и функциональных взаимосвязях его компонент вместе со знаниями об ожидаемом поведении реактора при известных аварийных условиях. Система реализована на языке Лисп; она основана на правилах с применением как прямой, так и обратной цепочки рассуждений. Система разработана компанией EG&G, штат Айдахо, и доведена до уровня исследовательского прототипа.



# CARGUIDE

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ИНФОРМАТИКА

CARGuide помогает водителям автотранспорта находить маршруты и ориентироваться на улицах города. Система использует данные о начальном и конечном пунктах движения вместе с картографической информацией для вычисления оптимального маршрута поездки из начального пункта до конечного. Нахождение оптимального маршрута выполняется с помощью сочетания метода «разделяй и властвуй», предварительно рассчитанных маршрутов и алгоритма Дейкстры поиска кратчайшего пути. Найденный маршрут выводится и подсвечивается на дисплее, изображающем карту улиц. Во время поездки текущее положение автомобиля на маршруте отмечается на дисплее. Перед каждым перекрестком система произносит направление (прямо, налево или направо) и название улицы, по которой нужно следовать. База данных о схеме улиц содержит информацию, связывающую названия улиц с перекрестками и перекрестки с маршрутами. Она также содержит информацию для генерации изображений. Система CARGuide была разработана в Университете Карнеги-Меллон и доведена до уровня демонстрационного прототипа. (Computer for Automobile Route Guidance)



# CODES

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ИНФОРМАТИКА

CODES помогает разработчику базы данных, желающему использовать подход IDEF1 для определения концептуальной схемы базы данных. Хотя в качестве подхода IDEF1 полезна, сложность ее правил часто сдерживает ее применение. Разработчик описывает, какие свойства и взаимосвязи желательны в базе данных, под руководством системы CODES, осуществляемым в форме диалога. Затем система применяет свои знания правил и эвристик IDEF1 для построения концептуальной схемы разрабатываемой базы данных. Знания в CODES представлены в виде правил с применением обратной цепочки рассуждений в качестве стратегии управления. CODES реализована на языке UCILISP. Она была разработана в Университете штата Южная Калифорния и доведена до уровня демонстрационного прототипа. (Conceptual DESign system)





# EDAAS

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ИНФОРМАТИКА

EDAAS помогает специалистам в области информации решать, какая информация о производстве и распределении токсических химикатов может быть допущена к открытому распространению. Система использует знания о том, когда информация должна быть опубликована (из Акта о контроле токсических веществ) вместе со знаниями о том, когда ценная информация опубликованию не подлежит (поскольку она засекречена в качестве конфиденциальной деловой информации). EDAAS реализована на языке Фортран, но в ней применена основанная на правилах схема представления знаний, а также модифицированный алгоритм линейного программирования для получения решения. Система была разработана фирмой Booz, Allen & Hamilton для использования Агентством по охране окружающей среды, которое систематически применяет ее, и доведена до уровня промышленного прототипа.



# FOLIO

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ИНФОРМАТИКА

FOLIO помогает консультантам по инвестициям определять цели клиентов и подбирать, портфели ценных бумаг, наиболее соответствующие этим целям. Система определяет нужды клиента в ходе интервью и затем рекомендует, в каких пропорциях нужно распределить капиталовложение между разными фондами, чтобы наилучшим образом удовлетворить запросы клиента. FOLIO различает небольшое число классов ценных бумаг (например, ориентированные на дивиденды акции с невысоким уровнем риска или ориентированные на вид товара акции с высоким уровнем коммерческого риска) и содержит знания о свойствах (скажем, годовых процентах на капитал) ценных бумаг каждого класса. В системе применена основанная на правилах схема представления знаний с прямой цепочкой рассуждений для вывода целей клиента и схема линейного программирования для максимизации соответствия между целями и предлагаемым портфелем. FOLIO реализован на MRS. Она была разработана в Станфордском университете и доведена до уровня демонстрационного прототипа.



# CRIB

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

CRIB оказывает помощь разработчикам и обслуживающему персоналу компьютеров при обнаружении неисправностей в аппаратуре и программном обеспечении компьютера. Разработчик предоставляет системе описание наблюдаемых ситуаций в терминах простого англоподобного языка. CRIB сопоставляет это описание с базой данных о известных неисправностях. Последовательно сопоставляя все большие группы симптомов с вводимым описанием, CRIB выявляет блок, который подлежит ремонту или замене. Если после ремонта или замены неисправность не устранена, система автоматически возвращается к точке принятия последнего решения и пытается найти другое решение. В системе CRIB знания и эвристики по диагностике неисправностей аппаратуры и программного обеспечения представлены в виде набора пар «симптом—действие», где действие направлено на устранение симптома. CRIB моделирует диагностируемую машину в виде простой иерархии блоков в семантической сети. Система написана на языке CORAL66. Она была разработана совместно компаниями International Computers Limited (ICL) Research and Advanced Development Centre (RADC) и Brunei University. CRIB достигла уровня исследовательского прототипа.



# DART

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

DART оказывает помощь при диагностировании неисправностей компьютерных систем, используя информацию о конструкции диагностируемого устройства. Система работает непосредственно с информацией о структуре и предполагаемом поведении устройства и оказывает помощь при поиске проектных недочетов в заново создаваемых устройствах. Система применяется для простых вычислительных схем и телепроцессорных устройств IBM 4331. DART использует независимую от конструкции устройства процедуру вывода, которая аналогична процессу доказательства теорем, когда система пытается получить доказательство относительно причин неисправностей устройств. Эта система реализована на языке MRS и была разработана в Станфордском университете. Она доведена до уровня исследовательского прототипа. (Diagnostic Assistance Reference Tool)



# IDT

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

IDT помогает техническому персоналу найти заменяемые блоки, которые следует заменить для устранения неисправностей в ЭВМ PDP 11/03. Система использует знания о тестируемых блоках, например, функции его компонент и их связи друг с другом, чтобы выбрать и выполнить диагностические тесты, а также интерпретировать их результаты. Система основана на правилах, использует прямую цепочку рассуждений, реализована на FRANZ LISP и OPS5. IDT была разработана компанией DEC и доведена до уровня исследовательского прототипа.



# ISA

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

ISA планирует выполнение заказов, поступающих от покупателей вычислительных систем с учетом текущего и планируемого состояния материальных ресурсов. ISA обрабатывает заказы покупателей, учитывая изменения и отмены, строит график выполнения каждого заказа. Она выводит дополнительную информацию по заказам, вызывающим сомнения, включая предлагаемый план-график, нерешенные проблемы и другие варианты для планирования поставки. ISA содержит важные для построения плана заключения, такие как знания о вероятностях поступления отказов по заказам, материальных возможностях, стратегиях смягчения ограничений в процессе планирования. В ISA используется прямая цепочка рассуждений, система основана на правилах, реализована на OPS5. Она была разработана в DEC и используется на ее заводах, производящих вычислительные системы. Она доведена до уровня коммерческой системы. (Intelligent Scheduling Assistant)



# ECESIS

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

ECESIS обеспечивает автономное управление системы жизнеобеспечения (СЖ), применяемой на борту обитаемой космической станции. Система решает, как изменить режимы работы различных подсистем СЖ при переходе из земной тени на освещенный солнцем участок орбиты. Она также наблюдает за СЖ, переключая режимы в ответ на различные события. Хотя ECESIS спроектирована для автономной работы, у нее есть простые средства объяснения для облегчения демонстрации системы. ECESIS имеет смешанную архитектуру, включающую как основанную на правилах, так и использующую семантическую сеть схемы представления, и в ней применяется байесовская модель учета неопределенности, разработанная для системы PROSPECTOR. Система реализована на языке YAPS. Она разработана в «Боинг Аэроспейс Компани» и доведена до уровня исследовательского прототипа. (Environmental Control Expert System In Space)



# FAITH

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

FAITH — это универсальная диагностическая система, первоначальным приложением которой был поиск неисправностей космического корабля путем наблюдения за потоком телеметрической информации, передаваемой на землю. Этот поток содержит проверочные измерения от большого числа различных подсистем. FAITH использует свои знания об изучаемой системе для оценивания данных и обнаружения наиболее вероятных причин наблюдаемых симптомов. В FAITH декларативные знания представлены в виде фреймов, которые развертываются в логические утверждения по мере необходимости. Процедурные знания представлены с помощью продукционных правил. Механизм вывода использует логику предикатов и чередует прямую и обратную цепочки рассуждений. Система была разработана компанией Jet Propulsion Laboratory и доведена до уровня демонстрационного прототипа.





# КНЕЕСАР

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

КНЕЕСАР помогает планировать деятельность экипажа на борту челночного космического корабля. После того, как пользователь целиком спланирует полетное задание, система проверяет отсутствие противоречий в расписании.

КНЕЕСАР использует знания об орбитальных космических кораблях, местах старта и приземления, квалификации астронавтов, коммерческих грузах, программе полета и обязанностях членов экипажа для принятия решений. Эти знания закодированы в виде фреймов с применением способа представления, похожего на использованный в языке FRL. Система реализована на языке INTER-LISP в рамках подхода, заимствованного из экспертной системы KNOBS. Она разработана компанией MITRE Corporation и доведена до уровня демонстрационного прототипа.



# LES

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

LES наблюдает за заправкой челночного космического корабля жидким кислородом в Космическом центре им. Кеннеди. Входом системы служит последовательность помеченных моментами времени измерений от системы контроля запуска, т.е. системы управления, работающей в режиме реального времени и контролирующей заправку корабля жидким кислородом. Система LES следит за значениями параметров, таких как температура, давление, объемный расход и положение вентиля, и определяет, получает ли система контроля запуска правильные показания датчиков. Если LES обнаруживает неправильность, эта система уведомляет наблюдающий персонал и активирует алгоритмы поиска неисправности. Если при этом система LES не может найти причину неполадок, она предлагает список подозреваемых узлов и инструкции о том, какие проверки нужно провести для обнаружения неисправности. LES содержит знания о процессе заправки жидким кислородом, включая информацию об узлах соответствующих систем, значениях параметров и соотношениях между компонентами. Знания системы закодированы в виде фреймов с применением метода представления, похожего на использованный в языке FRL. Система LES реализована на языке ZETALISP в рамках подхода, заимствованного из экспертной системы KNOBS. Она разработана компанией MITRE Corporation в сотрудничестве с Космическим центром им. Кеннеди и доведена до уровня исследовательского прототипа. (Liquid oxygen Expert System)



# ADVISOR

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: МАТЕМАТИКА

ADVISOR помогает неопытным пользователям системы MACSYMA, диагностируя их ошибочные представления и давая советы, приспособленные к нуждам каждого пользователя. Пользователь предлагает системе ADVISOR последовательность введенных им в систему MACSYMA команд и формулировку конечной цели, которая не была достигнута этой системой команд. Система выводит план, которым руководствовался пользователь в попытке достигнуть цели, находит ошибочное представление, предлагает его пользователю для подтверждения и затем дает совет. ADVISOR сочетает знания об использовании системы MACSYMA с моделью поведения неопытного пользователя этой системы, что помогает выявить планы и заблуждения пользователя. Планы и цели пользователя представляются в виде блок-схем и деревьев целей. Система была написана на языке MACLISP в Массачусетском технологическом институте и доведена до уровня демонстрационного прототипа.



# MACSYMA

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: МАТЕМАТИКА

MACSYMA выполняет символьные преобразования алгебраических выражений и пригодна для задач, требующих вычисления пределов, символьного интегрирования, решения уравнений, приведения к каноническому виду и сопоставления с образцом. В системе используются математические знания, организованные в виде отдельных источников знаний и подбираемые для каждой конкретной задачи посредством сложных подпрограмм сопоставления с образцом. MACSYMA достигла очень высокого качества и эффективности работы для тех задач, для которых она предназначена. Система была реализована на языке Лисп и разрабатывалась в рамках проекта MAC в Массачусетском технологическом институте. Она доведена до уровня коммерческой системы и постоянно используется инженерами и учеными повсюду в Соединенных Штатах.



# MATLAB 68

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: МАТЕМАТИКА

MATLAB 68 помогает математикам, ученым и инженерам выполнять символьные преобразования алгебраических выражений, встречающиеся в задачах математического анализа. Система выполняет дифференцирование, разложение многочленов на множители, вычисление неопределенных интегралов, прямое и обратное преобразования Лапласа, а также решает линейные дифференциальные уравнения с постоянными (числовыми и символьными) коэффициентами. Она содержит математические знания в виде отдельных модулей, каждый из которых специализирован на выполнении определенной функции. Данные пользователя классифицируются на три категории: выражения, уравнения и функции. Правила алгебраических преобразований данных меняются в зависимости от категории. Система реализована на языке Лисп и послужила краеугольным камнем при разработке системы MACSYMA. MATLAB68 разработана в Массачусетском технологическом институте и доведена до уровня исследовательского прототипа.



# ABEL

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: МЕДИЦИНА

ABEL помогает клиницистам диагностировать нарушения кислотно-щелочного и водно-солевого равновесия у пациентов, применяя знания о заболеваниях и вызываемых ими симптомах. Система использует причинно-следственную модель возможных заболеваний пациента для упорядочения вопросов к клиницисту и направления процесса диагностических рассуждений. Эта модель содержит данные о пациенте и знания о взаимосвязях между различными патологическими состояниями. Система проверяет, нет ли в данных ошибок, сравнивая ответы клинициста на свои вопросы с предсказаниями модели. Знания представлены в виде причинно-следственной сети, разновидности семантических сетей, задающей причинно-следственные связи между заболеваниями и симптомами. Система была разработана в Массачусетском технологическом институте и доведена до уровня исследовательского прототипа.



# AI/SOAG

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: МЕДИЦИНА

AI/SOAG помогает врачам диагностировать, нарушения свертываемости крови, анализируя и интерпретируя клинические лабораторные пробы на свертываемость. Система применима для шести видов проб, в том числе подсчета концентрации кровяных пластинок и пробы на растворимость сгустка в мочевице. Кроме того, система может оценивать изменения указанных параметров в процессе лечения и наблюдения пациента с целью подтверждения диагноза, на который указывают результаты проб. Она была разработана на медицинском факультете Университета штата Миссури и реализована на микрокомпьютере DEC LSI-11. Система доведена до уровня исследовательского прототипа.



# AI/MM

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: МЕДИЦИНА

AI/MM анализирует физиологические функции почек и дает объяснения причин своих заключений. Система отвечает на вопросы о значениях различных параметров, таких как объем заключенной в теле воды, и интерпретирует наблюдения, например ненормально высокое потребление воды. Знания AI/MM включают законы физики и анатомии, основополагающие законы физиологии и эмпирические знания о физиологических процессах. Эти знания представлены в виде правил, образующих подробную причинно-следственную модель. Каждое правило содержит также описание принципа, на котором оно основано, и система использует эти описания для объяснения своей работы. AI/MM реализована на языке MRS. Она была разработана в Станфордском университете и доведена до уровня исследовательского прототипа. (Artificial Intelligence/ Mathematical Modeling system)





# AI/RHEUM

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: МЕДИЦИНА

AI/RHEUM помогает врачам диагностировать заболевания соединительной ткани в клинической ревматологии, применяя формальные диагностические критерии, заимствованные у экспертов-ревматологов. Система пользуется симптомами пациента и результатами лабораторных анализов для помощи в дифференциальной диагностике семи болезней, включая ревматоидный артрит, прогрессивный системный склероз и болезнь Шёгрена. AI/RHEUM — это основанная на правилах система, реализованная на языке EXPERT и применяющая для доступа к правилам прямую цепочку рассуждений. Она была разработана на медицинском факультете Университета штата Миссури и доведена до уровня исследовательского прототипа.



# WILLARD

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: МЕТЕОРОЛОГИЯ

WILLARD помогает метеорологам предсказывать вероятность сильных гроз в центральных районах США. Система запрашивает метеоролога о погодных условиях, имеющих отношение к прогнозируемой области, и затем выдает полный прогноз с соответствующими обоснованиями. Пользователь может задать, какой конкретный географический район система должна рассмотреть. Система характеризует вероятность сильной грозы следующими категориями: «нулевая», «весьма низкая», «низкая», «умеренная» или «высокая»; каждая категория получает свой диапазон числовых значений вероятности. Знания системы представлены в виде правил, формируемых автоматически на примерах экспертных прогнозов. Она реализована с использованием средства RULEMASTER индуктивного генератора правил. Система WILLARD разработана компанией Radian Corporation и достигла уровня демонстрационного прототипа.



# IMACS

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

IMACS помогает руководителям промышленного производства компьютерных систем в управлении делопроизводством, планировании объемов продукции, переучете товаров и в решении других задач, связанных с управлением производством. IMACS получает заказ клиента и разрабатывает приблизительный план производства, на основании которого эта система может оценить, какие ресурсы необходимы для выполнения заказа. Непосредственно перед изготовлением заказанной компьютерной системы IMACS составляет детализированный план ее производства и пользуется им для наблюдения за изготовлением этой системы. IMACS — это основанная на правилах система с прямой цепочкой рассуждений, организованная в виде набора сотрудничающих подсистем, основанных на знаниях. Она реализована на языке OPS5. Она была разработана корпорацией DEC и доведена до уровня опытной эксплуатации.



# ISIS

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

ISIS строит план выполнения промышленного заказа. Система выбирает последовательность операций, необходимых для выполнения заказа, определяет сроки его выполнения и выделяет ресурсы для каждой операции. Она может также действовать как разумный помощник, используя свой опыт, чтобы помочь заводским плановикам обеспечить непротиворечивость производственного плана и определить, какие решения привели к нарушению ограничений. Знания системы включают организационные цели, такие как запланированные сроки и затраты, физические ограничения, такие как возможности конкретных станков, а также причинные ограничения, например порядок, в котором должны выполняться технологические операции. ISIS использует основанное на фреймах представление знаний в сочетании с правилами разрешения конфликтов между ограничениями. Система реализована на языке SRL. Она была разработана в Университете Карнеги-Меллон и испытывалась на заводе по производству деталей турбин компании «Вестингауз Электрик Корпорейшн». Система достигла уровня исследовательского прототипа.



# PTRANS

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

PTRANS помогает управлять производством и распределением компьютерных систем компании DEC. Она использует описание заказа клиента и информацию о работе завода, чтобы разработать план сборки и тестирования заказанной компьютерной системы, в том числе определяет сроки ее изготовления. PTRANS наблюдает за тем, как персонал справляется с выполнением этого плана, диагностирует трудности, предлагает способы их преодоления и прогнозирует возможные тормозящие нехватки материалов или их излишки. PTRANS рассчитан на работу совместно с XSEL, помощником продавца, так что как только сделан заказ, можно гарантировать согласованную дату поставки. PTRANS — это основанная на правилах система с прямой цепочкой рассуждений, реализованная на языке OPS5. Она была разработана совместно компанией и Университетом Карнеги-Меллон и доведена до уровня исследовательского прототипа.



# PLANT/cd и PLANT/ds

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

PLANT/cd предсказывает потери зерна из-за черной совки. Система использует знания о состоянии конкретного поля по результатам обследования, при этом используются такие показатели, как количество попавших в ловушки бабочек, прополка поля, возрастной спектр личинок, состояние почвы, сорт зерновой культуры, чтобы предсказать размеры потерь из-за черной совки. Система использует комбинацию правил и набора программ, моделирующего размножение черной совки, для получения прогноза. Знания представляются в виде правил, выполнением которых управляет механизм обратной цепочки рассуждений. Система реализована на ADVISE. Она была разработана в Университете штата Иллинойс и доведена до уровня исследовательского прототипа.

PLANT/ds дает консультации по диагностике заболеваний сои, используя знания о симптомах заболеваний и об условиях произрастания. Система использует такую информацию, как месяц возникновения заболевания, температуру, рост растений, состояние листьев, стеблей и семян, чтобы решить, какое из примерно 15 заболеваний наиболее вероятно. Знания представлены в форме правил двух типов: 1) правила, представляющие в системе заключения диагностического характера, и 2) правила, взятые из программы автоматизированного индуктивного вывода, называемой AQ11. PLANT/ds реализована на ADVISE. Она разработана в Университете штата Иллинойс и доведена до стадии исследовательского прототипа.



# РОММЕ

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

РОММЕ оказывает помощь фермерам в уходе за яблоневыми садами, обеспечивая их рекомендациями по повышению урожая яблок. Система использует полученные от специалистов знания по патологии растений и энтомологии. Они касаются таких вопросов, как борьба с сельскохозяйственными вредителями и выздоровление яблонь после повреждений, вызванных плохой погодой. База знания включает в себя сведения о фунгицидах, инсектицидах, ущербе от заморозков и морозов, потерях от засухи. РОММЕ сочетает методы представления, основанные на правилах и на фреймах. Она реализована на языке Пролог и работает на ЭВМ VAX 11/780. Система была разработана в Политехническом институте (университете) штата Виргиния и доведена до уровня исследовательского прототипа.



# FALCON

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ

FALCON определяет вероятные причины отклонений параметров процесса от нормы на химическом заводе, интерпретируя данные, состоящие из числовых значений показаний приборов, положения переключателей и состояния аварийных датчиков. Система интерпретирует данные, используя знания о последствиях нарушения нормального режима работы данного аппарата или агрегата и о том, как нарушения на входе этого аппарата приводят к нарушениям на выходе. Знания представляются двумя способами: в виде набора правил, применение которых контролируется прямой цепочкой рассуждений, и в виде сети, воплощающей причинно-следственную модель процесса. Система реализована на языке Лисп и была разработана в Университете штата Делавэр. Она доведена до уровня демонстрационного прототипа.





# PDS

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ

PDS диагностирует причины неправильной работы механизмов, интерпретируя информацию, которая поступает от датчиков, регистрирующих параметры процесса. Система использует методы диагностики, связывающие показания датчиков с неправильным функционированием узлов механизма. В PDS применена основанная на правилах, с прямой цепочкой рассуждений схема представления знаний, реализованная на языке инженерии знаний SRL, построенном на фреймах. В результате получается парадигма представления знаний посредством сети логического вывода, подобная использованной в системе PROSPECTOR. Система разработана в Университете Карнеги-Меллон в сотрудничестве с компанией «Вестингауз Электрик Корпорейшн». На самом деле это скорее архитектура или средство построения экспертных систем диагностического типа, основывающихся на показаниях датчиков, чем настоящая экспертная система. (Portable Diagnostic System)



# ГАММА

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ФИЗИКА

ГАММА помогает ядерным физикам определять химический состав неизвестных материалов, интерпретируя спектры гамма-излучения, вызванного бомбардировкой материала нейтронами. Система выполняет анализ спектров, используя знания о характерных энергиях и интенсивностях излучения, испускаемого различными веществами. Знания применяются системой в рамках парадигмы «породить и проверить». Система разработана компанией Schlumberger-Doll Research и доведена до уровня исследовательского прототипа



# MECHO

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ФИЗИКА

MECHO решает задачи механики, такие как расчет системы блоков, определение момента инерции и задачи, в которых фигурируют расстояние, скорость и время. Получив задачу в виде текста на английском языке, MECHO строит базу знаний, содержащую факты, выводы и неизвестные значения, извлеченные из формулировки задачи. Она использует стратегию поиска, подобную примененной в программе GPS (General Problem Solver), чтобы породить систему уравнений и неравенств. Она передает эту систему алгебраическому блоку, который ее решает и выдает окончательный ответ. В MECHO применена основанная на правилах схема представления знаний. Система реализована на языке Пролог. Она разработана в Эдинбургском университете и доведена до уровня исследовательского прототипа.



# C-13

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ХИМИЯ

C-13 оказывает помощь химикам-органикам при определении структуры вновь выделенных природных соединений. C-13 помогает химику анализировать спектры ядерного магнитного резонанса углерода-13, используя поиск посредством уточнения ограничений для определения взаимного расположения атомов и связей в сложных органических молекулах. В базе знаний системы содержатся правила, связывающие характеристики подструктур (связей) со спектральными характеристиками (данными резонанса); они выведены автоматически по информации для известных молекулярных структур. C-13 была разработана как часть проекта DENDRAL и соответствует принятой в DENDRAL парадигме «порождение и проверка». Система реализована на языке Интерлисп. Она была разработана в Станфордском университете и доведена до стадии демонстрационного прототипа.



# CONGEN

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ХИМИЯ

CONGEN помогает специалистам по структурной химии определять наборы возможных структур неизвестных соединений. Химики предоставляют системе CONGEN спектрометрические и химические данные, перечень необходимых и запрещенных связей между атомами в соединении. CONGEN находит все возможные способы составления из атомов молекулярных структур, удовлетворяющих указанным ограничениям, и предоставляет в распоряжение специалиста-химика ряд структурных схем соединений, образующих исчерпывающий список таких структур-кандидатов. Система порождает структуры-кандидаты, используя разнообразные алгоритмы теории графов. CONGEN реализована на языке Интерлисп. Она была разработана в Станфордском университете как часть системы DENDRAL и используется в качестве генератора гипотез в системе Heuristic DENDRAL. CONGEN доведена до уровня исследовательского прототипа.



# CRYNALIS

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ХИМИЯ

CRYNALIS определяет трехмерную структуру белка по распределению плотности электронов (EDM). Система интерпретирует информацию по дифракции рентгеновских лучей, включающую информацию о положении и интенсивности рассеянных волн, и выводит атомную структуру. Система использует знания о составе белка и рентгеноструктурном анализе, а также эвристики, чтобы с помощью анализа EDM получать и проверять гипотезы относительно правдоподобных белковых структур. CRYNALIS использует архитектуру типа доски объявлений, содержащей независимые источники знаний для выдвижения и проверки многоуровневой структуры гипотез. Система написана на языке Лисп. Она была разработана в Станфордском университете и доведена до уровня исследовательского прототипа.



# DENDRAL

СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ХИМИЯ

DENDRAL выводит молекулярную структуру неизвестных соединений, исходя из данных масс-спектрометрии и ядерного магнитного резонанса. Система использует специальный алгоритм, разработанный Ледербергом, для систематического перечисления всех возможных молекулярных структур, а затем применяет знания по химии для сокращения этого списка до обозримого размера. Знания в DENDRAL представлены в виде процедур для генератора молекулярных структур и в виде правил для управляемой данными и оценивающей частей программы. Система реализована на языке Интерлисп и была разработана в Станфордском университете. Система DENDRAL доведена до уровня промышленного прототипа.



# АСЕ

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ЭЛЕКТРОНИКА

АСЕ определяет неисправности в телефонной сети и дает рекомендации по необходимому ремонту и восстановительным мероприятиям. Система работает без человеческого вмешательства, анализируя сводки-отчеты о состоянии, получаемые ежедневно с помощью CRAS, программы, следящей за ходом ремонтных работ в кабельной сети. АСЕ обнаруживает неисправные телефонные кабели и затем решает, нуждаются ли они в планово-предупредительном ремонте и выбирает, какой тип ремонтных работ вероятнее всего будет эффективным. Затем АСЕ запоминает свои рекомендации в специальной базе данных, к которой у пользователя есть доступ. Система принимает решения, применяя знания относительно телефонных станций, сообщения системы CRAS и стратегии анализа сетей. Представление знаний в системе основано на правилах; используется схема управления посредством прямой цепочки рассуждений. АСЕ реализована на OPS4 и FRANZ LISP и работает на микропроцессорах серии AT&T 3B-2, размещенных в подстанциях наблюдения состояния кабеля. Она разработана в Bell Laboratories.

АСЕ прошла опытную эксплуатацию и доведена до уровня коммерческой экспертной системы.





# BDS

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ЭЛЕКТРОНИКА

BDS оказывает помощь, при выявлении неисправных модулей в большой сети коммутации сигналов, которая называется baseband distribution subsystem. Эта система использует показания испытательной аппаратуры, чтобы обнаружить неисправные печатные платы или другие детали, смонтированные на шасси, из-за которых могла возникнуть неисправность. BDS основывает свой диагноз как на стратегиях эксперта-диагноста, так и на знаниях о структуре, функциях и причинных связях компонентов электронного устройства. BDS реализована на языке LES и использует представление знаний, основанное на правилах, и управление посредством обратной цепочки рассуждений. Она была разработана в Lockheed Palo Alto Research Laboratory и доведена до стадии исследовательского прототипа.



# CADHELP

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ЭЛЕКТРОНИКА

CADHELP моделирует эксперта, демонстрирующего работу графических компонент подсистемы автоматизированного проектирования (САПР) для проектирования цифровых логических схем. Она объясняет пользователю, как использовать подсистему САПР, приспособив свои объяснения к требованиям и нуждам пользователя. Она дает пояснения на английском языке в тех случаях, когда пользователь допускает ошибку или просит помочь, и генерирует текст объяснения на основе своей базы знаний в динамическом режиме, исходя из описаний различных режимов работы подсистемы САПР. По мере роста квалификации пользователя объяснения, приводимые CADHELP, становятся более краткими. Знания в системе организованы в виде совокупности сотрудничающих подсистем или «экспертов», управляемых программой-администратором более высокого уровня. Система реализована на FRANZ LISP и работает на DEC VAX11/780 с операционной системой UNIX. CADHELP была разработана в Университете штата Коннектикут и доведена до уровня исследовательского прототипа.



# AUDITOR

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ЮРИСПРУДЕНЦИЯ

AUDITOR помогает профессиональному аудитору оценить возможности клиента погасить задолженность. Система использует информацию о предыдущих платежах клиента, его экономическом положении, кредитовании и другие знания, чтобы определить, нужно ли держать в резерве деньги для покрытия задолженности. AUDITOR является основанной на правилах системой, реализованной на языке AL/X, производном от языка KAS. Она работает на версии AL/X, приспособленной для использования систем на языке Паскаль для микрокомпьютеров. Она была разработана в Университете штата Иллинойс в качестве диссертационной работы и доведена до уровня исследовательского прототипа.



# DSCAS

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ЮРИСПРУДЕНЦИЯ

DSCAS помогает анализировать юридические аспекты исков о возмещении дополнительных расходов, связанных с отличием физических условий на месте предполагаемого строительства от указанных в контракте. Такие иски основаны на гарантиях, содержащихся в контракте. Система обеспечивает инспектора на месте строительства юридическими знаниями, необходимыми для принятия решений по иску. Если DSCAS определяет, что есть основания не включать в смету запрошенные дополнительные расходы, то анализ останавливается и дается объяснение. DSCAS содержит модель процесса принятия решений, применяемого юристами при анализе подобных исков. Знания об этом представлены в виде правил с прямой цепочкой рассуждений. DSCAS реализована на языке ROSIE. Она была разработана в Университете штата Колорадо и доведена до уровня исследовательского прототипа.



# JUDITH

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ЮРИСПРУДЕНЦИЯ

JUDITH помогает юристам рассуждать о гражданских делах. Система просит юриста изложить все фактические и юридические предпосылки дела или действия. Затем она предлагает ему рассмотреть дополнительные предпосылки, пока все имеющие к делу отношение предпосылки не будут рассмотрены. База знаний системы состоит из предпосылок и исполнительных файлов, указывающих взаимоотношения, существующие между наборами предпосылок. JUDITH написана на Фортране. Она была разработана в Гейдельбергском и Дармштадтском университетах и является скорее инструментом ИИ для изучения юридических рассуждений, чем настоящей экспертной системой.



# LDS

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ: ЮРИСПРУДЕНЦИЯ

LDS помогает экспертам-юристам урегулировать иски о возмещении убытков и компенсациях за ущерб, связанный с выпуском дефектной продукции. Получив описание искового дела, система вычисляет вину ответчика, стоимость дела и размер компенсации, могущий удовлетворить обе стороны. Ее знания основаны и на формальных юридических принципах, и на неформальных правилах и стратегиях адвокатов обеих сторон. Система вычисляет стоимость дела, анализируя влияние следующих факторов: потери, т.е. общие и специальные убытки, связанные с ранением; виновность, т.е. вероятность установления вины ответчика; ответственность пострадавшего, т.е. доля вины, которая должна быть возложена на истца из-за его собственной небрежности; характеристики, т.е. субъективные соображения, такие как ловкость адвокатов и внешний вид тяжущихся сторон; и, наконец, контекст, т. е. соображения, основанные на стратегии, времени и типе иска. LDS — это основанная на правилах система, реализованная на языке ROSIE и разработанная корпорацией Рэнд. LDS доведена до уровня исследовательского прототипа. (Legal Decisionmaking System).



[http://www.arm-robotics.ru/hp/soft\\_3.asp?name=INTERNIST-I/CADUCEUS](http://www.arm-robotics.ru/hp/soft_3.asp?name=INTERNIST-I/CADUCEUS)

