УДК 004.891

Введение в динамические экспертные системы для оперативной диагностики состояния технологических объектов трубопроводных систем

Рассматривается технология построения диагностических экспертных систем реального времени для оценки состояния сложных технологических объектов. В качестве примера сложного объекта рассматривается трубопроводная система транспорта нефти.

А.А. Башлыков
Кандидат технических наук, главный инженер проектов ООО «Трансэнергострой», Москва

Ключевые слова / Keywords:

- интеллектуальная поддержка принятия решений, объект управления, экспертные диагностические системы, реальное время, диагностические модели, базы диагностических знаний, нештатная ситуация, интерфейс эксперта, интерфейс диспетчера, модель знаний, модель данных, оперативно-диспетчерский интерфейс, интеллектуальный интерфейс;
- intellectual support of decision-making, object of management, expert diagnostic system, real time, diagnostic models, diagnostic knowledge base, emergency situation, interface expert, dispatch interface, model of knowledge, model of the data, operative-dispatch interface, intelligent interface

Трубопроводные системы транспорта нефти (ТС ТН) являются сложной и экологически опасной технологией. Для современных ТС ТН как технологических объектов управления (ТОУ) характерны [1, 2, 3]:

- непрерывность технологических процессов перекачки нефти,
- территориальная распределённость объекта контроля и управления,
- иерархичность процессов контроля и управления,
- сложность технологической схемы транспорта нефти (большое количество регулирующей аппаратуры, запорной и другой арматуры, большое количество и разнообразие измеряемых величин – температур, давлений, уровней, перемещений, вращений, и т.д.),
- многосвязность и нестационарность ряда параметров состояния ТОУ,
- необходимость выполнения большого количества гидравлических и других расчётов,
- необходимость координации работы большого количества элементов и систем в режиме реального времени,
- высокие требования к безопасности и надежности работы и качеству контроля и управления,
- контроль и диагностика целостности всех элементов линейной части магистральных нефтепроводов (МН), обеспечивающих общую и экологическую безопасность эксплуатационного персонала и окружающей среды,
- быстрое отключение (остановка) как отдельных элементов, так и ТС ТН в целом при отклонениях от допустимых режимов работы в процессе пуска, останова или работы на заданном режиме,
- отключение ложных срабатываний аварийной защиты и развития незначительных отклонений от проектных режимов в аварийных ситуациях.

Все это накладывает на оперативный персонал большую ответственность в части распознавания и классификации аномальных (нештатных) состояний, их оперативной диагностики и своевременного принятия правильных решений.

Известно, что оперативный персонал оценивает ситуацию и принимает необходимые управляющие решения в соответствии с технологическим регламентом эксплуатации объекта и должностными инструкциями. Следует, однако, отметить, что в процессе управления человеку-оператору приходится решать такие задачи, возникновение которых нельзя предвидеть заранее, и они не отражены в регламенте. Кроме того, время, отпущенное на принятие решений, по мере увеличения пропускной способности МН в ТС ТН сокращается [4].

Исходя из этих особенностей ТС ТН как сложного динамического ТОУ со многими взаимосвязанными входными и выходными параметрами, а также учитывая ее высокую потенциальную опасность для обслуживающего персонала и окружающей среды, следует признать, что дальнейшее повышение эффективности ТС ТН тесно связано с совершенствованием автоматизированного управления и внедрением систем оперативной диагностики состояния технологического оборудования МН.

Разработанная технология ДИЭКС-РВ [5, 6] ориентирована на создание средств диагностической информационной поддержки человека-оператора и позволяет строить системы оперативной диагностики в составе действующих или вновь проектируемых СДКУ.

Техническим диагностированием называется процесс определения технического состояния объекта диагностирования с определенной точностью.

В дальнейшем, кроме специально оговорённых случаев, будем различать два состояния объекта: штатное и нештатное (аномальное). При этом, под нештатным понимается любое отклонение (допустимое, недопустимое, ложное) параметра, режима, распределения от штатного (предусмотренного регламентом). Одной из задач системы технического диагностирования и является определение факта нарушения и степени серьезности самого нарушения.

«Определённой точностью» рассматриваемой системы технического диагностирования будет определение времени, места, вида и первопричины возникшего нарушения. Общей называется система диагностирования, объектом которой является ТС ТН в целом.

При этом под *оперативным диагностированием* понимается диагностирование проводимое за время, позволяющее использовать его результаты при оперативном управлении. Оперативный контроль работы автономных систем регулирования и управления также невозможен без диагностирования (определения состояния).

Однако все возрастающая сложность технологических процессов на ТС ТН, интенсификация работы элементов конструкции нефтепровода, взаимосвязанность поведения параметров всех систем, необходимость повышения эффективности и безопасности эксплуатации приводят к тому, что в нестандартных ситуациях не только оптимальное, а зачастую просто рациональное управление магистральными нефтепроводами невозможно без создания общей системы технического диагностирования. Такая система должна охватывать все технологические компоненты ТС ТН в целом.

Это подтверждается и экспериментальными данными. Так, анализ работы диспетчеров – операторов показывает, что большая часть времени и их ошибок приходится на выполнение неформальных операций типа:

- анализа информации,
- опознания ситуации,
- проверки логических условий и т.п.,

а автоматизируются, как правило, простейшие формальные операции (например, сравнение с технологическими диагностическими уставками).

Таким образом, наблюдается явное несоответствие между сложностью управления современными ТС ТН, возможностями человека-оператора и степенью автоматизации контроля и управления. Устранение этого несоответствия и является тем резервом, который может позволить существенно повысить эффективность действующих ТС ТН.

Оценим в связи с рассмотренной статистикой, что может дать внедрение общей системы диагностирования в составе СДКУ.

На первом этапе эксплуатации, при работе системы оперативной диагностики в режиме «советчика» быстрая и точная идентификация отказа общей системой диагностирования позволит:

- сократить время локализации и восстановления отказавшего оборудования,
- сократить число ошибочных остановов нефтепровода операторами,
- устранить случаи не выяснения причины останова.

На втором этапе эксплуатации, при работе системы оперативной диагностики в режиме управления, наличие общей системы диагностирования позволит:

- сократить число ложных срабатываний автоматических защит,
- повысить надёжность работы регуляторов за счёт своевременной перенастройки и перехода при отказе на резерв.

Надежность эксплуатации нефтепроводов может повыситься также за счёт частичного прогнозирования ряда неисправностей на основе штатной системы измерений.

Технология ДИЭКС-РВ, рассматриваемая в настоящей статье, является новой информационной технологией построения динамических диагностических экспертных систем реального времени, основанных на знаниях.

Знания и данные как среда оценки нештатных состояний и оперативной диагностики технологических объектов трубопроводных систем

В рассматриваемом классе экспертных диагностических систем [5, 7] *знания* так же, как и *данные*, представляются в знаковой форме – в виде формул, текстов, файлов, информационных массивов и т.п. Поэтому можно сказать, что знания – это особым образом организованные абстрактные данные. Но это было бы слишком узкое понимание. А между тем, в диагностических системах знания являются основным объектом формирования, обработки и исследования. *База знаний*, наравне с *базой данных*, – необходимая составляющая программного комплекса системы диагностики. Программы, реализующие алгоритмы установления нештатного состояния технологии и поиска соответствующего данному состоянию диагноза, называются *решателями задач, основанными на знаниях*, а подраздел построения диагностических моделей, основанных на знаниях, связанный с построением диагностических систем, – *инженерией знаний*.

Основные особенности системы знаний, отличающие её от системы данных подробно изложены в [8]. Этот подход вполне применим и к системам диагностических знаний.

Внутренняя интерпретируемость, структурированность, связность, семантическая метрика и активность информационных единиц знаний (ИЕЗ) определяют ту грань, за которой данные превращаются в знания, а базы данных перерастают в *базы знаний* (БЗ). Совокупность средств, обеспечивающих работу с знаниями, образует *систему управления базами знаний* (СУБЗ) [9].

Архитектура экспертных систем диагностики

Существует множество определений экспертных систем диагностики (ЭСД). С функциональной точки зрения под ЭСД понимается вычислительная система, которая использует знание специалистов о некоторой конкретной узкоспециализированной предметной области и которая в пределах этой области способна принимать решения на уровне эксперта-профессионала.

Будем считать, что ЭСД рассматриваемого типа должна обладать следующими основными свойствами:

- компетентностью (принятые ею решения должны быть такого же высокого уровня, как и у эксперта-человека),
- способностью к рассуждению на основе символьных преобразований,
- способностью использовать как общие, так и частные схемы рассуждения (машинного поиска решений – диагнозов),
- способностью решать трудные задачи из сложных реальных, предметных областей,
- способностью к переформулированию запросов и задач,
- способностью к метарассуждениям, т.е. к рассуждениям о собственной работе и структуре.

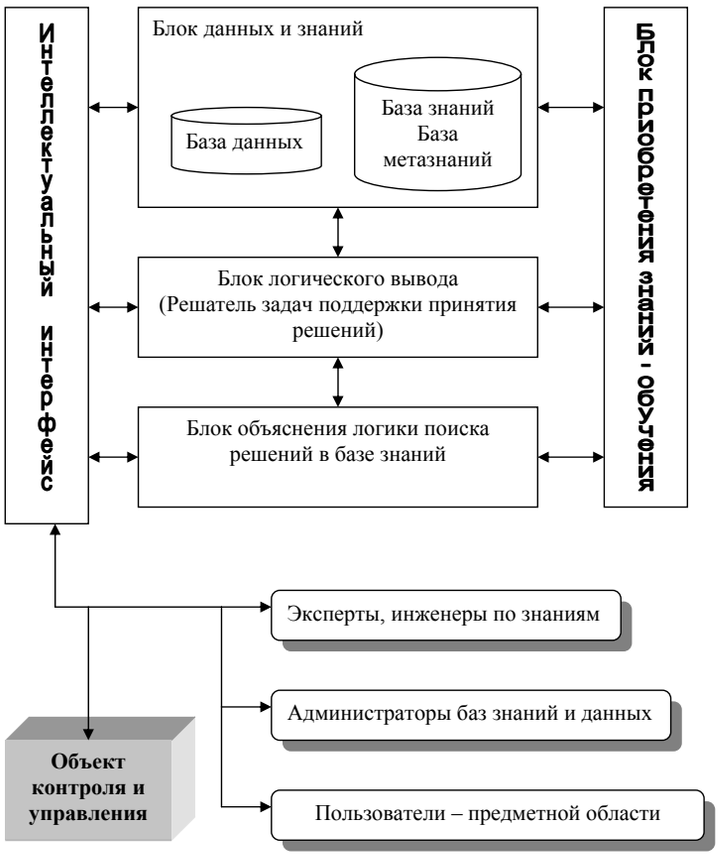

рисунок 1.
Архитектура экспертной системы диагностирования

Эти свойства характеризуют ЭСД как некоторый класс систем искусственного интеллекта (ИИ), в составе которых обязательно наличие базы знаний и некоторой «рассуждающей» системы – блока логического вывода (решателя задач). ЭСД имеют и существенные отличия от других решающих систем ИИ, что связано, прежде всего, с наличием в составе ЭСД систем приобретения знаний и систем объяснения логики поиска решения задачи диагностики. Архитектура ЭСД представлена на **рисунке 1**.

ЭСД должна содержать пять основных компонент: базу знаний, подсистему поиска решений, подсистему объяснений логики поиска решений, подсистему приобретения знаний, интеллектуальный интерфейс общения. Взаимодействие с ЭСД осуществляется через подсистему взаимодействия с пользователем (интеллектуальный интерфейс общения (ИИО)) и объектом диагностики. Общение с пользователем ведётся или на проблемно-ориентированном языке непроцедурного типа (узко ограниченном варианте естественного языка), или путем указания правильных ответов на вопросы системы из предлагаемого списка возможных вариантов ответа. В последнем случае инициатором диалога всегда выступает ЭСД. Описание задачи – проблема – поступает в подсистему поиска решений, который, используя информацию из базы знаний (БЗ), генерирует рекомендации по решению проблемы. С помощью подсистемы объяснения решения (ПОР) происходит отображение промежуточных и окончательных решений заданной проблемы, пояснение пользователю действий системы. Функция подсистемы приобретения знаний (ППЗ) состоит в поддержке процесса извлечения знаний о соответствующей проблемной области и их проверке на непротиворечивость с имеющимися в БЗ.

Пользователь – специалист предметной области, для которого предназначена система, обычно его квалификация недостаточно высока, и поэтому он нуждается в помощи и поддержке своей деятельности со стороны ЭСД.

Инженер по знаниям – специалист по искусственному интеллекту, выступающий в роли промежуточного буфера между экспертом и базой знаний. Синонимы: *когнитолог, инженер-интерпретатор, аналитик*.

Интерфейс пользователя – комплекс программ, реализующих диалог пользователя с ЭСД как на стадии ввода информации, так и получения результатов.

База знаний (БЗ) – ядро ЭСД, совокупность знаний предметной области, записанная на машинный носитель в форме, понятной эксперту и пользователю (обычно на некотором языке, приближённом к естественному). Параллельно такому «человеческому» представлению существует БЗ во внутреннем «машинном» представлении.

Решатель – программа, моделирующая ход рассуждений эксперта на основании знаний, имеющихся в БЗ. Синонимы: дедуктивная машина, блок логического вывода.

Подсистема объяснений – программа, позволяющая пользователю получить ответы на вопросы: «Как была получена та или иная рекомендация?» и «Почему система приняла такое решение?». Ответ на вопрос «как» – это трассировка всего процесса получения решения с указанием использованных фрагментов БЗ, т.е. всех шагов цепи умозаключений. Ответ на вопрос «почему» – ссылка на умозаключение, непосредственно предшествовавшее полученному решению, т.е. отход на один шаг назад.

Интеллектуальный редактор БЗ – программа, представляющая инженеру по знаниям возможность создавать БЗ в диалоговом режиме. Включает в себя систему вложенных меню, шаблонов языка представления знаний, подсказок («help» – режим) и других сервисных средств, облегчающих работу с базой.

В коллектив разработчиков ЭСД входят как минимум четыре человека:

- эксперт,
- инженер по знаниям,
- программист,
- пользователь.

Возглавляет коллектив инженер по знаниям, это ключевая фигура при разработке систем, основанных на знаниях.

Принципы декомпозиции трубопроводных систем на объекты диагностики

Основная идея построения системы оперативного диагностирования состояния такого сложного технологического объекта контроля и управления как МН основана на возможности его декомпозиции на отдельные технологические компоненты (системы, подсистемы и т.п.), которые, в свою очередь, можно разделить на отдельные типы технологического оборудования.

Основная цель декомпозиции – разделение технологического объекта контроля и управления на части, имеющие меньшую сложность, с целью обеспече-

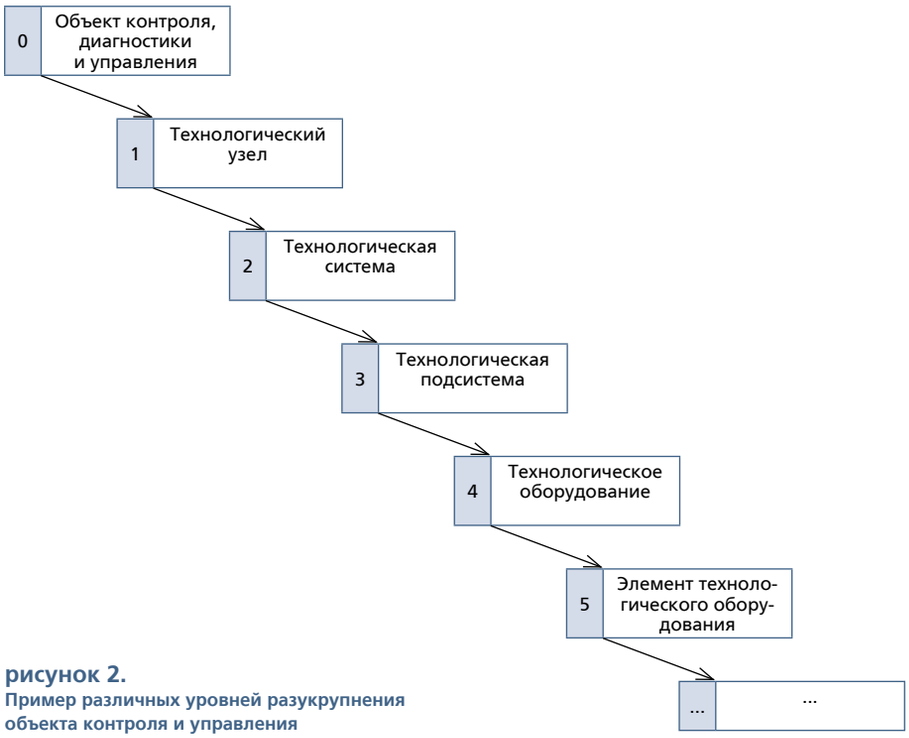

рисунок 2.
Пример различных уровней разукрупнения объекта контроля и управления

ния условий для анализа аномальных ситуаций и диагностирования состояния этих частей.

Первой проблемой декомпозиции технологического объекта контроля и управления является разделение его на компоненты с меньшим числом элементов, связей, переменных величин. Обычно объект разделяют на компоненты, которые поддаются какой-либо классификации (по функциям управления, по иерархии управления). Необходимо учитывать естественную декомпозицию, которая находит свое выражение в существующей структуре управления, обязанностях должностных лиц, действующей документации.

Второй проблемой является декомпозиция критерия, т.е. нахождения критериев оценки аномальных ситуаций, критериев функционирования компонент. Необходимость этого обусловлена тем, что критерий эффективности всей системы является слишком общим.

Третьей проблемой декомпозиции является диагностическая оценка действия каждой компоненты, определение степени отклонения состояния компоненты от режимного.

Четвертой проблемой является агрегатирование компонент.

Пятая проблема – выбор стратегии диагностической оценки функционирования каждой из компонент.

Как показано на **рисунке 2** весь объект контроля и управления может раз-

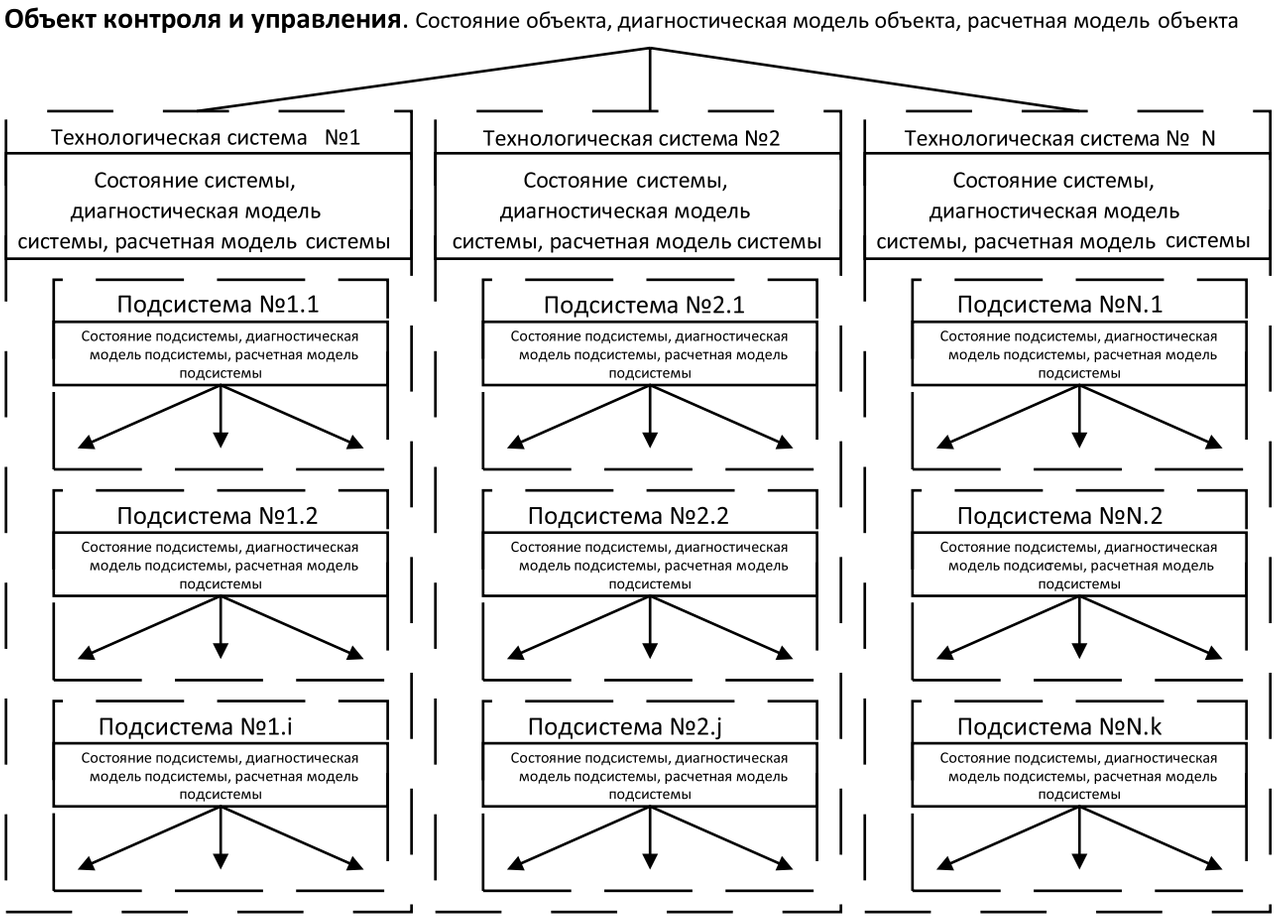

рисунок 3.
Иерархия технологических компонент объекта контроля и управления

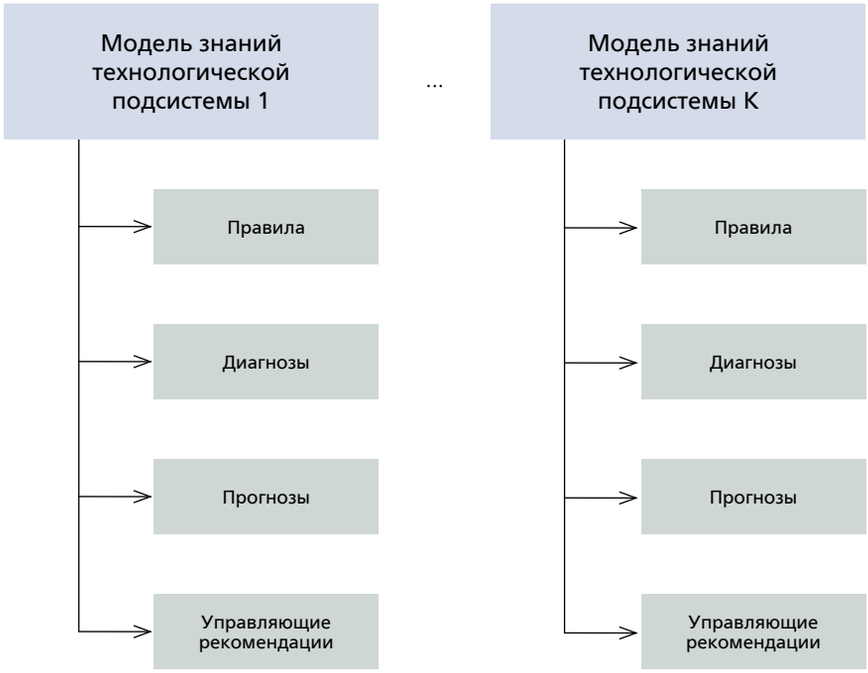

рисунок 4.
Структура моделей диагностических знаний

деляться на технологические установки, системы, которые в свою очередь разбиваются на подсистемы и т.д. Кроме того, система должна поддерживать введение дополнительных уровней разукрупнения.

Каждый из уровней разукрупнения может содержать в себе любые уровни лежащие ниже или имеющие тот же порядковый номер. Это свойство используется при диагностировании всей системы в целом.

Каждый из уровней должен включать в себя как минимум один из следующих элементов:

- диагностическая модель в виде правил,
- прогнозная модель в виде правил,
- текстовая модель в виде диагнозов, прогнозов, управляющих рекомендаций (управляющих действий),
- состояние контролируемой технологии (штатное, нештатное и т.п.),

а также обязательно должен иметь показатель приоритета, который используется при расчете коррелирующих между собой элементов, лежащих на одном уровне разукрупнения.

Пример такой декомпозиции представлен на **рисунке 3**.

Основным принципом декомпозиции в ЭСД ДИЭКС-РВ является принцип «сверху-вниз». Примененный принцип декомпозиции «сверху-вниз» предполагает выделение следующих компонент:

- технологический узел (НПС, линейная часть),
- технологические системы,
- технологическое оборудование и ...

Принципы построения динамических баз диагностических знаний

База диагностических знаний представляет структурированный в соответствии с проведенной декомпозицией набор моделей диагностических знаний [7]. Структура моделей диагностических знаний, как элементов базы знаний представлена на **рисунке 4**.

Особенностью диагностических моделей знаний является то, что первым слоем обработки данных штатной системы измерений всегда является проверка правильности работы датчиков и только после неё производится работа по диагностике состояния конкретного объекта диагностики. Другими словами в системе проводится диагностирование состояния штатной системы измерений.

Средства построения моделей и баз диагностических знаний

Модели диагностических знаний, представляют описание методов диагностирования работоспособности конкретных технологических объектов. Базы знаний объединяют модели диагностических знаний в рамках конкретного технологического узла и предназначены для реализации диагностической составляющей СДКУ: для диагностики текущей ситуации и технологического оборудования объекта, для поддержки принятия управляющих решений при управлении технологическим объектом.

Знания в БЗ представляются в виде продукционных правил.

Логическая структура диагностической базы знаний

Сложный технологический объект, как показано выше, разбивается на совокупность функционально-законченных технологических систем (подсистем) или иных структур, для каждой, из которой составляется своя база знаний.

Такой подход позволяет распараллелить обработку знаний, что особенно важно в системах реального времени.

Каждая база знаний состоит в свою очередь из трех частей:

- символьных моделей диагностических, расчетных и прогнозных знаний,
- двоичных (оттранслированных) моделей диагностических, расчетных и прогнозных знаний, используемых для работы в реальном времени,
- моделей знаний результатов диагностирования, расчёта и прогноза, содержащих текстовые наборы диагнозов, прогнозов и управляющих рекомендаций для всех диагностируемых технологических объектов.

Понятие символьной базы диагностических знаний

Для задания и хранения знаний в рассматриваемой системе заложен формализм продукционной модели знаний. Иначе говоря, знания хранятся в виде выражения:

ЕСЛИ <условие> ТО <действие №1> ИНАЧЕ <действие № К>.

На выбор этой модели представления повлияли следующие причины:

- естественная простота записи,
- простота и наглядность в понимании,
- специфика задачи – унифицируемость данной модели очевидна – с её помощью можно описать достаточно широкий круг задач, в частности, функционально-логические взаимосвязи между отдельными частями промышленного объекта,
- гибкость и структурируемость правил, их информационная ёмкость,
- возможность иерархической организации баз знаний, что особенно важно при описании технологических объектов, структуру которых можно было бы формализовать в терминах иерархии,
- возможность прямого и обратного вывода на данной модели,

• возможность трассирования работы механизма вывода.

Рассмотрим более подробно составные части продукционного правила. Продукционное правило записывается в виде выражения:

ЕСЛИ <условие> ТО <действие № 1>,ИНАЧЕ <действие № К>,

где: условие – некоторое логическое выражение, которое может принимать одно из значений ЛОЖЬ или ИСТИНА. Условие может быть достаточно сложным, внутри него могут применяться такие логические операции как: «И», «ИЛИ» и «НЕ», что позволяет создавать правила достаточной сложности.

Действие – набор операций, которые должны быть выполнены в случае выполнения или невыполнения условия.

В данной системе формально продукция записывается в следующем виде:

«Номер» ЕСЛИ «Условие» ТО «Действие1» «Действие2».

«Номер» или «Метка узла» – служит для придания каждому правилу, входящему в базу диагностических знаний, уникального адреса (идентификатора). Цель такой адресации – обеспечить механизму вывода возможность условных и безусловных переходов от одного правила к другому в процессе вывода.

Дело в том, что в отличие от классического механизма вывода, где идёт обычный перебор правил до первого, у которого условие истинно, и выбор правила, вообще говоря, недетерминирован, в системе и при выполнении и при невыполнении условной части правила должно быть определено действие, которое должен предпринять механизм вывода. Одним из таких действий может быть безусловный переход на проверку одного из правил базы знаний. Этот переход и обеспечивается тем уникальным адресом, каковым и является «номер» правила. Обеспечение способности перехода, возможно, не является «врождённым» свойством продукционной модели представления знаний, однако, «вживление» данного свойства было продиктовано исходя из жёстких временных ограничений на поиск решения в базе знаний. Заложена возможность досрочного окончания работы с базой знаний.

«Условие» – есть правильно построенная формула, суть которой составляют атомы, соединённые между собой логическими операциями конъюнкции, дизъюнкции и отрицания.

Атомы – есть простые логические выражения, значения которых также могут принимать только значения: ИСТИНА или ЛОЖЬ. Основой атома служит идентификатор датчика, взятого из соответствующей базы данных. Каждый датчик, в зависимости от типа, имеет свои нормальные (допустимые) значения. К примеру, аналоговые – предельные верхнюю и нижнюю диагностические уставки, дискретные – штатные для технологического режима состояния. Так вот, атом как раз, в большинстве случаев, есть выражение сравнения текущего значения датчика с допустимым.

«Действие1» – действие, выполняемое механизмом вывода, если не выполнено «Условие», т.е. «Условие»==ЛОЖЬ.

«Действие2» – действие, выполняемое механизмом вывода, если выполнено «Условие», т.е. «Условие»==ИСТИНА.

Продукционные правила имеют следующий вид:

ЕСЛИ (расход насоса упал **&** давление на напоре насоса увеличилось **&** задвижка на напоре насоса закрыта),

ТО (закрытие задвижки на напоре работающего насоса),

ИНАЧЕ (насос в исправном состоянии).

Принцип множественности методов решения задач диагностики, основанный на знаниях

Множество методов решения диагностических задач, используемых в диагностической экспертной системе ДИЭКС-РВ, классифицируется следующим образом:

• методы поиска в одном пространстве, предназначенные для работы в малых областях, статических областях, при полноте заложенной в ЭСД модели, при полных и точных данных,

• методы поиска в иерархических пространствах, предназначенные для работы в больших статических областях,

• методы поиска при неточных и неполных данных,

• методы поиска в динамической проблемной области, предназначенные для работы с областями, изменяемыми во времени и (или) в пространстве,

• методы поиска, использующие несколько моделей, предназначенные для работы с областями, для описания которых одной модели недостаточно.

ДИЭКС-технология **[5, 6, 7, 9]** предполагает применение методов поиска решений (установление диагнозов), представленных на **рисунке 5**.

Метод поиска решения является одной из наиболее «вербальных» характеристик ЭС, т.к. его организация существенно зависит от многих особенностей проблемной среды.

Базовыми в настоящее время являются две стратегии поиска решений: «сверху-вниз» (от целей к посылкам) или «снизу-вверх» (от посылок к цели). В то же время, реально в ЭС обнаруживаются едва ли не все стратегии эвристического поиска и решения задач, разработанные в теории искусственного интеллекта.

Гипотетический довод (генерация гипотез) относится к методам решения, при которых для облегчения выбора может быть сделано одно или несколько вспомогательных предположений.

Важным методом формирования заключений, который можно найти во многих ЭСД является возможность генерации правил или деревьев решений индуктивно из примеров. Люди-эксперты часто способны сформулировать свои экспертные оценки в форме примеров гораздо лучше, нежели в виде правил. Следовательно, методы индуктивного обучения зачастую являются идеальными методами накопления знаний с целью быстрого формирования прототипа, где примеры могут быть просто выражены в форме заключения, связанного с простым нахождением атрибутов. Процесс получения индуктивного вывода обычно начинается с одного из входных параметров, для которых ищется дерево, характеризующееся минимальным числом решений, требуемых для получения заключения. Это «дерево минимальной глубины» находится путем циклического просмотра всех параметров как возможных начальных узлов и при этом используется определенный алгоритм для выбора

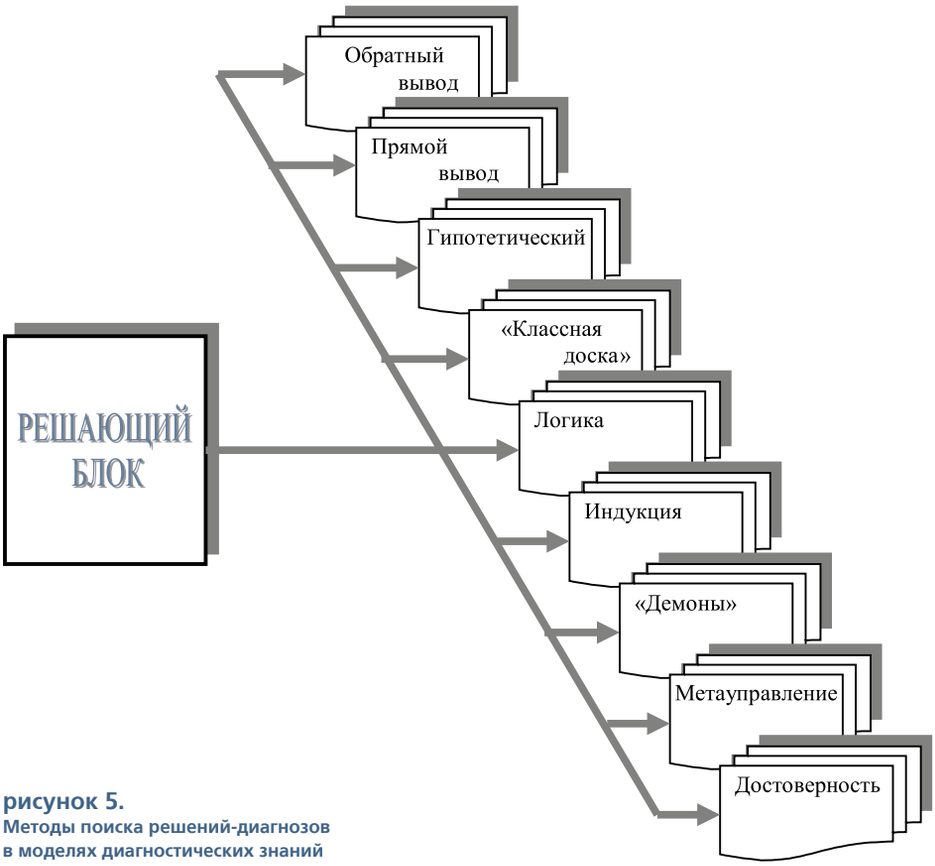

рисунок 5.
Методы поиска решений-диагнозов в моделях диагностических знаний

порядка, в котором должны просматриваться параметры для оставшихся узлов и для определения того, какие из параметров являются излишними.

Многие ЭСД допускают использование «демонов», которые управляют локальными значениями и исполняют процедуры, когда появляются условия, соответствующие этим демонам.

Многие ЭСД обеспечивают выбор стратегий принятия решений или процедур поиска. Такое управление называют мета-управлением. Одной из форм метауправления является использование управляющих блоков, которые представляют собой общие процедуры, позволяющие системе определить те действия, которые необходимо выполнить в данной ситуации с целью сокращения поиска, обеспечивая размещение большого числа правил в комбинаторно ограниченном пространстве поиска.

Метод «классной доски» используется в классе кооперативных ЭСД, которые обмениваются распределенной информацией на общей структуре данных, называемой «классная доска». Механизм задания плана решения может быть использован для облегчения управления решением, разрабатываемым на «классной доске».

В ЭСД логика в общем случае относится к методу доказательства теорем, включающему унификацию **[8]**. Унификация – подстановки переменных, выполняемые таким образом, чтобы сделать два элемента попарно идентичными. Общими логическими реализациями являются варианты языка логического программирования PROLOG **[8]**, который использует относительно исчерпывающий метод поиск с единичной глубиной погружения.

Поскольку достоверность данных, правил и процедур обычно менее 100%, то большинство систем включают возможности управления и обработки достоверности. Они имеют разнообразные методы объединения недостоверных правил и информации для определения достоверного значения для результата. Наиболее общим методом является объединение коэффициентов уверенности; этот метод представляет собой некоторую производную от метода, использованного в ЭС MYCIN **[8]**. Используются также нечеткие логические и вероятностные схемы.

Рассмотренная в статье технология ДИЭКС позволяет строить динамические экспертные системы диагностики состояния основного оборудования ТС ТН, работающие в режиме реального масштаба времени.

Технология ДИЭКС может быть использована в любой SCADA системе, применяемой в современных СДКУ.

1. Мазур И.И., Иванцов О.М. Безопасность трубопроводных систем. М.: ИЦ «Елима», 2004. – 1104 с.

2. Технические средства диагностирования: Справочник/ Под ред. В.В. Клюева. – М: Машиностроение, 1989.- 672 с.

3. Кутуков С.Е. Оперативная диагностика осложнений при эксплуатации участка МНП./ Материалы Всероссийской научн.-техн. Конф. «Новоселовские чтения» – Уфа: УГНТУ, 1998. – с. 12 – 13.

4. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания: Справочник / Под общ. ред. А.И. Губинского, В.Г. Евграфова. – М.: Машиностроение, 1993. – 528 с.

5. Башлыков А.А., Жаров И.В. ДИЭКС-РВ экспертная система оперативной диагностики состояния основного технологического оборудования ТЭС и АЭС. Труды международной научно-технической конференции «Новые информационные и управляющие системы АЭС: аспекты безопасности». Харьков. Труды ХИКА. 2005, с. 46 – 50.

6. Башлыков А.А. Принципы построения средств интеллектуальной поддержки принятия решений диспетчером ТДП в ЕСУ ТС ВСТО. – М: Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. ВНИОЭНГ. № 11/2009, стр. 18 – 29.

7. Башлыков А.А. Системы управления базами знаний. – М: Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. ВНИОЭНГ. № 2/2010, с. 33 – 39.

8. Искусственный интеллект. – В 3-х книгах. Книга 2. Модели и методы: Справочник./ Под ред. Д.А. Поспелова. М.: Радио и связь, 1990, 304 с.

9. Башлыков А.А., Гвишиани В.А., Бритков В.Б., Вязилов Е.Д. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды. – М., издательство «Эдиториал УРСС,2001, 303 с.