

УДК 004.896

О.Е. ФЕДОРОВИЧ<sup>1</sup>, В.П. ПРОХОРОВ<sup>2</sup>, А.В. ПРОХОРОВ<sup>1</sup>, К.В. ГОЛОВАНЬ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

<sup>2</sup>ООО "ИНТЕЛЛА", Украина

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ПРИНЯТИЯ И ИСПОЛНЕНИЯ РЕШЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ

Разработана интеллектуальная система поддержки принятия и исполнения решений, расширяющая функции SCADA-систем и предоставляющая диспетчеру возможности по взаимодействию с системой на естественном языке. Система позволяет производить автоматическую диагностику ситуаций с выдачей рекомендаций или непосредственно управляющих воздействий на контроллерное оборудование, а также позволяет эффективно решать различные логико-аналитические задачи.

**экспертные системы, системы поддержки принятия решений, имитационное моделирование, SCADA-системы, модели представления знаний, механизм логического вывода, исчисление предикатов, функциональная знаниеориентированная модель**

### Введение

Необходимость в совершенствовании и развитии технологий принятия решений в автоматизированных системах управления предприятием и технологическими процессами обуславливается непрерывным возрастанием сложности управляемых объектов и процессов с одновременным сокращением времени, отводимого лицам управленческого персонала на анализ проблемной ситуации, идентификацию возникшего отклонения от нормального (штатного) режима функционирования, поиск возможных корректирующих решений по воздействию на объект, прогнозирование ситуаций, оценку последствий принимаемых решений и, наконец, выдачу команд (решений, распоряжений) на отработку необходимых управляющих воздействий. Этот процесс требует длительного времени и высокой квалификации специалистов в исследуемой предметной области (экспертов) для того, чтобы точно и объективно оценить обстановку. При таком значительном объеме информации, одновременно поступающей к менеджеру или оператору для анализа и принятия управленческого решения, зачастую могут возникать ошибки.

Анализ мирового опыта показывает, что при совершенствовании бизнес-процессов и автоматизации

процесса принятия решений наиболее перспективным является использование информационных систем, основанных на знаниях, формализуемых в рамках технологии искусственного интеллекта и опыте высококвалифицированных специалистов, накапливаемом в базах знаний экспертных систем. Применение современных технологий SCADA [1] стало основой для разработки интеллектуальных систем, которые призваны повысить качество и оперативность принятия решений, расширить аналитические возможности, отслеживать тенденции развития процессов, в ясных для пользователя понятиях интерпретировать собранные параметры технологического процесса и др.

Авторами предлагается интеллектуальная система поддержки принятия и исполнения решений (СППИР), которая расширяет функции SCADA-систем и предоставляет диспетчеру возможности взаимодействия с системой на естественном языке в вопросно-ответном режиме, автоматической диагностики ситуаций с выдачей рекомендаций или непосредственно управляющих воздействий на контроллерное оборудование, эффективного решения различных логико-аналитических задач (анализа ситуаций, диагностики, выработки решений, контроля и оценивания вариантов решений и др.).

## 1. Перспективные исследования и опыт интеграции интеллектуальных технологий в SCADA

Технологии искусственного интеллекта кроме экспертных систем включают в себя искусственные нейронные сети [2], нечеткую (fuzzy) логику, которые также находят свое применение при разработке средств управления и контроля технологических процессов. Нечеткая логика добилась определенных успехов в нескольких направлениях: программных средствах, контроллерах и интегральных схемах. Объектно-ориентированный пакет fuzzy Tech (Inform Software Corp.) интегрирует функции нечеткой логики со стандартным PLC и с популярными программными средствами управления процессами типа Citect (Ci Technologies) и InTouch (Wonderware) [3]. Наиболее подходящими для применения нейронных сетей являются технологические процессы с сильной нелинейностью и сложным регулированием.

В нескольких областях искусственного интеллекта, в частности, в сфере экспертных систем, работает компания Gensym Corp. (Кембридж, Массачусетс). Методы построения экспертных систем используются в главном продукте этой компании – G2, представляющем собой графический объектно-ориентированный пакет для создания интеллектуальных систем, предназначенных для работы в реальном масштабе времени [3].

Компания Comdale Technologies (Canada) является разработчиком программных продуктов COMDALE/C, COMDALE/X и ProcessVision. COMDALE/C – экспертная система реального времени, предназначенная для наблюдения и контроля над процессами в условиях производства. COMDALE/C позволяет вырабатывать рекомендации, заключения об управляющих воздействиях в непрерывном процессе принятия решения. Она обрабатывает неопределенные знания и данные и имеет открытую архитектуру. Кроме того, она имеет объектно-ориен-

тированную конфигурацию и интерфейсы с системами передачи данных, такими как PLCs и устройствами ввода-вывода. COMDALE/X – консультационная экспертная система, которая работает в режиме реального времени. Для принятия решения система организует диалог с пользователем. ProcessVision – пакет программ для управления процессами в реальном времени базируется на открытой и модульной архитектуре. ProcessVision содержит графический интерфейс оператора; объектно-ориентированный дисплей, выполняет проверку правильности показаний датчиков и поддерживает связь с неограниченным количеством производственной контрольно-измерительной аппаратуры в одной глобальной среде.

В работе [4] разработана система поддержки принятия решений для оказания помощи в электрической диагностике, оценке и планировании ремонтов в случае выхода из строя обслуживающих устройств. Система включает в себя как компонент диагностики, так и легко настраиваемую среду интеграции со SCADA, используя стандартный формат данных, такой как коммерческие базы данных (SQL Server, Oracle, SyBase и т.д.) или стандартный набор драйверов доступа (OLEDB, ODBC и т.д.).

Один из подходов к интеграции экспертных систем со SCADA описан в статье [5], где рассматривается методика, позволяющая обеспечить распределенное выполнение различных модулей экспертной системы на автоматизированных рабочих местах параллельно с установленными исполнительными модулями SCADA.

Многие производители средств заводской автоматизации и технологического контроля разрабатывают для своих управляющих систем внутренние компоненты на базе интеллектуальных технологий. Данный подход преследует еще и дополнительную цель: сделать методы искусственного интеллекта доступными для конечного пользователя (специалистов производства) путём их полной интеграции с общими средствами контроля.

Проведенный анализ показал, что наиболее широкое применение интеллектуальных технологий в SCADA приходится на область нейронных сетей и нечетких регуляторов для решения задач автоматического управления технологическими объектами. Многие же приложения экспертных систем, используемых в промышленности, либо не являются интеллектуальными (не используют методы представления и манипулирования знаниями), либо выполняются с жесткой привязкой к предметной области и невозможностью пополнения базы знаний в процессе эксплуатации системы.

Кроме того, были выявлены не достаточно рассмотренные вопросы:

- интеллектуализация интерфейса оператора со SCADA (дополнение имеющейся цифровой и цветовой информации на мнемосхемах удобным и легко воспринимаемым человеком вопросно-ответным режимом на естественном языке или средствами когнитивной графики);

- автоматическая генерация отдельных фрагментов базы знаний на основе имеющейся структуры тэгов проекта автоматизации, а также анализ и извлечение знаний из реальных и исторических данных SCADA с использованием методов Data Mining;

- полноценное использование всех технологий интеграции с приложениями предоставляемыми SCADA;

- предоставление оператору эффективных инструментов для решения логико-аналитических задач по оценке, диагностике, выработке решений и управляющих воздействий на контроллерное оборудование;

- отсутствие поддержки исполнения решений (автоматизированной оценки ситуации, прогнозирования ее развития, выбора решения выхода из сложившейся ситуации, информационного сопровождения по всем шагам выбранного алгоритма действий).

Развитие и широкое распространение интеллектуальных систем обусловило потребность в совер-

шенствовании методологии их создания и разработки инструментальных средств автоматизированного проектирования. Основными проблемами современных технологий разработки интеллектуальных систем являются:

- несмотря на обилие программных средств, недостаток систем поддержки разработки интеллектуальных систем (зависимость от языка реализации, ограничений предметной области);

- разрыв между языками представления знаний и языками, встроенными в оболочки экспертных систем;

- необходимость интерпретации предметных знаний пользователем непосредственно в терминах выбранного формализма представления;

- жесткость программных средств, их низкая адаптивность, отсутствие индивидуальной настройки на пользователя и предметную область.

## **2. Концепция системы поддержки принятия и исполнения решений**

Таким образом, актуальной задачей при построении автоматизированных систем управления производством является перенос функций управляющих и диспетчеров по анализу данных, прогнозированию ситуаций и принятию соответствующих решений на компоненты интеллектуальных СППИР. Концепция СППИР включает целый ряд средств, объединенных общей целью, – способствовать принятию и реализации рациональных и эффективных управленческих решений. СППИР – это диалоговая автоматизированная система, выступающая в качестве интеллектуального посредника, поддерживающего естественно-языковой интерфейс пользователя со SCADA, использующая правила принятия решений и соответствующие модели с базами знаний. Она организует удобный диалог SCADA-системы с пользователем, "ведет" его по этапам анализа информации, распознавания и прогнозирования ситуаций, анализирует параметры бизнес-процесса или

технологического процесса, помогает выбрать наилучшие решения в зависимости от возникшей ситуации, реализует их путем выдачи рекомендаций или управляющих воздействий, корректируя тем самым ход процесса и оптимизируя его параметры по заданному критерию.

В настоящее время наблюдается расширение функций SCADA от системы диспетчерского контроля и управления технологическими процессами до более дорогостоящего программного продукта – системы управления предприятием с учетом финансового анализа, что согласуется с последними тенденциями на рынке промышленной автоматизации (интеграцией корпоративных функций) и выражается в появлении соответствующих исполнительных модулей (MES/EAM системы). При этом также возрастает эффект от использования СППИР, интеллектуальные функции по принятию и исполнению решений которой распространяются на все уровни автоматизированной системы управления предприятием.

На рис. 1 представлена обобщенная структурная схема СППИР.

В общем случае состав комплекса подсистем СППИР включает:

- подсистему сбора, обработки, хранения и отображения информации;
- подсистему поддержки принятия решений;
- подсистему приобретения и моделирования знаний;
- подсистему оценивания важности и рисков (опасности);
- подсистему планирования и оптимизации выполнения комплексов работ (по техническому обслуживанию, ремонту, проектов модернизации и развития);
- подсистему имитационного моделирования процессов функционирования и управления.

Гибкая открытая структура интеллектуальная система поддержки принятия и исполнения решений

позволяет расширять функциональные возможности системы и круг задач, решаемых в процессе ее эксплуатации, а также постоянно повышает точность анализа, прогнозирования, планирования, организации, координации и контроля принимаемых решений за счет использования накапливаемого в базе знаний опыта. Наличие достаточно полных моделей знаний в конкретной предметной области и постоянный контроль тенденции изменения параметров объекта управления обеспечивает диагностику и прогноз его поведения с высокой степенью достоверности и заданной точности. Существенным отличием предлагаемого подхода является то, что СППИР содержит универсальные программные средства, способные перенастраивать систему на другие объекты управления без изменения ядра программ.

Основными компонентами подсистемы принятия решений являются база знаний и модуль логического вывода. Метод представления знаний – логическое исчисление предикатов первого порядка. В основе создания моделей знаний лежит специальный внутренний язык описания экспертных знаний. При формировании базы знаний элементы правила, входящие в условие, связываются в конструкции любой степени сложности с использованием логических операций, скобочных выражений и т.д.

Механизм логического вывода – модифицированный метод резолюций для исчисления предикатов. Подсистема принятия решений обеспечивает: реализацию дедуктивного механизма логического вывода при различных стратегиях сокращения перебора; диалоговое взаимодействие и формирование ответов на поставленные вопросы на естественном языке; поддержку алгоритмов и сценариев действий по ситуациям; формирование цепочки событий, фактов, критериев и правил объяснения предлагаемых решений и др.

База знаний структурирована по уровням семантических и прагматических знаний (рис. 2).

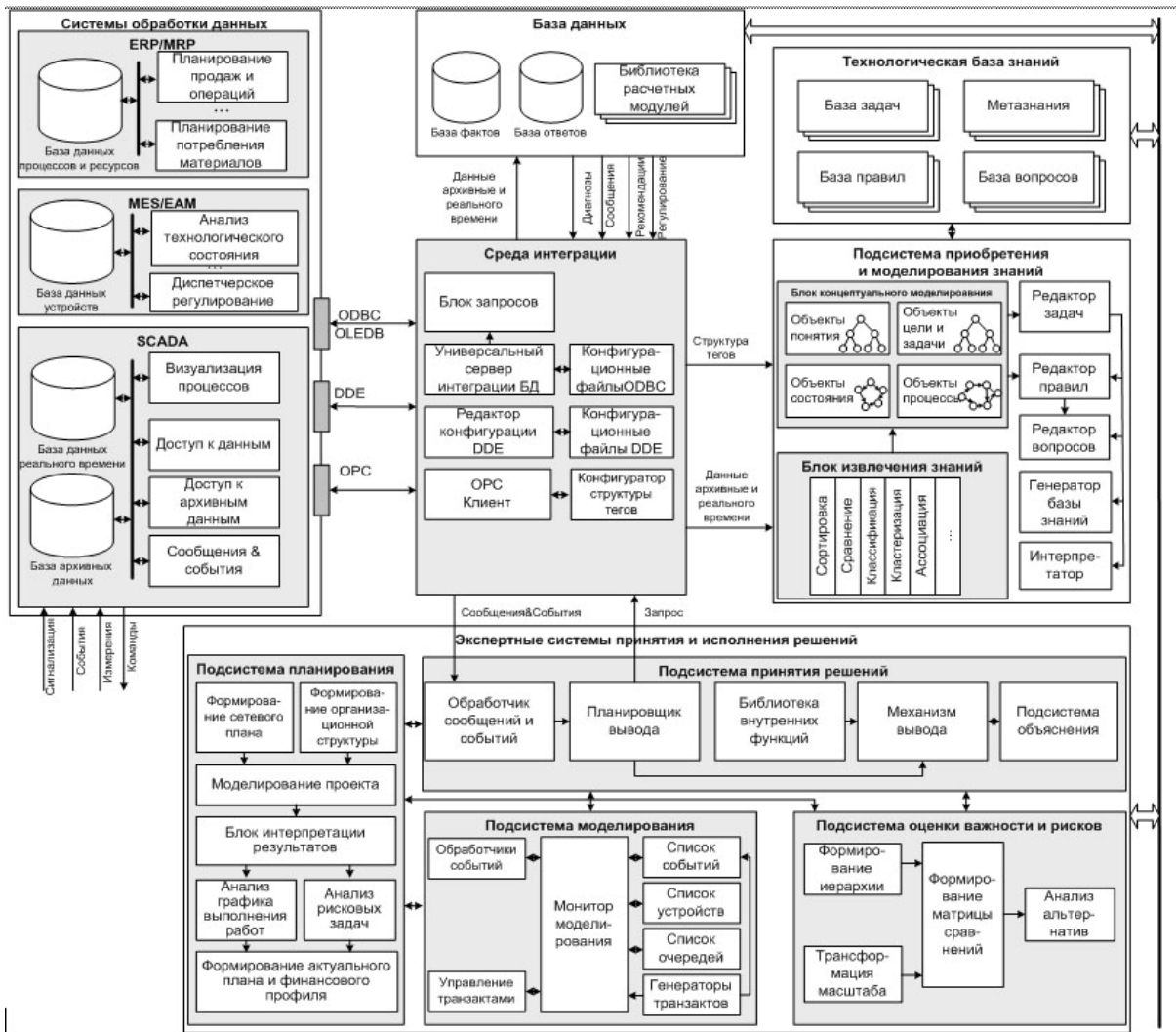


Рис. 1. Структурная схема СППИР

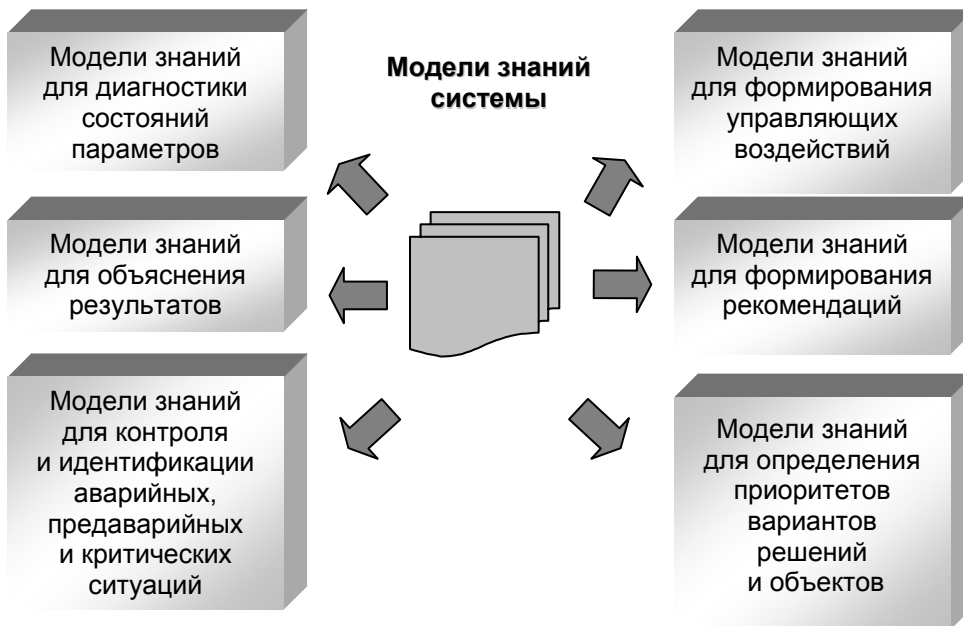


Рис. 2. Некоторые компоненты базы знаний процессов управления

Используя текущие или промежуточные исходные данные (факты) и знания из базы знаний, формируется последовательность правил, которые, будучи применены к исходным данным (фактам), полученным от SCADA-системы, приводят к решению конкретной задачи диагностики, прогнозирования и корректировки параметров производственного процесса.

Одной из ключевых особенностей предлагаемого подхода является наличие специальной подсистемы приобретения и моделирования знаний, которая используется для визуального проектирования описаний основных понятий предметной области и отношений между ними (концептуальной модели).

Основными отличительными особенностями подсистемы, которые существенно облегчают процесс разработки концептуальной модели, являются:

1. Используя технологию OPC, в системе организуется доступ к структуре и данным проекта в SCADA (узлы, каналы, тэги, идентификаторы). На основании этого автоматически формируются соответствующие предикатные описания в базе знаний. Затем эти предикаты с указанными идентификаторами переменных используются в построении остальных правил базы знаний.

2. Разработана технология интеллектуальных функциональных моделей анализа, обработки и приобретения знаний, в основу которой положены базовые принципы методологии KADS (Knowledge Acquisition and Documentation Structuring) [6]. Модели позволяют пользователю визуально описать процесс решения задачи с помощью интеллектуальных элементов – типовых функциональных блоков, основанных на базовых источниках знаний KADS и настраиваемым поведением (рис. 3). Все элементы оформлены в виде открытой (расширяемой) библиотеки и включают следующие основные блоки: назначить значение; вычислить значение (аналитически); вычислить значение (логически); сравнить;

специфицировать; абстрагировать; классифицировать по правилам; классифицировать методом кластеризации; оценить методом регрессии; искать в базе фактов. Для задания сложных алгоритмов поведения функциональных блоков могут быть подключены внешние модули пользователей в виде динамических dll библиотек. Поведение типовых интеллектуальных элементов может быть задано тремя различными способами:

– статическое (задается непосредственно в редакторе поведения), например, логические правила, описывающие поведение блоков «вычислить логически» или «классифицировать по правилам»;

– динамическое (поступает с выхода предыдущего блока), например, на вход блока «вычислить аналитически» может поступать аналитическое выражение с блока «оценить методом регрессии»;

– статическое скрытое (пользовательские модули в виде динамических dll библиотек).

Особенностью предлагаемых моделей является не только возможность рационально формализовать решение некоторой задачи, но также и активность самой модели за счет постоянного взаимодействия интеллектуальных функциональных блоков между собой в процессе вывода решений в экспертной системе.

3. Введен модуль, использующий технологию Data Mining, который осуществляет анализ данных реального времени и исторических данных SCADA. В результате этого анализа, в основу которого положен метод деревьев решений, получают правила, отражающие найденные закономерности и ассоциации в данных. Оператор имеет возможность занести эти правила в базу знаний после того, как система переведет их в предикатную форму.

4. Генератор базы знаний совместно с интерпретатором модели знаний в модель данных позволяет автоматически формировать отдельные фрагменты моделей знаний на основе концептуальных моделей предметной области.

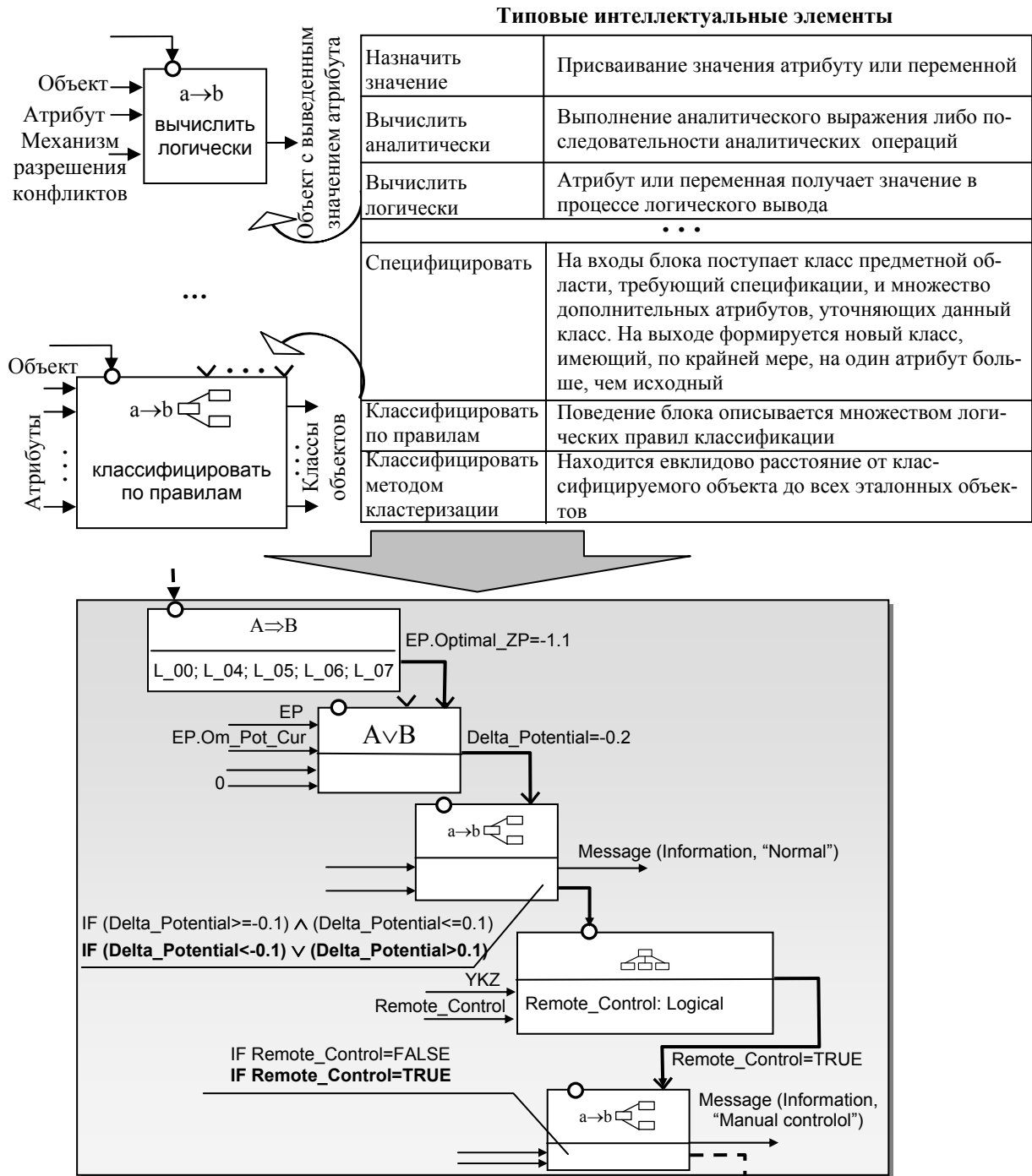


Рис. 3. Фрагмент функциональной модели анализа, обработки и приобретения знаний

5. Результат логического вывода может быть использован как описание понятий промежуточного уровня в концептуальной модели предметной области, что предоставляет возможность для организации многоуровневого вывода.

Подсистема оценивания важности и рисков (опасности) объектов предназначена для формирования классов сравниваемых объектов, определения состава

значимых свойств для сравнительной оценки объектов между собой и определения векторов важности свойств и важности (приоритета) сравниваемых объектов. Подсистема принятия решений взаимодействует с подсистемой оценивания важности, когда необходимо осуществлять многокритериальный выбор наиболее эффективных на данный момент вариантов решений, определять приоритеты элементов.

Подсистема имитационного моделирования динамики процессов функционирования и управления обеспечивает реализацию следующих функций: автоматизированное построение имитационной модели бизнес-процессов, исключающее промежуточные фазы генерации кода и компиляции; объектно-ориентированное моделирование с возможностью «интеллектуальной» настройки параметров и поведения типовых элементов модели и др.

Динамические процессы в имитационных моделях существуют в виде взаимодействия ряда составляющих, которыми являются заявки, устройства, очереди, события. Необходимая настройка осуществляется путем наследования определенных структурных свойств, признаков и поведения. Многоуровневая модель с любой степенью детализации формируется путем задания вложенных моделей. В имитационную модель также включаются сигналы управления, предназначенные для обеспечения возможности внешнего управления логикой работы отдельных структурных элементов. Специальный диспетчер обеспечивает управление всеми функциональными модулями блока, а также взаимодействует с подсистемой принятия решений и оценивания важности.

Присутствие в блоках имитационной модели логических правил позволяет описывать поведение типового блока в различных ситуациях и дает возможность адаптировать модель на конкретные условия и исследуемый объект. Взаимодействие с подсистемой принятия решений при этом заключается в отправке запроса на проведение логического вывода, а полученный результат интерпретируется как решение о выборе направления дальнейшего хода моделирования.

Подсистема планирования и оптимизации выполнения комплексов работ обеспечивает реализацию следующих функций: определение комплекса работ и формирование сетевого графика; формирование организационной структуры и состава испол-

нителей работ; имитационное моделирование сетевого графика с учетом параллельно выполняющихся работ и проектов, а также ограниченности ресурсов (исполнителей, технических средств, финансов); детальный анализ план-графика выполнения работ; формирование фактического профиля финансирования; анализ рисков работ. Подсистема планирования взаимодействует с подсистемой имитационного моделирования для динамического анализа комплекса работ и формирования альтернативных вариантов его реализации.

Связующим звеном для СППИР и SCADA является специальная среда интеграции. Среда позволяет связаться со SCADA с использованием технологий ODBC/OLEDB, DDE, OPC. Для связи по ODBC/OLEDB используется специальный модуль Universal Database Integration Server, который использует конфигурационные файлы для доступа к реальным и историческим данным SCADA. К данным SCADA можно получить доступ по DDE, для чего также используется конфигурационный файл, по которому осуществляется автоматическое построение DDE-клиента СППИР. Для доступа по технологии OPC в составе СППИР имеется OPC-клиент.

### **3. Реализация и преимущества системы поддержки принятия и исполнения решений**

Одним из основных режимов диалогового взаимодействия пользователей с системой управления является режим поддержки принятия и исполнения решений при выработке диагноза и общих рекомендаций. СППИР, встроенная в SCADA по технологии ActiveX, осуществляет взаимодействие с ней через среду интеграции, возможности которой были описаны выше.

СППИР используется для поддержки принятия решений ряда конкретных задач диагностики, мониторинга, управления и т.д. Для каждой из задач раз-



рабатываются соответствующие модели знаний, которые отражают закономерности, нормативную базу и опыт решения данных задач.

Использование СППИР осуществляется в нескольких режимах: корректировки и отладки базы знаний; автоматическом; вопросно-ответном (диалоговом); алгоритма действий; объяснения результатов; просмотра архивов отчетов и сообщений. В вопросно-ответном режиме оператор может получить ответ на естественном языке на любые заданные системе вопросы из предлагаемого списка по каждой из задач. В диалоговом режиме могут быть получены диагнозы, сформированы рекомендации, выданы экстренные сообщения. В автоматическом режиме логический вывод запускается автоматически с заданным периодом по выбранным пользователем вопросам (запросам), формируя таким образом отчет.

Поддержка исполнения решений СППИР реализована в режиме алгоритма действий, в котором система, в зависимости от возникшей ситуации, (например, нештатной) предлагает пользователю алгоритм соответствующих действий, «ведет» его по этапам реализации, осуществляя необходимую информационную и интеллектуальную поддержку решений, заключающуюся в оперативной выдаче необходимой информации и запуске расчетных и логико-аналитических задач. Фактически СППИР синтезирует алгоритм решения задачи в каждой конкретной ситуации на основе анализа реальных данных.

Кроме того, СППИР имеет режим объяснения, в котором выдается исчерпывающая информация о причинах получения данного ответа: фактов и правил, которые были задействованы в процессе логического вывода.

Главным преимуществом СППИР является ее открытость, которая обеспечивает быструю настройку, адаптацию и модификацию системы к новым условиям применения и задачам.

Таким образом, предлагаемая концепция предполагает не просто создание обособленной экспертной системы обработки технологических данных, а полноценную интеграцию интеллектуальной СППИР со SCADA-системами, что существенно расширяет их возможности, позволяет получить новый эффект от использования и удовлетворить возрастающие запросы разработчиков систем управления.

Эффект от внедрения заключается в повышении эффективности работы лиц, принимающих решения, путем повышения качества, достоверности и сокращения сроков выработки и принятия решений за счет использования накопленного опыта, адаптации к условиям применения и эксплуатации, учета полноты значимых факторов и оптимизации поиска решений.

В настоящее время СППИР внедрена и эксплуатируется в дочерней компании «Укртрансгаз» НАК «Нафтогаз Украины» в составе автоматизированной системы электрохимической защиты магистральных трубопроводов. Внедрение СППИР уже на данном этапе позволило достичь эффективности в решении важных задач мониторинга, диагностики и прогнозирования коррозионного состояния газопроводов с целью повышения их эксплуатационной надежности.

Опытная эксплуатация СППИР показала:

- достоверность выработки решений, за счет полноты учитываемых значимых факторов и оптимизации поиска решений;
- существенное расширение функциональных возможностей SCADA по решению трудноформализуемых задач логико-аналитического характера;
- возможность получения экономического эффекта (за счет сокращения времени на выработку и принятие решений, а также повышения качества принимаемых решений);
- возможность быстрой адаптации к условиям применения и эксплуатации;

– социальный эффект (за счет создания интеллектуального интерфейса пользователя с SCADA на естественном языке).

### Заклучение

В работе предложен подход, который основан на интеллектуальных информационных технологиях и позволяет существенно расширить возможности SCADA-систем. Существенным отличием предлагаемого нового направления является "интеллектуализация" SCADA-системы путем ее интеграции с интеллектуальной системой поддержки принятия и исполнения решений. Она организует удобный диалог системы с пользователем на естественном языке, обеспечивает решение задач анализа, диагностики, оценивания и распознавания ситуаций, прогнозирование развития событий, формирование рекомендаций и советов, помогает выбрать наилучшие решения в зависимости от возникшей ситуации, сопровождает этапы реализации решений. Реализованная как ActiveX-компонент СППИР может встраиваться в любой проект автоматизации, а гибкая открытая архитектура системы обеспечивает быструю настройку, адаптацию и модификацию к новым задачам и условиям эксплуатации в различных предметных областях. Примененный подход позволяет не просто создать обособленную экспертную систему обработки данных технологического процесса, а интегрировать компоненты интеллектуального анализа и логического вывода в любую существующую или проектируемую систему управления.

Эффект от внедрения подобной системы заключается в повышении эффективности работы менеджеров, диспетчеров и других специалистов производства путем повышения качества, достоверности

и сокращения сроков выработки и принятия решений за счет использования накопленного опыта, адаптации к условиям применения и эксплуатации, учета полноты значимых факторов и оптимизации поиска решений.

### Литература

1. Ткачук Н.В., Шеховцов В.А., Кукленко Д.В., Сокол В.Е. Архитектуры, модели и технологии программного обеспечения информационно-управляющих систем. – Х.: НТУ «ХПИ», 2005. – 546 с.
2. Kezunovic M., Rikalo I., Fromen C.W., Sevcik D.R. An Advanced Hybrid Solution for Automated Substation Monitoring Using Neural Nets and Expert System Techniques // Stockholm Power Technology Conference. – Stockholm, Sweden, June 1995.
3. Hangos K.M., Lakner R., Gerzson M. Intelligent control systems. An introduction with examples. – Dordrecht, Kluwer, 2001. – XVI. – 301 p.
4. Moore M., Monemi S., Wang J., Marble J., Jones S. Diagnostics and Integration in Electric Utilities // IEEE Rural Electric Power Conference. – Louisville, 2000. – P. C2-1 – C2-10.
5. Bernard J.P., Durocher D. An expert system for fault diagnosis integrated in existing SCADA systems // IEEE Transactions on Power Systems. – Vol. 9, Issue 1, 1994. – P. 548-554.
6. Schreiber G. Knowledge Engineering and Management: The Common KADS Methodology. Boston: MIT Press, 2000.

*Поступила в редакцию 5.06.2007*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Э.Г. Петров, Харьковский национальный университет радиотехники, Харьков.