

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ (05.13.00)

УДК 007:519.816

DOI: 10.24160/1993-6982-2018-1-72-85

Методы и программные средства конструирования интеллектуальных систем поддержки принятия решений для объектов энергетики

А.А. Башлыков, А.П. Еремеев

Рассмотрены вопросы конструирования перспективных интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени (ИСППР РВ), предназначенных для поддержки оперативно-диспетчерского персонала при диагностике, мониторинге и управлении сложными технологическими объектами типа объектов энергетики. Описана базовая технология конструирования ИСППР РВ, включающая ряд основных этапов. Дан обзор и сравнительный анализ SCADA-систем как инструментальных средств проектирования информационных и интеллектуальных систем реального времени. Особое внимание уделено SCADA-системам, использующим методы обработки и представления информации, основанные на знаниях, и называемым интеллектуальными SCADA-системами. В качестве инструментальной среды для создания ИСППР РВ предложено использовать данные SCADA-системы. Отмечены особенности, которые оказываются существенными при реализации ИСППР РВ типа систем поддержки оператора. Выбор SCADA-системы представляет собой достаточно трудную задачу, требующую принятия решений в условиях многокритериальности и невозможности количественной оценки ряда критериев из-за недостатка информации или их качественного характера.

Представлено описание интеллектуальной SCADA-системы СПРИНТ-РВ, создаваемой в ООО «ТАСМО-БИТ» совместно с кафедрой прикладной математики Национального исследовательского университета «МЭИ» как инструментального комплекса, включающего набор средств, позволяющих описать предметную область управления (на примере энергоблока атомной электростанции), и оперативного комплекса — набора средств, позволяющих реализовать функции интеллектуальной поддержки принятия управляющих решений оперативным персоналом в нестандартных ситуациях и контролировать состояние управляемого объекта в стационарных и переходных режимах функционирования. Рассмотрены назначение и реализация ряда основных базовых компонентов СПРИНТ-РВ.

Ключевые слова: сложный технологический объект, мониторинг и управление, поддержка принятия решений, реальное время, искусственный интеллект, SCADA-система, система поддержки принятия решений.

Для цитирования: Башлыков А.А., Еремеев А.П. Методы и программные средства конструирования интеллектуальных систем поддержки принятия решений для объектов энергетики // Вестник МЭИ. 2018. № 1. С. 72—85. DOI: 10.24160/1993-6982-2018-1-72-85.

Methods and Software Tools for Designing Intelligent Decision Support Systems for Power Facilities

A.A. Bashlykov, A.P. Eremeev

The article discusses matters concerned with designing advanced intelligent real-time decision support systems (RT IDSS) serving for providing support to operating and dispatching personnel in performing diagnostics, monitoring and control of complex process systems such as power industry facilities. The basic technology for designing an RT IDSS, which involves a number of key stages, is described. An overview and comparative analysis of SCADA-systems as tools for designing real-time information and intelligent systems are presented. Special attention is paid to SCADA-systems that use knowledge-based information processing and presenting methods (so-called intelligent SCADA-systems). These SCADA-systems are proposed to be used as instrumental environment for constructing an RT IDSS. The specific features that are of importance in implementing an RT IDSS for operator support purposes are pointed out. It is noted that the proper choice of a SCADA-system is quite a difficult problem that requires decision making under the conditions of multiple criteria with some of them being not amenable to quantitative assessment due to lack of information, or because they are qualitative in nature.

The intelligent SPRINT-RV SCADA-system developed at ООО TASMO-BIT in cooperation with the Moscow Power Engineering Institute National Research University's Department of Applied Mathematics is described. This system is developed as a set of tools enabling one to describe a subject field of control (for example, a nuclear power plant's power unit) and a set of operational facilities for implementing the

functions of providing intelligent support to the operational staff in making control decisions in off-design situations and in monitoring the state of a controlled plant in stationary and transient modes of its operation. The purpose and implementation of a number of the SPRINT-RV system's key components are considered.

Key words: complex process facility, monitoring and control, decision support, real time, artificial intelligence, SCADA-system, decision support system.

For citation: Bashlykov A.A., Ereemeev A.P. Methods and Software Tools for Designing Intelligent Decision Support Systems for Power Facilities. MPEI Vestnik. 2018;1:72—85. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2018-1-72-85.

Разработка интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени (ИСППР РВ) для поддержки оперативно-диспетчерского персонала на объектах энергетики (интеллектуальных систем поддержки операторов (СПО)) — сложный, трудоемкий процесс [1 — 11]. По оценкам специалистов он может занимать от нескольких месяцев до нескольких лет. В литературе по разработке интеллектуальных (экспертных) систем реального времени [9, 11, 12] отмечена сложившаяся технология их конструирования, включающая этапы:

- идентификации — определения задач, подлежащих решению, формирования коллектива разработчиков, которому предстоит решать эти задачи, и определения категории пользователей;
- концептуализации — проведения содержательного анализа предметной области, выявления, уточнения и конкретизации основных понятий и их взаимосвязей;
- формализации — определения способов представления знаний, основных понятий и отношений (связей) между ними и выбора инструментальных средств для реализации;
- реализации — программирования компонентов системы, конструирования прототипа интеллектуальной системы и формирования баз данных (БД) и знаний (БЗ);
- тестирования и отладки — проверки правильности работы созданной системы, эффективности применяемых стратегий поиска решений, выявления дополнительной информации (метазнаний), которая может повысить качество получаемого решения и взаимодействия с пользователем;
- опытной эксплуатации — взаимодействия с конечными пользователями, когда дается заключение о пригодности созданной системы (прототипа) для решения поставленных задач.

При такой многоэтапности и сложности процесса особую роль играют инструментальные средства. Рассмотрим средства типа SCADA-систем и разработанной под руководством авторов интеллектуальной системы СПРИНТ-РВ, предназначенной для конструирования современных ИСППР РВ типа СПО.

SCADA-системы – как инструментальные средства проектирования информационных и интеллектуальных систем реального времени

На рынке инструментальных систем для мониторинга и управления процессами в реальном времени

широко применяются программные продукты, объединенные названием SCADA-системы (Supervisory Control And Data Acquisition — диспетчерское управление и сбор данных) [13 — 19]. Их можно разделить на две группы по признаку использования методов искусственного интеллекта для решения задач поддержки принятия решений оператором (ЛПП) сложного технологического объекта, такого как энергоблок тепловой или атомной электростанции (ТЭС, АЭС). В первую группу входят SCADA-системы, реализующие традиционные функции мониторинга и управления процессами ведения БД реального времени, выполнения расчетов, графического представления данных и параметров в виде мнемосхем, графиков, диаграмм и т.д., предупредительной сигнализации, архивирования информации, генерирования отчетов. Их типичными представителями являются InTouch (Wonderware, США), Citect (CI Technology, Австралия), FIX (Intellution, США), Genesis (Iconics Co, США), FactoryLink (US Data, США), WinCC (Siemens, ФРГ) [16, 17].

Вторую группу составляют SCADA-системы, использующие методы обработки и представления информации, основанные на знаниях, и называемые интеллектуальными SCADA-системами [11, 19]. В их функции входит интеллектуальная информационная поддержка ЛПП (оператора-диспетчера) при управлении процессами на сложных технологических объектах, в том числе: ситуационный анализ состояния объекта контроля и управления; оперативный поиск действий оператора при возникновении аномальных и критических ситуаций; диагностика состояния технологического оборудования и технологического процесса; логический анализ событий и аномальных ситуаций; прогноз развития аномального (нештатного) процесса во времени; защита от несанкционированных технологическим регламентом действий ЛПП; ведение БД и БЗ реального времени; ведение гипертекстовых баз эксплуатационных и регламентных знаний; представление информации для оценки ситуаций и принятия управляющих решений. Типичными представителями такого класса систем являются G2 (Gensum, США) [12], СПРИНТ-РВ (Россия) [19], включающие в себя как инструментальные средства проектирования и тестирования моделей предметной области, так и средства ИСППР РВ.

Системы первой и второй группы могут дополнять друг друга и применяться совместно. Однако, если си-

стемы первого типа — это базис современных систем управления, то системы, основанные на знаниях, используются не так часто. Это объясняется многими факторами, из которых отметим два основных. Во-первых, технология создания систем, основанных на знаниях, недостаточно формализована и требует привлечения высококвалифицированных специалистов по инженерии знаний и дорогостоящих экспертов, что, в конечном счете, приводит к значительным финансовым и временным затратам. Поэтому системы этого класса создаются только тогда, когда их применение сулит весомые экономические выгоды. Во-вторых, в системах типа СПО модель знаний и БЗ не являются изначально полными и должны быть готовы к пополнению и адаптации, что не всегда позволяет включать такие системы в состав основных средств мониторинга и управления технологическим объектом. Они используются как информационно-консультирующие средства.

Для преодоления отмеченных трудностей традиционные функции (методы) мониторинга/управления и функции (методы) искусственного интеллекта должны реализовываться на базе единой высокоавтоматизированной технологии. Подобную интегрированную технологию поддерживает система СПРИНТ-РВ.

Анализ инструментальных средств показывает, что для удовлетворения требованиям РВ необходимы определенные операционные системы. Следует отметить ряд других особенностей, которые оказываются существенными при реализации ИСППР РВ типа СПО.

Переносимость. Зачастую на начальных этапах разработки неизвестно окончательное аппаратное окружение, в котором будет работать система, и разработка начинается на том аппаратном обеспечении, которое имеется в распоряжении. Это означает, что при разработке СПО нежелательна жесткая привязка к конкретному аппаратному обеспечению.

Интерфейс этапа разработки. Инструментальные средства должны обеспечивать возможность для процесса разработки (отладчики и средства для удобной организации и визуализации и БЗ).

Интерфейс этапа выполнения. Как правило, СПО встраивается в какие-либо уже существующие системы, например, в АСУ ТП. Следовательно, она нуждается в гибком интерфейсе с другим программным обеспечением (ПО), который должен быть двунаправленным по своей природе, способным вызывать функции, написанные на других языках (для чего должна быть хорошо организована передача параметров), а также интегрировать СПО в более комплексную систему.

Открытость инструментария. Создаваемые СПО могут ориентироваться на сильно различающиеся предметные области, в связи с чем необходимо учитывать возможную модификацию инструментария.

Сопровождение и технический уровень. При выборе инструментария разработчик должен быть уверен, что он поддерживает тот технический уровень,

который требуется для приложения, способного развиваться.

Выбор SCADA-системы представляет собой достаточно трудную задачу, требующую принятия решений в условиях многокритериальности и усложненную невозможностью количественной оценки ряда критериев из-за недостатка информации или их качественного характера. Подготовка специалистов по разработке и эксплуатации систем управления на базе программного обеспечения SCADA осуществляется на специализированных семинарах различных фирм и курсах повышения квалификации. В настоящее время в учебные планы ряда технических университетов, включая НИУ «МЭИ», введены дисциплины, связанные с изучением SCADA-систем.

Многие проекты автоматизированных систем управления технологическими процессами, основанные на SCADA-системах, позволяют выделить обобщенную схему их реализации (рис. 1). Как правило, это двухуровневые системы и специфика конкретной системы определяется используемой на каждом уровне программно-аппаратной платформой.



Рис. 1. Обобщенная схема АСУ ТП на основе SCADA-систем

Нижний уровень (контроллерный) — уровень объекта, включающий различные датчики для сбора информации о ходе технологического процесса, электроприводы и исполнительные механизмы для регулирующих и управляющих воздействий. Датчики поставляют информацию локальным программируемым логическим контроллерам (PLC — Programming Logical Controller), выполняющим функции сбора и обработки информации о параметрах технологического процесса, управления электроприводами и другими исполнительными механизмами, решения задач автоматического управления и др.

К аппаратно-программным средствам PLC предъявляются жесткие требования по надежности, времени

реакции на исполнительные устройства, датчики и т.д. Они должны гарантированно откликаться на внешние события, поступающие от объекта, за требуемое время. Для критичных с этой точки зрения объектов рекомендуется использовать PLC с операционными системами РВ (ОС РВ). Разработка, отладка и исполнение программ PLC осуществляется с помощью специализированного ПО, достаточно широко представленного на рынке. К данному классу относятся пакеты типа ISaGRAF (CJ International, Франция), InConrol (Wonderware, США), Paradym 31 (Intellution, США), имеющие открытую архитектуру [16].

Информация с PLC может направляться в сеть диспетчерского пункта как непосредственно, так и через контроллеры верхнего уровня. В зависимости от поставленной задачи контроллеры верхнего уровня (концентраторы, интеллектуальные или коммуникационные контроллеры) реализуют функции сбора данных с локальных контроллеров обработки данных (включая масштабирование), поддержки единого времени в системе, синхронизации работы подсистем, организации архивов по выбранным параметрам, обмена информацией между локальными контроллерами и верхним уровнем, работы в автономном режиме при нарушениях связи с верхним уровнем, резервирования каналов передачи данных и др.

Все компоненты системы управления объединены между собой каналами связи. Обеспечение взаимодействия SCADA-систем с локальными контроллерами, контроллерами верхнего уровня, офисными и промышленными сетями возложено на коммуникационное ПО, выбор которого для конкретной системы управления определяется многими факторами, в том числе типом применяемых контроллеров и используемой SCADA-системой.

Коммуникационное (интерфейсное) ПО является многоуровневым. Количество уровней зависит от используемой ОС. Для Windows-платформ ПО включает:

- статическую библиотеку, используемую с традиционными языками программирования (C, C++, Pascal и др.);
- динамическую библиотеку (DLL), применяемую со всеми Windows-языками программирования (Visual Basic, Visual C/C++, Borland C/C++, Delphi, LabWindows CVI, LabView);
- DDE-сервер (16 и 32-битные реализации) и пакетные реализации DDE-протокола: FastDDE для продуктов линии Wonderware и AdvancedDDE для линии Rockwell;
- SuiteLink-сервер, реализующий механизм обмена по SuiteLink-протоколу, используемому компонентами пакета FactorySuite (Wonderware);
- OPC-сервер, поддерживающий интерфейс, определенный OPC-спецификацией.

Отметим, что подсистема алармов (реакций на аномальные (нештатные) состояния управляемого объ-

екта) — это обязательный компонент любой SCADA-системы. Поддерживаются дискретные и аналоговые типы алармов. Дискретные срабатывают при изменении состояния дискретной переменной (параметра), а аналоговые — в случае выхода значений параметров за верхние и нижние пределы.

Приступая к разработке специализированного ПО для систем контроля и управления, системный интегратор обычно выбирает один из следующих путей — программирование с использованием традиционных средств (языков программирования, стандартных средств отладки и пр.) или работает с готовыми (коммерческими) инструментальными проблемно-ориентированными средствами типа SCADA-систем.

Спектр функциональных возможностей различных SCADA-систем достаточно широк и может сильно отличаться, однако существует набор функций, реализованный практически во всех системах: автоматизированная разработка средств визуализации и управления технологическим процессом; визуализация информации от устройств нижнего уровня в виде мнемосхем, графиков и т.п. в режиме РВ; автоматизированный сбор и обработка данных от устройств нижнего уровня в режиме РВ; организация доступа к информации стандартных реляционных БД; автоматизированная регистрация алармов и исторических данных в режиме РВ.

Средства визуализации — базовая компонента современных SCADA-систем. В каждой из них существует графический объектно-ориентированный редактор с определенным набором анимационных функций. Используемая объемная 3D-графика дает возможность оперировать выбранными объектами, среди которых могут быть как простые (линии, прямоугольники, текстовые объекты и т. д.), так и сложные образы. Возможности агрегирования сложных объектов в разных SCADA-системах различны, но все они включают библиотеки стандартных графических символов (иконок), сложных графических образов, а также обладают рядом других возможностей.

Встроенные командные языки. Большинство SCADA-систем имеют встроенные языки высокого уровня — VBasic-подобные языки, позволяющие генерировать адекватную реакцию на события, связанные с изменением значения переменной (параметра), выполнением некоторого логического условия, нажатием комбинации клавиш, выполнением некоторого фрагмента с заданной частотой или активизацией определенного окна.

Встроенные языки программирования — мощное средство, предоставляющее разработчику гибкий инструмент для разработки сложных приложений. Они имеют свои собственные библиотеки стандартных функций — математические, для статистической обработки данных, для работы с SQL и др. Стандартные функции удовлетворяют большинство потребностей, возникающих у разработчика, однако многие встро-

енные языки позволяют создавать также собственные подпрограммы для выполнения специфических функций для создаваемого приложения.

Средства сетевой поддержки. Для эффективного функционирования различных приложений (АСУ ТП, СПО и т.д.) SCADA-система должна обеспечивать высокий уровень сетевого сервиса. Желательно, чтобы она поддерживала работу в стандартных сетевых средах (ARCNET, Ethernet и т. д.) с использованием стандартных протоколов (NETBIOS, TCP/IP), а также обеспечивала поддержку наиболее популярных сетевых стандартов из класса промышленных интерфейсов (PROFIBUS, CANBUS, LON, MODBUS и др.). Этим требованиям в той или иной степени удовлетворяют практически все рассматриваемые SCADA-системы, отличие лишь в том, что набор поддерживаемых сетевых интерфейсов разный.

Поддерживаемые БД. Одной из основных задач СПО является обработка информации: сбор, оперативный анализ, хранение, сжатие, пересылка и т.д. Большинство SCADA-систем (Genesis, InTouch, Citect) используют ANSI SQL синтаксис, который является независимым от типа БД, что позволяет изменять БД без серьезной коррекции самой прикладной программы, создавать независимые программы для анализа информации, использовать уже разработанные ПО. Отметим, что модель клиент – сервер в настоящее время является доминирующей компьютерной архитектурой, позволяющей реализовать преимущество объединения удобных персональных компьютеров с централизованными, надежными и отказоустойчивыми серверами. Клиент-серверные системы одновременно используют вычислительные мощности и клиента, и сервера, возлагая интенсивную обработку данных на сервер и оптимизируя сетевой трафик, чтобы повысить общую эффективность работы.

SCADA СПРИНТ — система для разработки интеллектуальных СПО

Концептуально СПРИНТ-РВ является интеллектуальной SCADA-системой, основанной на знаниях и ориентированной на реализацию и поддержку СПО как ИСППР РВ [11, 19]. Архитектура системы представлена на рис. 2. В ее состав входят инструментальный комплекс СПРИНТ и оперативный комплекс СПРИНТ-РВ.

Инструментальный комплекс включает набор средств, позволяющих описать предметную область управления — энергоблок (ЭБ) АЭС, а оперативный комплекс — набор средств, позволяющих реализовать функции интеллектуальной поддержки принятия управляющих решений ЛПР в нештатных ситуациях и контролировать состояние ЭБ в стационарных и переходных режимах функционирования. Рассмотрим назначение и реализацию некоторых базовых компонентов СПРИНТ-РВ. Более подробно информация изложена в [11, 19, 20].

Комплекс ДИЭКС (ДИЭКС-РВ) — инструментальная система проектирования и верификации диагностических экспертных систем по данным штатной системы измерений

Архитектура комплекса представлена на рис. 3 и включает неоперативный контур, предназначенный для создания и верификации БД и БЗ, и оперативный контур, служащий для решения задач информационной диагностической поддержки ЛПР. Соответственно, БЗ подразделяются на оперативные, в которые входят диагностические модели знаний для оперативной диагностики элементов оборудования, и неоперативные, содержащие описания для каждого диагностируемого элемента оборудования. Иерархия диагностических экспертных моделей знаний, соответствующая иерархии оборудования в конкретном ЭБ АЭС, представлена на рис. 4.

Под технологическими установками для АЭС понимаются турбо- и реакторная установки и, под технологическими системами — главный циркуляционный насос и генератор, а под подсистемами — насосно-теплообменная установка систем управления защит и т. п.

Особенность диагностических моделей заключается в том, что первым шагом обработки данных штатной системы измерений всегда является проверка правильности работы датчиков и только после нее выполняется диагностика состояния конкретного объекта. Накопленный опыт показал, что для диагностики объектов энергетики в качестве модели представления знаний хорошо подходят производственные правила специального вида, примеры которых приведены на рис. 5.

Обобщенный алгоритм функционирования ДИЭКС-РВ представлен на рис. 6.

Комплекс КОГРА – КОГРА-РВ — инструментальная система для проектирования образных представлений ситуаций методами когнитивной графики

Архитектура программных средств комплекса изображена на рис. 7. Привязка комплекса к области применения проводится путем выполнения последовательности работ по формированию оперативных БЗ, БЗ динамических элементов, библиотек динамических элементов, БЗ когнитивных видеообразов и видеообразов.

Оперативные БД описывают данные, поступающие на вход системы в соответствии с регламентом функционирования. БЗ динамических элементов, причинно-следственные связи между переменными состояниями и их граничными условиями в виде соответствующих производственных правил. Библиотеки динамических элементов показывают взаимосвязь оперативных БД, БЗ динамических элементов и их графическое представление. Базы знаний когнитивных образов отображают ситуационные и прогнозные связи между контролируемыми переменными, характеризующими работу объектов контроля и управления.

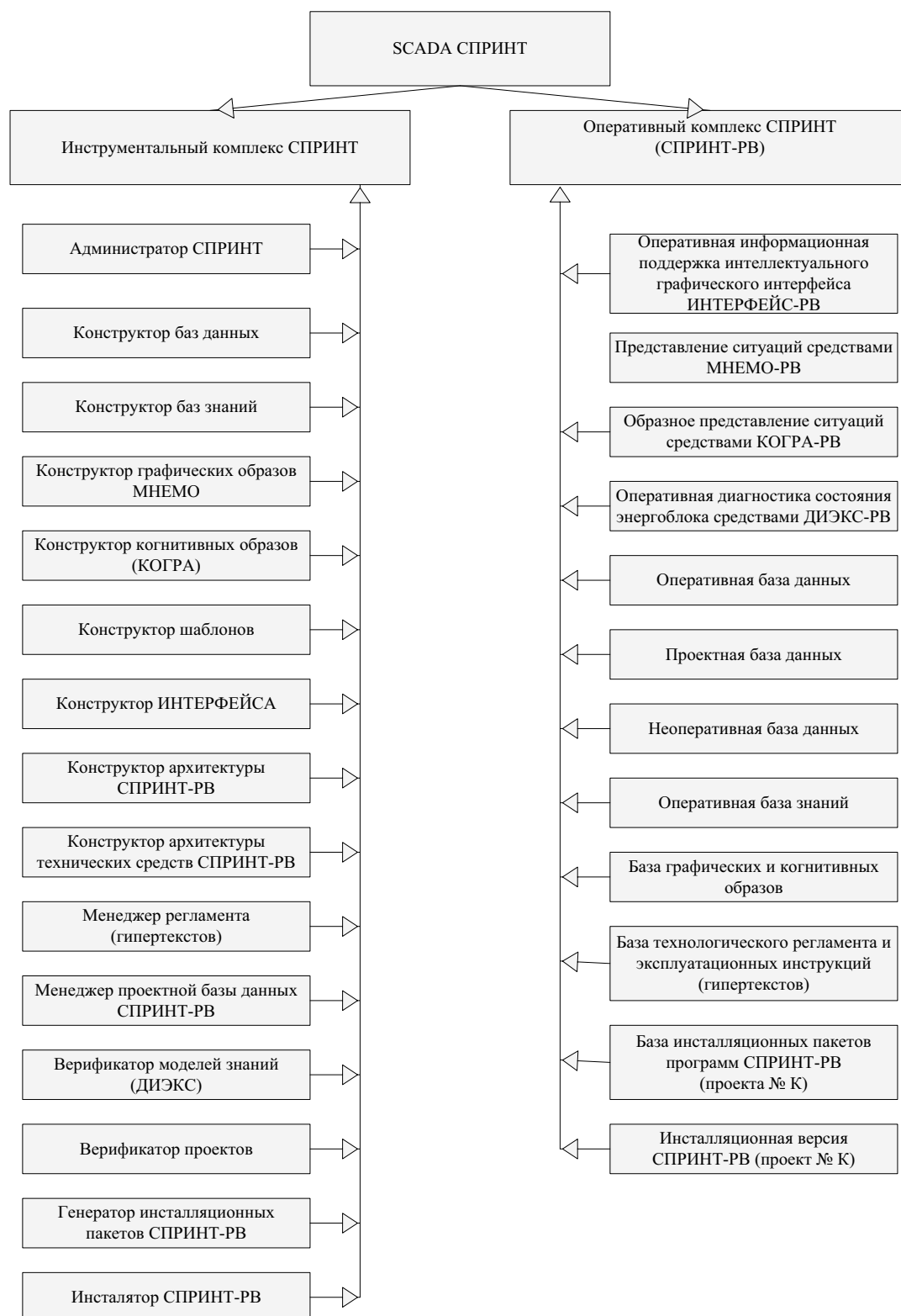


Рис. 2. Архитектура системы SCADA СПРИНТ

Когнитивные видеобразы, представляющие собой комбинацию статической части видеобраза с наложенными на нее динамическими элементами, отображают ситуационные и (или) прогнозные отношения

между выделенными переменными состояниями объекта. В качестве БД можно использовать файлы стандартного формата ACCESS, SQL. Динамическая информация периодически обновляется, характеризую текущее со-

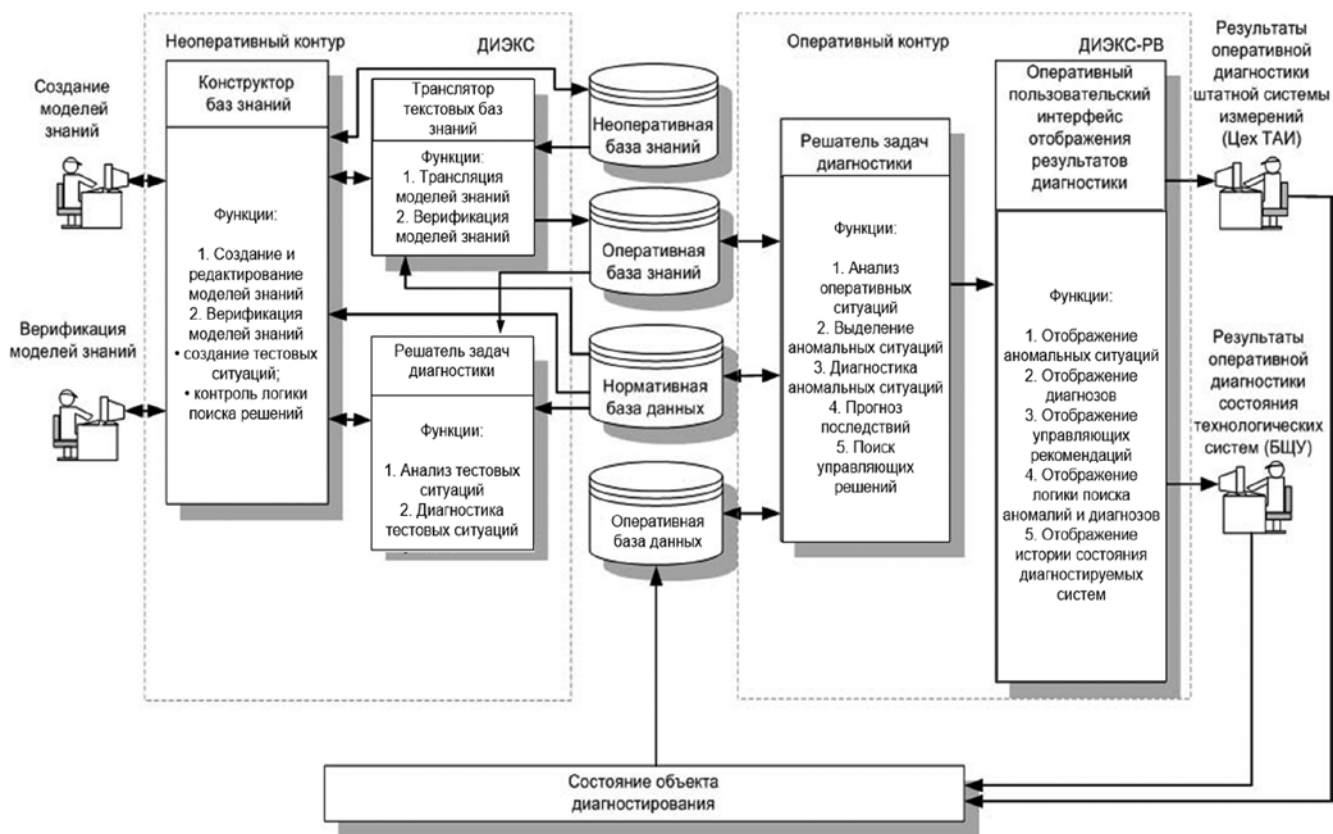


Рис. 3. Архитектура комплекса ДИЭС — ДИЭС-РВ

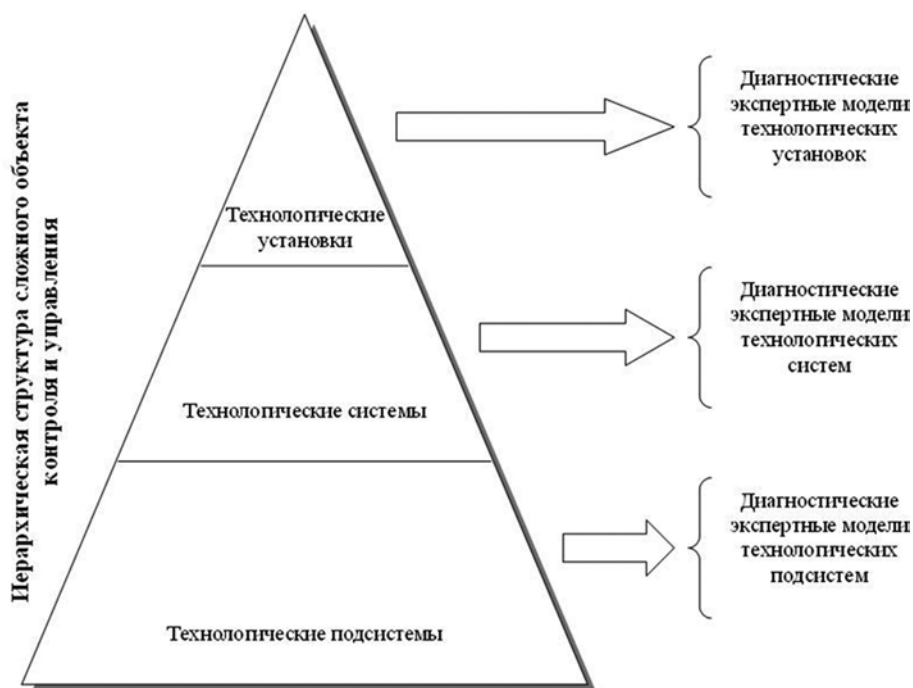


Рис. 4. Иерархия диагностических систем и их экспертных диагностических моделей

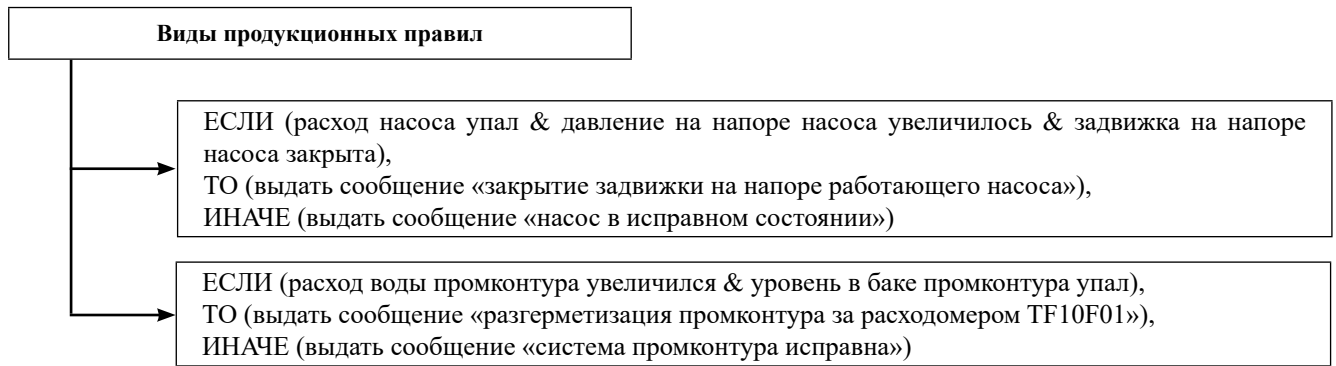


Рис. 5. Виды диагностических знаний, представленных в виде продукционных правил

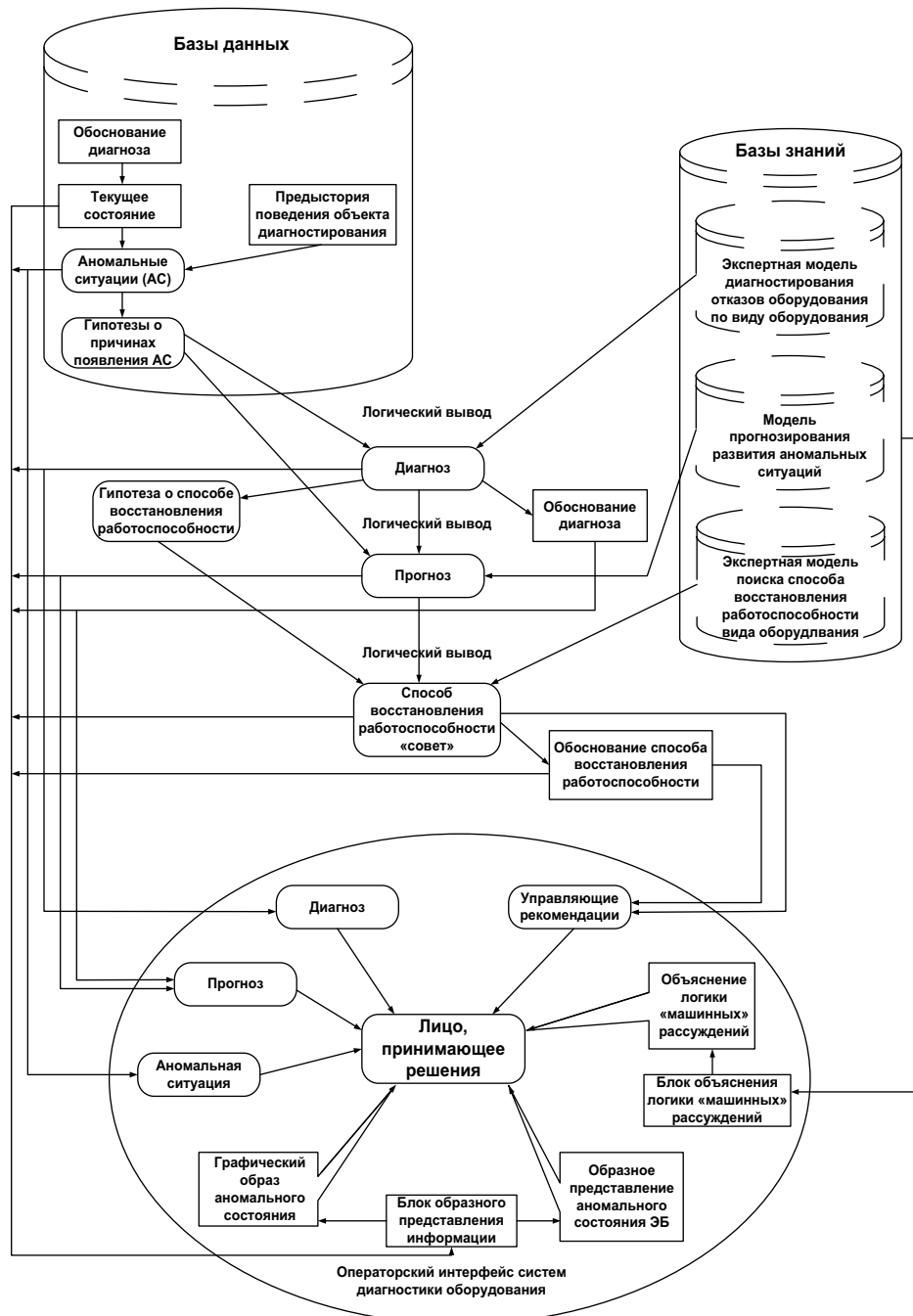


Рис. 6. Алгоритм функционирования ДИЭКС-РВ

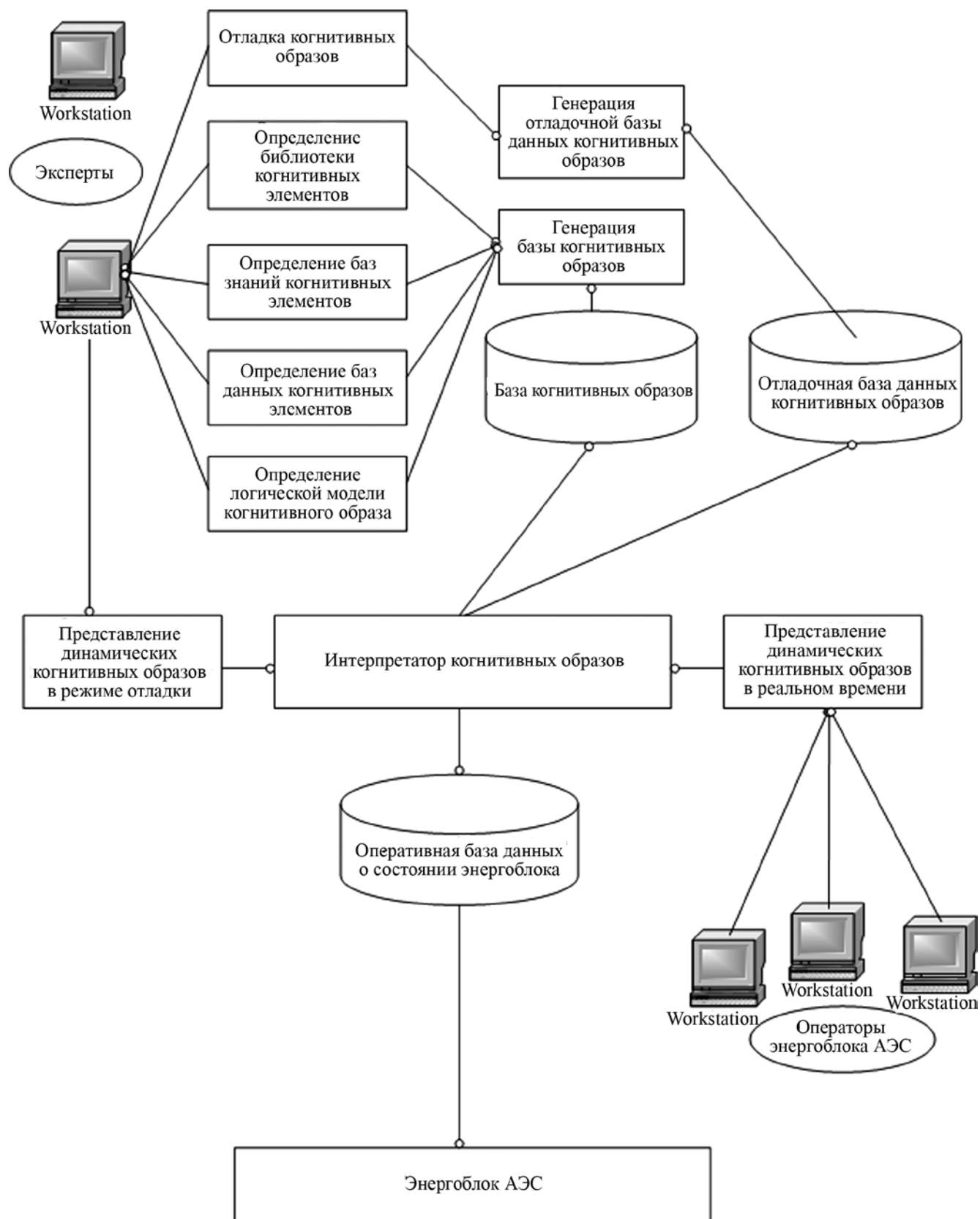


Рис. 7. Архитектура комплекса КОГРА — КОГРА-РВ

стояние контролируемого объекта. Использование цветового кодирования обеспечивает повышение качества и быстроту восприятия. Системными цветами являются красный, зеленый, синий и белый. При нормальной работе оборудования ЭБ и соответствии параметров технологического процесса расчетным информация отображается зеленым ровным цветом. Верхние отклонения параметров от нормы кодируются красным, нижние — синим. Недостоверная информация выделяется белым цветом. Для дополнительного привлечения внимания ЛПР можно использовать мигание динамического образа.

Инструментальная система МНМО – МНМО РВ, предназначенная для проектирования графического интерфейса в части представления динамических видеообразов, представлена на рис. 8.

Для проектирования пользовательского интерфейса ЛПР (в рамках стандарта на описание многооконного экрана) используется инструментальная система проектирования пользовательского интерфейса для оперативного персонала ИНТЕРФЕЙС – ИНТЕРФЕЙС-РВ. (рис. 9).

В состав инсталляционной версии СПРИНТ-РВ входит также инструментальная система проектирования средств функционально-группового управления (ФГУ) (рис. 10). Система ФГУ предназначена для описания моделей управления функциональными группами оборудования объекта (ЭБ АЭС), проверки этих моделей на полноту и непротиворечивость, верификации алгоритмов пошагового управления с использованием имитатора. Алгоритм управления технологическим процессом, реализованный в ФГУ, контролирует выполнение заданных условий технологического режима и исполнение команд, а также формирует обобщенную

информацию о ходе и завершении выполнения программы ФГУ.

Информация о ходе работы ФГУ выдается ЛПР в виде графических образов, на которых отображается ретроспектива выполнения пошаговых операций и текущее состояние алгоритма ФГУ. Выполнение команд и наличие разрешающих условий контролируется по времени. В случае невыполнения условия завершения переключения процесс приостанавливается до выполнения условия или вмешательства ЛПР, если алгоритмом переключения явно не предусмотрено действий при превышении времени ожидания. При этом проводится индикация превышения времени и фиксируется соответствующее событие.

Рассмотрены инструментальные средства типа SCADA-систем, ориентированные на построение перспективных интеллектуальных ИСПП РВ типа СПО для управления сложными технологическими объектами на примере ЭБ АЭС. Описана реализованная и расширяемая под руководством авторов в ООО «ТАСМО-БИТ» совместно с кафедрой прикладной математики НИУ «МЭИ» интеллектуальная SCADA-система СПРИНТ-РВ, построенная по принципу развиваемой и адаптируемой семиотической системы [10, 11, 19] и предназначенная для конструирования и последующего функционирования на ее основе ИСПП РВ (интеллектуальной СПО) для помощи ЛПР (оперативно-диспетчерскому персоналу) при мониторинге, диагностике и управлению сложным технологическим объектом типа ЭБ АЭС.

Отметим также, что базовые компоненты системы СПРИНТ-РВ использованы при создании ИСПП РВ для мониторинга и управления трубопроводными транспортными системами в нефтяной промышленности [21].

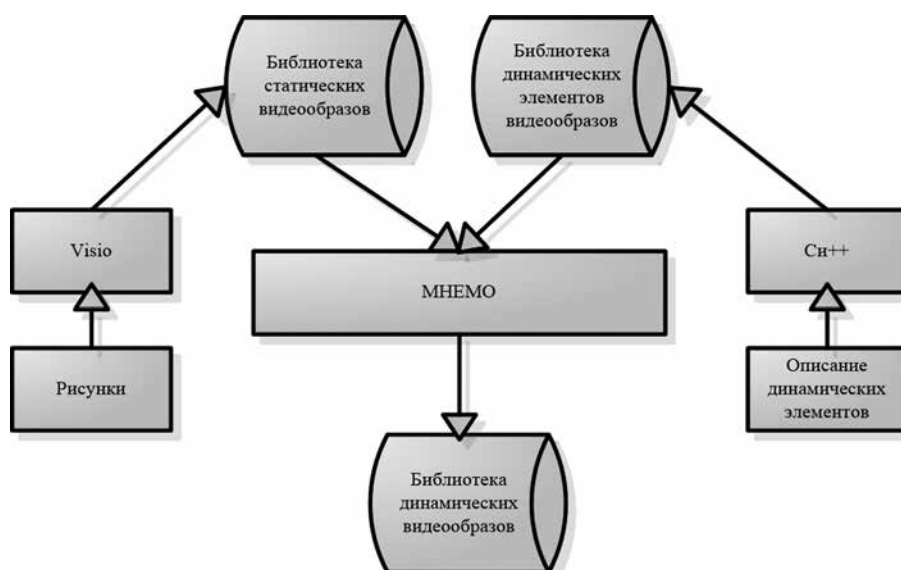


Рис. 8. Архитектура комплекса МНМО — МНМО РВ

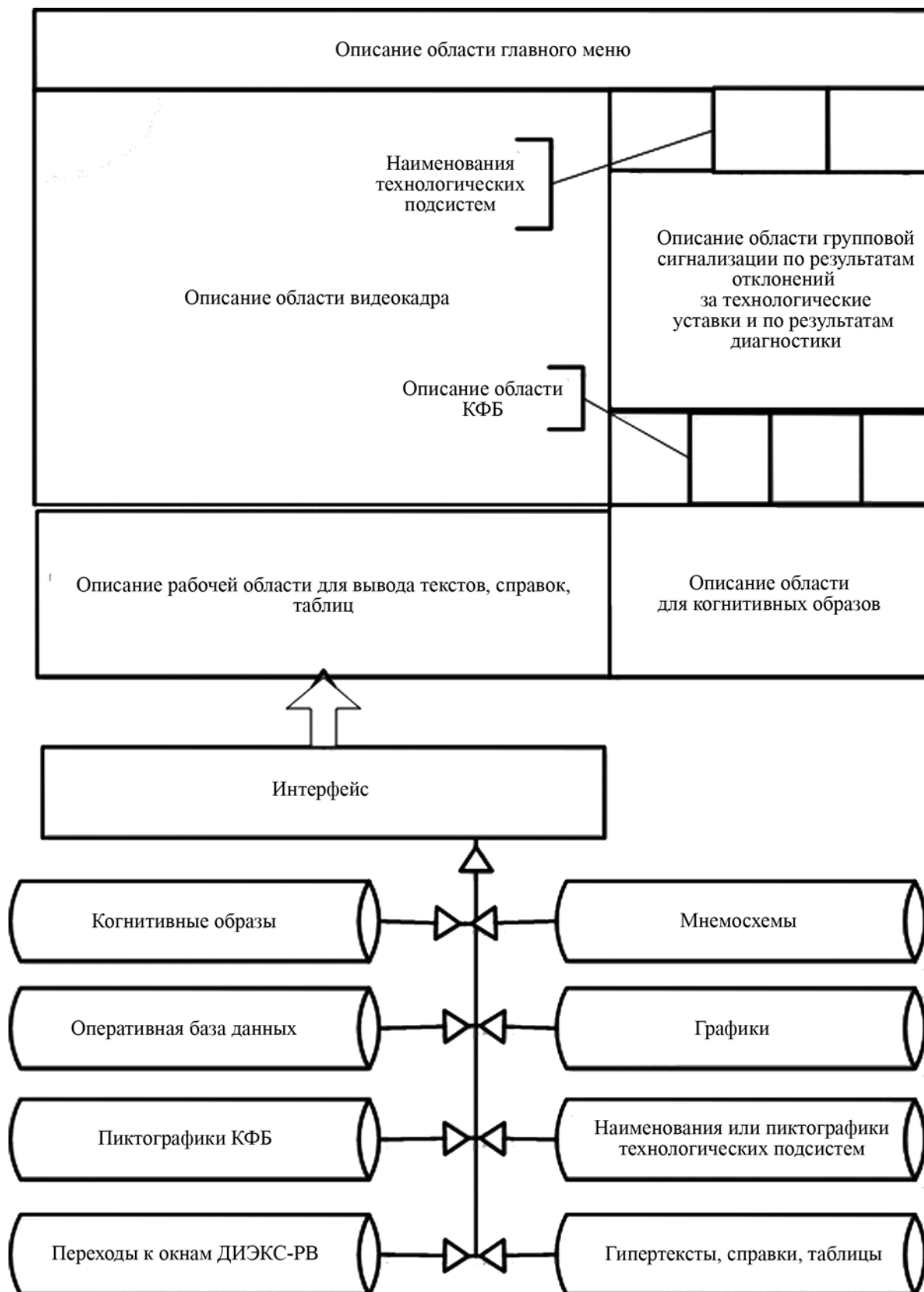


Рис. 9. Архитектура комплекса построения пользовательского интерфейса

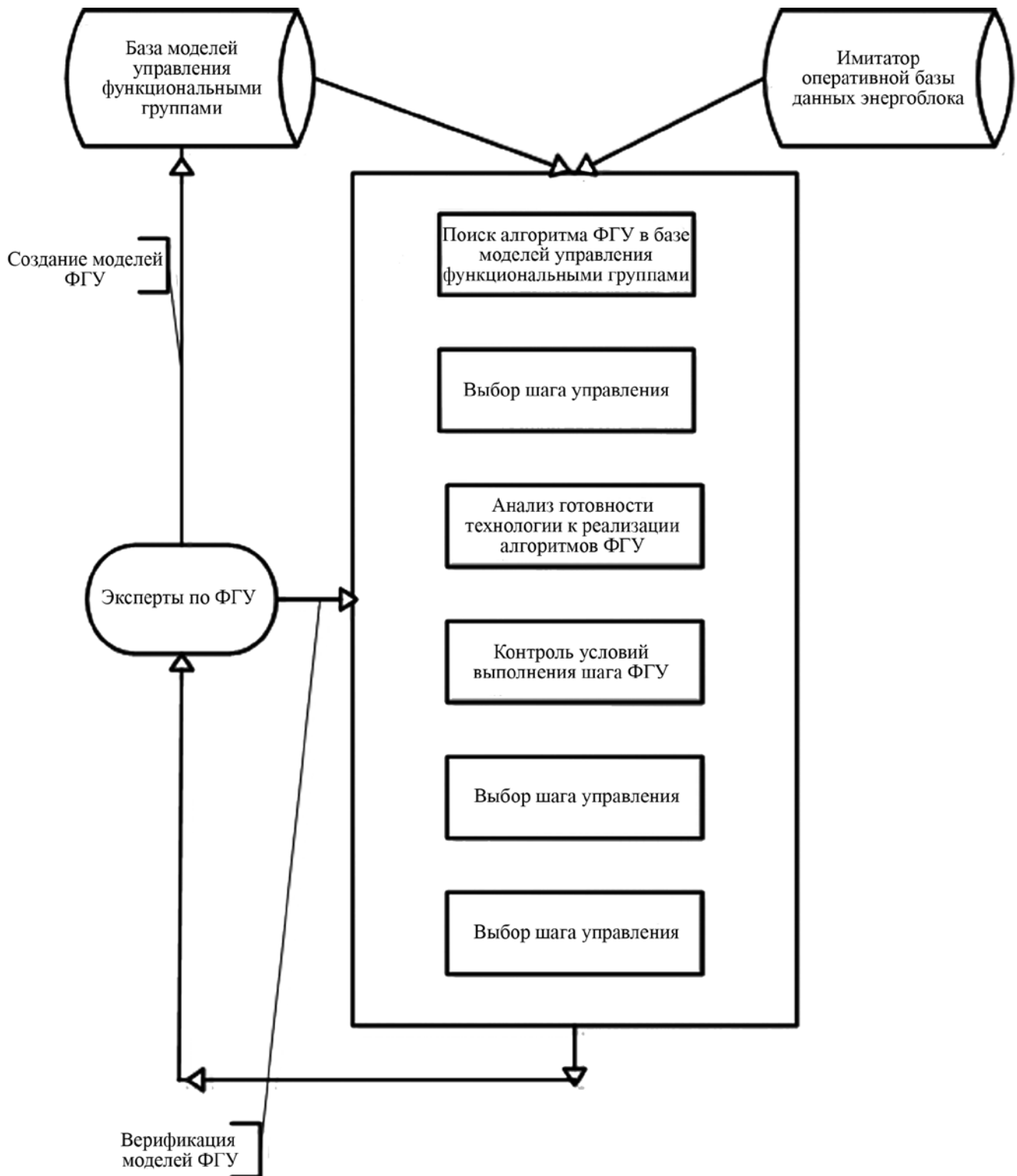


Рис. 10. Архитектура средств построения ФГУ

Литература

1. **Ларичев О.И., Петровский Л.Б.** Системы поддержки принятия решений: современное состояние и перспективы развития // Итоги науки и техники. Серия «Техническая кибернетика». 1987. Т. 21. С. 131—164.

2. **Башлыков А.А., Еремеев А.П.** Экспертные системы поддержки принятия решений в энергетике. М.: Изд-во МЭИ, 1994.

3. **Трахтенгерц Э.В.** Компьютерная поддержка принятия решений. Серия «Информатизация России на пороге XXI века». М.: СИНТЕГ, 1998.

4. **Vicki L.** Sauter Decision Support System. John Wiley & Sons, Incorporated, 1999.

5. **Turban E., Aronson J.E.** Decision Support Systems and Intelligent Systems. Prentice Hall, 2000.

6. **Антошин Д.В., Анохин А.Н.** Разработка прототипа системы поддержки оператора АЭС, основанной на фреймах // Диагностика и прогнозирование состояния объектов сложных информационных интеллектуальных систем: сборник научных трудов. Обнинск: ИАТЭ, 2001. № 14. С. 90—95.

7. **Прангишвили И.В., Полетыкин А.Г., Менгазетдинов Н.Э.** Принципы построения информационных систем реального времени для объектов атомной энергетики // Методы проектирования СВБУ: Труды ИПУ. 2004. Т. XXIV. С. 5—10.

8. **Schirru R., Pereira C.** A Real-Time Artificially Intelligent Monitoring System for Nuclear Power Plants // Operators Support. Real-TimeSystems. 2004. V. 27. P. 71—83.

9. **Рыбина Г.В.** Основы построения интеллектуальных систем. М.: Финансы и статистика, ИНФРА-М, 2010.

10. **Вагин В.Н., Еремеев А.П.** Научная школа искусственного интеллекта в Московском энергетическом институте на базе кафедры прикладной математики: становление и развитие // Вестник МЭИ. 2015. № 2. С. 29—37.

11. **Башлыков А.А., Еремеев А.П.** Основы конструирования интеллектуальных систем поддержки принятия решений в энергетике. М.: ИНФРА-М, 2017.

12. **Попов Э.В., Фоминых И.Б., Кисель Е.Б., Шапот М.Д.** Статические и динамические экспертные системы. М.: Финансы и статистика, 1996.

13. **Дьяков А.Ф.** Надежная работа персонала в энергетике. М.: Изд-во МЭИ, 1991.

14. **Rantanem E.M., Goldberg J.H.** Perception of Symmetry in Polygon Displays // NPIC&HMIP. 1996. V. 1. P. 459—466.

15. **Vicente K.J., Wang J.H.** Taking Full Advantage of Process Constraints in Advanced Interface Design // Ibid. P. 405—411.

16. **SCADA-продукты на российском рынке** // Мир компьютерной автоматизации. 1999. № 3. С. 25—33.

17. **Матвейкин В.Г., Фролов С.В., Шехтман М.Б.** Применение SCADA-систем при автоматизации технологических процессов. М.: Машиностроение, 2000.

18. **Ляпунов С.И., Корнеева А.И.** Некоторые особенности развития SCADA-систем // Промышленные контроллеры. 2002. № 11. С. 37—39.

19. **Башлыков А.А.** СПРИНТ-РВ — интеллектуальная SCADA-система для построения средств человеко-машинного управления сложными и экологически опасными объектами и технологиями // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2012. № 12. С. 8—20.

20. **Башлыков А.А.** Образное представление состояния сложных технологических объектов управления методами когнитивной графики // Искусственный интеллект и принятие решений. 2012. № 3. С. 9—18.

21. **Башлыков А.А.** Принципы реализации автоматизированного «пошагового» управления в трубопроводных транспортных системах // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2015. № 6. С. 9—21.

References

1. **Larichev O.I., Petrovskiy L.B.** Sistemy Podderzhki Prinyatiya Resheniy: Sovremennoe Sostoyanie i Perspektivy Razvitiya. Itogi Nauki i Tekhniki. Seriya «Tekhnicheskaya Kibernetika». 1987;21:131—164. (in Russian).

2. **Bashlykov A.A., Eremeev A.P.** Ekspertnye Sistemy Podderzhki Prinyatiya Resheniy v Energetike. M.: Izd-vo MPEI, 1994. (in Russian).

3. **Trahtengerts E.V.** Komp'yuternaya Podderzhka Prinyatiya Resheniy. Seriya «Informatizatsiya Rossii na Poroге XXI Veka». M.: SINTEG, 1998. (in Russian).

4. **Vicki L.** Sauter Decision Support System. John Wiley & Sons, Incorporated, 1999.

5. **Turban E., Aronson J.E.** Decision Support Systems and Intelligent Systems. Prentice Hall, 2000.

6. **Antoshin D.V., Anohin A.N.** Razrabotka Prototipa Sistemy Podderzhki Operatora AES, Osnovannoy na Freymah. Diagnostika i Prognozirovanie Sostoyaniya Ob'ektov Slozhnyh Informatsionnyh Intellektual'nyh Sistem: Sbornik Nauchnyh Trudov. Obninsk: IATE, 2001;14:90—95. (in Russian).

7. **Prangishvili I.V., Poletykin A.G., Mengazetdinov N.E.** Printsipy Postroeniya Informatsionnyh Sistem Real'nogo Vremeni dlya Ob'ektov Atomnoy Energetiki. Metody Proektirovaniya SVBU: Trudy IPU. 2004;XXIV:5—10. (in Russian).

8. **Schirru R., Pereira C.** A Real-Time Artificially Intelligent Monitoring System for Nuclear Power Plants. Operators Support. Real-TimeSystems. 2004;27:71—83.

9. **Rybin G.V.** Osnovy Postroeniya Intellektual'nyh Sistem. M.: Finansy i Statistika, INFRA-M, 2010. (in Russian).

10. **Vagin V.N., Eremeev A.P.** Nauchnaya Shkola Iskusstvennogo Intellekta v Moskovskom Energeticheskom Institute na Baze Kafedry Prikladnoy Matematiki: Stanovlenie i Razvitie. Vestnik MPEI. 2015;2:29—37. (in Russian).

11. **Bashlykov A.A., Ereemeev A.P.** Osnovy Konstruirovaniya Intellektual'nyh Sistem Podderzhki Prinyatiya Resheniy v Energetike. M.: INFRA-M, 2017. (in Russian).

12. **Popov E.V., Fominyh I.B., Kisel' E.B., Shapot M.D.** Statische i Dinamicheskie Ekspertnye Sistemy. M.: Finansy i Statistika, 1996. (in Russian).

13. **D'yakov A.F.** Nadezhnaya Rabota Personala v Energetike. M.: Izd-vo MPEI, 1991. (in Russian).

14. **Rantanem E.M., Goldberg J.H.** Perception of Symmetry in Polygon Displays. NPIC&HMIT. 1996;1:459—466.

15. **Vicente K.J., Wang J.H.** Taking Full Advantage of Process Constraints in Advanced Interface Design. Ibid: 405—411.

16. **SCADA-produkty** na Rossiyskom Rynke. Mir Komp'yuternoy Avtomatizatsii. 1999;3:25—33. (in Russian).

17. **Matveykin V.G., Frolov S.V., Shekhtman M.B.** Primenenie SCADA-sistem pri Avtomatizatsii Tekhnologicheskikh Protsessov. M.: Mashinostroenie, 2000. (in Russian).

18. **Lyapunov S.I., Korneeva A.I.** Nekotorye Osobennosti Razvitiya SCADA-sistem. Promyshlennyye kontroly. 2002;11:37—39. (in Russian).

19. **Bashlykov A.A.** SPRINT-RV — Intellektual'naya SCADA-sistema dlya Postroeniya Sredstv Cheloveko-Mashinnogo Upravleniya Slozhnymi i ekologicheskimi Opasnymi Ob'ektami i Tekhnologiyami. Avtomatizatsiya, Telemekhanizatsiya i Svyaz' v Neftyanoy Promyshlennosti.

2012;12:8—20. (in Russian).

20. **Bashlykov A.A.** Obraznoe Predstavlenie Sostoyaniya Slozhnyh Tekhnologicheskikh Ob'ektov Upravleniya Metodami Kognitivnoy Grafiki. Iskusstvennyy Intellekt i Prinyatie Resheniy. 2012;3:9—18. (in Russian).

21. **Bashlykov A.A.** Printsipy Realizatsii Avtomatizirovannogo «Poshagovogo» Upravleniya v Truboprovodnyh Transportnyh Sistemah. Avtomatizatsiya, Telemekhanizatsiya i Svyaz' v Neftyanoy Promyshlennosti. 2015;6:9—21. (in Russian).

Сведения об авторах

Башлыков Александр Александрович (04.01.1946 — 04.07.2017) — кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики НИУ «МЭИ»

Еремеев Александр Павлович — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой прикладной математики НИУ «МЭИ», лауреат премии Президента РФ в области образования, e-mail: eremeev@appmat.ru

Information about authors

Bashlykov Aleksandr A. (04.01.1946 — 04.07.2017) — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor of Applied Mathematics Dept., NRU MPEI

Ereemeev Aleksandr P. — Dr.Sci. (Techn.), Professor, Head of Applied Mathematics Dept., NRU MPEI, Winner of the Presidential Award in Education, e-mail: eremeev@appmat.ru

Статья поступила в редакцию 24.05.2017