

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ НАЗЕМНОГО КОМПЛЕКСА ОТРАБОТКИ БОРТОВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Е. А. Микрин, А. С. Кнутов

Ракетно-космическая корпорация “Энергия”, г. Королев

На основе результатов анализа предложена техническая схема интеграции диагностической экспертной системы реального времени с существующими комплексами отработки. Определены задачи встраиваемой экспертной системы и необходимые технические средства для их решения.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема создания бортовых вычислительных систем и систем управления космическими аппаратами непосредственно связана с вопросами их наземной отработки. В космической отрасли разработаны и воплощены в реальные установки методики, позволяющие автоматизировать и проводить полномасштабную отработку бортовых управляющих систем, являющихся основным носителем интеллекта создаваемого изделия. Одним из важных инструментальных средств реализации упомянутых методик являются наземные комплексы отработки (НКО) аппаратуры и программного обеспечения бортовых вычислительных систем.

В рамках проекта по разработке и сопровождению Международной космической станции (МКС) в РКК “Энергия” создавались и вводились в эксплуатацию несколько НКО бортового программного обеспечения (ПО) Российского сегмента МКС. За десять лет своего существования НКО постоянно совершенствовались и расширялись их функциональные возможности. В настоящее время три НКО, ориентированные изначально только на отработку бортового программного обеспечения, были модернизированы и доведены до уровня мощных моделирующих комплексов, способных обеспечить ежесуточную верификацию сеансов

связи, предваряющую реальное управление МКС из Центра управления полетами (ЦУП), г. Москва, оперативный разбор замечаний и нештатных ситуаций, потенциально возможных на МКС. Помимо решения своих основных задач, упомянутые НКО применяются для тренировки персонала и отработки технических средств ЦУП (гг. Хьюстон и Тулуза).

Наземные комплексы отработки бортового ПО Российского сегмента МКС в их современном виде задействованы при реализации практически всех международных программ и контрактов по тематике МКС, где необходимо полное или частичное моделирование работы реальных бортовых систем. Программно-аппаратные решения, примененные при создании НКО, успешно распространены на несколько специализированных тренажеров, созданных и развиваемых для российского Центра подготовки космонавтов и для аналогичных структур NASA в Хьюстоне.

Новый уровень развития этих мощных средств состоит в качественном повышении функциональных возможностей НКО путем их дооснащения диагностической экспертной системой (ДЭС), построенной с применением принципов искусственного интеллекта. Существенная особенность такой системы заключается в том, что НКО является системой реального времени, и все модели-

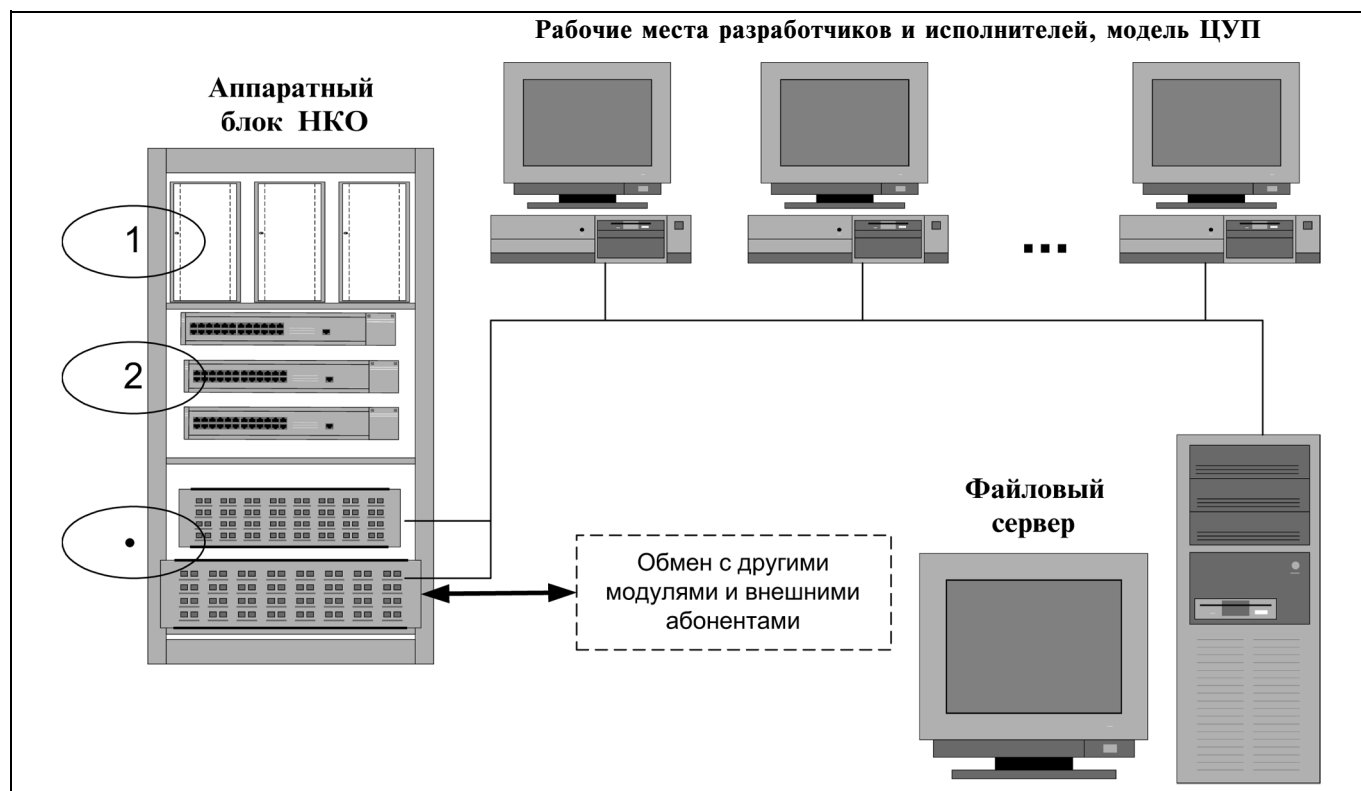


Рис. 1. Типовой программно-аппаратный модуль наземного комплекса отработки ПО бортового комплекса управления МКС:

1 — секция бортовых вычислителей или их эквивалентов; 2 — секция математических моделей бортовых систем; 3 — коммуникационная секция

руемые на ней процессы эмулируются в реальном масштабе времени. В связи с этим рассматриваемая далее ДЭС, как один из компонентов НКО, также работает в реальном времени.

1. УСТРОЙСТВО И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ НАЗЕМНОГО КОМПЛЕКСА ОТРАБОТКИ БОРТОВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Все существующие и вновь создаваемые в РКК “Энергия” НКО строятся в соответствии с модульным принципом¹ [1]. Структура типового модуля НКО бортового ПО приведена на рис. 1. Основу модуля составляет аппаратный конструктив (стойка), объединяющий в себе секцию бортовых вычислителей, секцию математических моделей бортовых систем и внешней обстановки и коммуникационную секцию, обеспечивающую связь с другими модулями, специализированными рабочими станциями и внешними абонентами. Внеш-

ними абонентами НКО Российского сегмента МКС (прямыми и опосредованными) являются:

- ЦУП, г. Москва;
- ЦУП, г. Хьюстон;
- ЦУП, г. Тулуза;
- моделирующие стенды Американского сегмента МКС;
- европейские моделирующие стенды для отработки транспортного корабля ATV;
- комплексный моделирующий стенд РКК “Энергия”;
- специализированные моделирующие средства.

Секция бортовых вычислителей включает в себя наземные (технологические) бортовые вычислители или их программно-аппаратные эквиваленты. Технологические варианты бортовых вычислителей полностью репрезентативны относительно своих бортовых прототипов как в смысле электрофизики аппаратных интерфейсов и скорости вычислений, так и в смысле логики, реализуемой в них бортовым ПО.

Программно-аппаратные эквиваленты представляют собой штатные бортовые версии ПО, что позволяет применять данные эквиваленты на лю-

¹ Кульба В.В., Микрин Е.А., Павлов Б.В. Проектирование информационно-управляющих систем долговременных орбитальных станций. — М.: Наука, 2002. — 343 с.



бом уровне моделирования реальных бортовых систем, если со стороны сопрягаемой аппаратуры нет жестких требований по электрофизике аппаратных интерфейсов. Скорость вычислений на эквивалентах не ниже скорости вычислений на штатных бортовых компьютерах.

Секция математических моделей бортовых систем реализуется, как правило, на нескольких вычислительных модулях (процессорных платах), объединяемых между собой по шине VME, а с секцией бортовых вычислителей — по штатному бортовому интерфейсу MIL STD 1553 (ГОСТ 26765.52—87). Число интерфейсов между секцией бортовых вычислителей и секцией математических моделей в основном повторяет бортовую схему взаимодействия бортовой вычислительной системы (БВС) с реальными системами.

Математические модели имитируют работу бортовых систем (БС) и динамику изменения внешней обстановки (координаты звезд и Солнца, начальная и текущая ориентация станции, положение ее внешних элементов конструкции и др.). В состав моделируемых бортовых систем входят:

- бортовые приборы и автоматика управления;
- аппаратура системы движения и навигации;
- двигательная установка и ее агрегаты;
- силовые гироскопы поддержания ориентации (гиродины);
- системы сближения, стыковки и перестыковки;
- системы энергоснабжения и электропитания;
- системы обеспечения теплового режима;
- системы обеспечения жизнедеятельности экипажа;
- телеметрическая система;
- радиосистемы;
- системы Американского сегмента;
- системы Европейского транспортного корабля и др.

Результаты моделирования, выраженные в сигналах, параметрах и расчетных величинах, поступают в секцию бортовых вычислителей, как правило, по штатным аппаратным интерфейсам и обрабатываются бортовыми алгоритмами управления. Бортовые алгоритмы в соответствии с заложенной в них логикой формируют команды управления, программные телеметрические параметры и сообщения. Этот замкнутый контур моделирования доступен для наблюдения со стороны специализированных рабочих станций разработчиков бортовых алгоритмов и испытателей. Связь с ними осуществляется по интерфейсу Ethernet (TCP/IP) через аппаратуру коммуникационной секции.

Рабочие места испытателей и разработчиков позволяют задавать начальные условия и сценарии моделирования. Имеется возможность получать

бортовую телеметрию и любые другие бортовые и модельные параметры, возможность вмешательства в логику функционирования замкнутого контура отработки, изменения значений отдельных параметров, изменения режима работы бортового или модельного ПО.

В рамках модельной секции, помимо формирования собственно моделей, решаются задачи функционального взаимодействия с внешними абонентами (обмен данными с внешними абонентами).

На рабочих станциях реализуется интерфейс оператора в виде технологических кадров отображения информации и средства управления испытаниями. Имеется также модель ЦУП, г. Москва (ЦУП-М), где могут использоваться кадры отображения, аналогичные используемым в штатной работе ЦУП-М и необходимые средства выдачи команд на Российский сегмент МКС.

Функционирование НКО поддерживается файловым сервером, на котором хранятся версии бортового и модельного ПО, многочисленные сценарии проведения испытаний, технологическая информация и ПО, загрузчики, анализаторы, архивы и базы данных различного назначения. Функциональная схема НКО Российского сегмента МКС приведена на рис. 2.

2. ФУНКЦИИ ДЭС РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С НКО

Современные космические аппараты и комплексы проектируются и строятся с учетом высоких требований по надежности, живучести и безопасности. Однако такие технические объекты, как станция “Мир” или МКС, в силу своей масштабности и длительного времени пребывания на орбите проходят несколько стадий наращивания и усложнения уже вне Земли. Сложнейший технический объект за время своего существования на орбите постепенно вбирает в себя не только все новые и новые поколения аппаратуры, но и результаты работы инженерных школ разных стран — участников проекта. В этих условиях затруднительно говорить о стопроцентной гарантии надежности и безопасности изначально заложенных технических решений. Основной метод верификации каждого нового шага развития орбитальных станций заключается в наземном имитационном моделировании. Усложнение технической сути и неуклонный рост числа параметров, подлежащих верификации в различных полетных ситуациях, ставит вопрос о новом уровне автоматизации процесса отработки и, особенно, о новом уровне решения задачи анализа результатов моделирования, под которым понимается оснащение НКО средствами

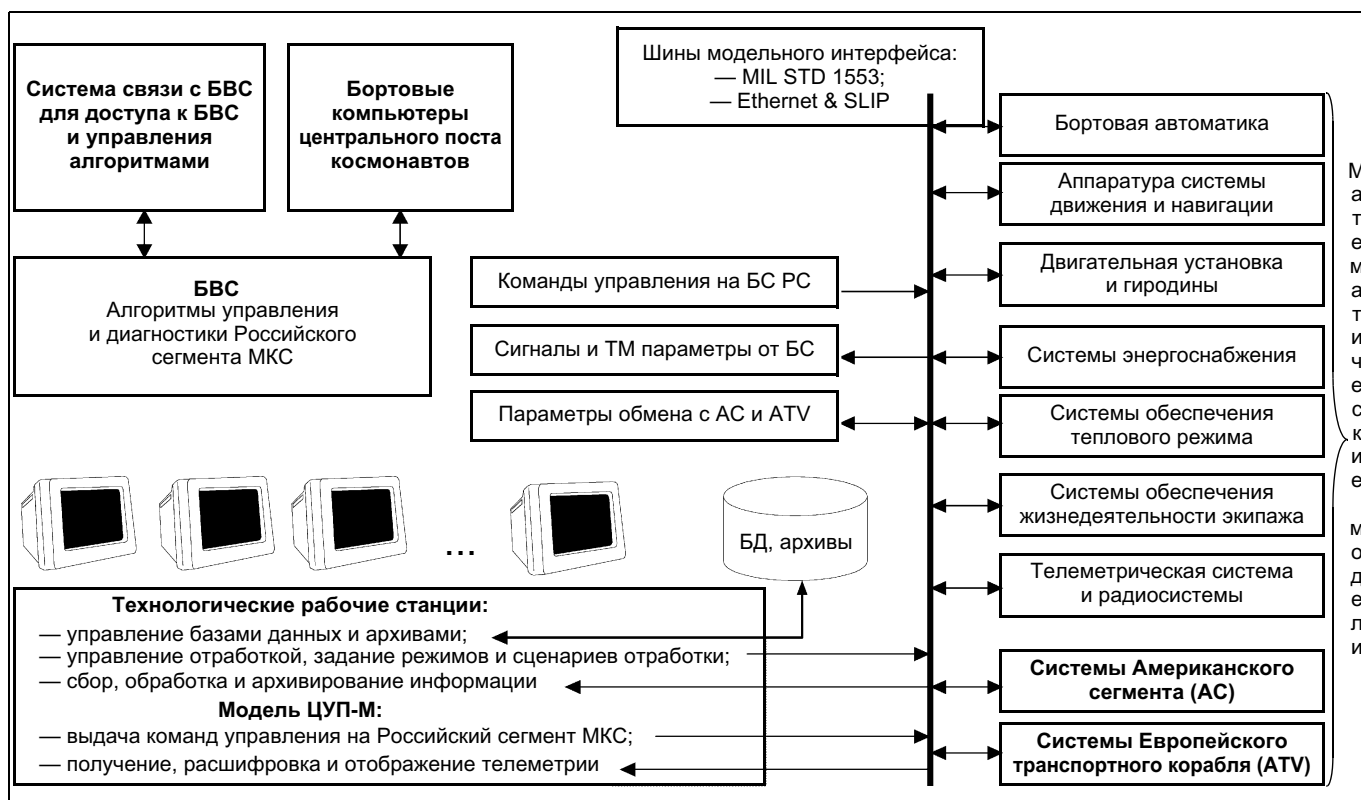


Рис. 2. Функциональная схема НКО Российского сегмента МКС

анализа и аналитической обработки результатов имитационного моделирования, которые удовлетворяют следующим требованиям:

- способность оценивать по различным критериям входные массивы информации, исчисляемые десятками тысяч параметров;
- способность разносторонней оценки ключевых параметров, определения их достоверности и соответствия реальной бортовой обстановке не только прямым, но и косвенным путем;
- способность оперативного автоматического поиска первопричин возможных отклонений от нормы;
- способность выработки обобщенных заключений о текущей обстановке и рекомендаций по управлению.

Этим новым техническим средством контроля, диагностики и советчиком по управлению в нештатных ситуациях может выступать диагностическая экспертная система, построенная на принципах искусственного интеллекта и работающая в режиме реального времени (ДЭС РВ), тесно взаимодействуя со средствами существующих НКО.

3. СОПРЯЖЕНИЕ ДЭС РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ И НКО

Связь модельной секции и секции бортовых вычислителей осуществляется, как правило, по штатным бортовым интерфейсам, по которым передается полный трафик команд управления, телеметрические данные, вычисляемые параметры и параметры состояния. В настоящее время основным интерфейсом, сопрягающим бортовую вычислительную систему с ее объектами управления — бортовыми системами, является цифровой мультиплексный канал MIL STD 1553 (ГОСТ 26765.52—87). На Российском сегменте МКС обмен данными внутри распределенной вычислительной системы и ее абонентами ведется по пятнадцати дублированным шинам MIL STD 1553. Несколько из них (до семи) несут дополнительную нагрузку по информационному обмену Российского сегмента с Американским сегментом и кооперируемыми объектами (“Союз”, “Прогресс” и Европейский транспортный корабль ATV).

Для полноты контроля и анализа всех бортовых параметров со стороны ДЭС РВ, необходимо ее подключение именно к шинам MIL STD 1553. Предлагаемая схема объединения ДЭС реального времени и НКО приведена на рис. 3. Предполага-

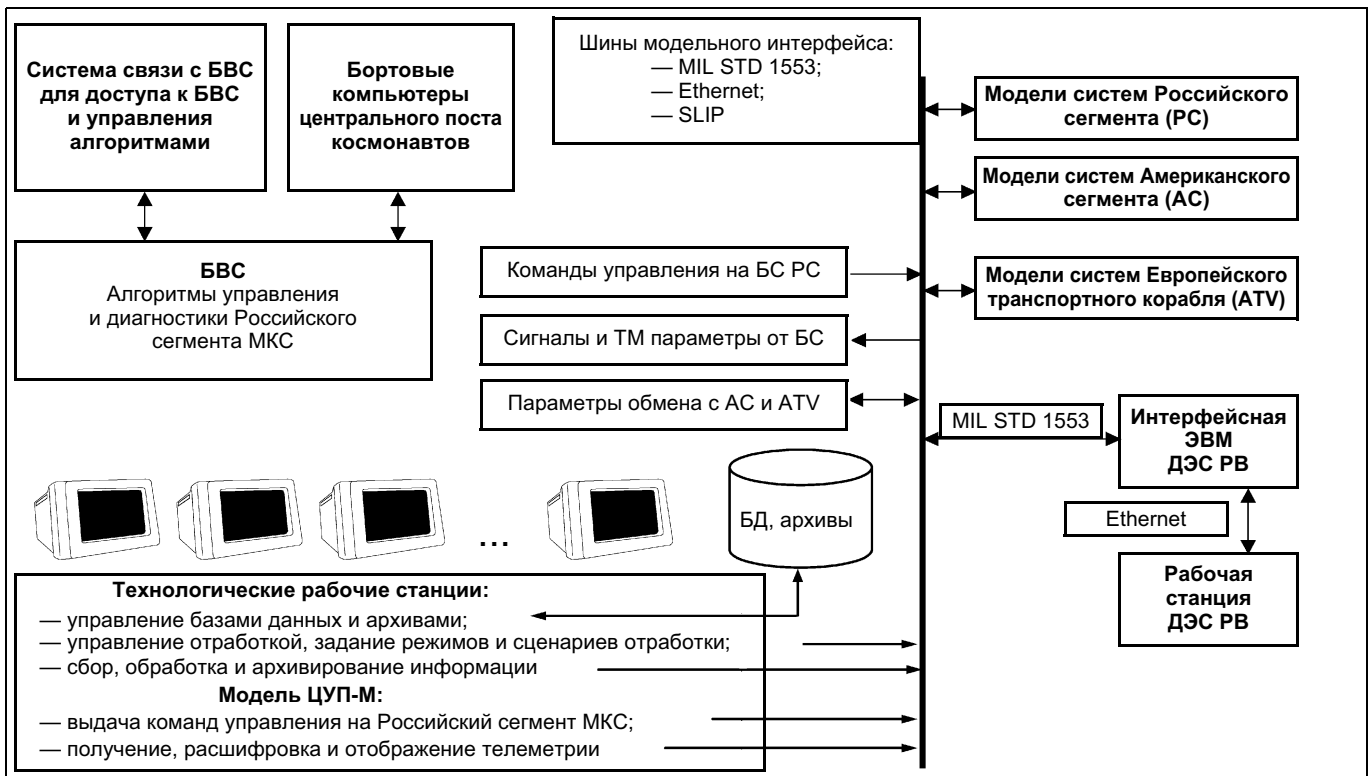


Рис. 3. Функциональная схема НКО с экспертной системой

ется двухэтапное взаимодействие ДЭС реального времени и НКО. Непосредственный доступ к специфическим бортовым каналам обмена осуществляет интерфейсная вычислительная машина ДЭС РВ. Собственно интеллектуальный контроль, диагностика и выработка рекомендаций производятся на отдельной рабочей станции ДЭС РВ, реализующей технологии искусственного интеллекта. Рабочая станция взаимодействует с интерфейсной ЭВМ стандартными сетевыми интерфейсами на базе Ethernet (TCP/IP, UDP и FTP).

Интерфейсная ЭВМ помимо чисто аппаратного сопряжения с шинами данных НКО осуществляет предварительную обработку бортовой информации, приводя ее к виду, удобному для восприятия экспертной системой. И наоборот, выводы экспертной системы, выраженные, как правило, в текстовом виде, приводятся к формату представления, доступному для восприятия бортовым и модельным программным обеспечением НКО.

4. ИНФОРМАЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДЭС РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ И НКО

В информацию, воспринимаемую от НКО интерфейсной вычислительной машиной ДЭС реального времени, входят:

- информация о состоянии бортовых систем, фиксируемая алгоритмами управления;
- информация о физических параметрах, получаемых бортовой вычислительной системой от моделей бортовой аппаратуры;
- полный поток телеметрической информации;
- полный объем команд управления, выдаваемых на бортовые системы от автоматических алгоритмов и от персонала ЦУП.

Информация от НКО является разнородной по своему смыслу и разнотипной по форматам представления. Поэтому необходимы её селекция и унификация до передачи её полного объема на обработку интеллектуальному компоненту ДЭС РВ.

Кроме того, поскольку ДЭС должна работать в режиме реального времени, предназначенные для обработки объемы информации весьма существенны, а применение суперкомпьютеров в НКО в обозримом будущем не предполагается, возникает необходимость максимально сократить и упростить (формализовать) базу знаний ДЭС РВ. Для этого на интерфейсную ЭВМ возлагается задача по селекции и систематизации данных от НКО и формирование на их основе формализованных структур — логических координат функционального пространства управления.

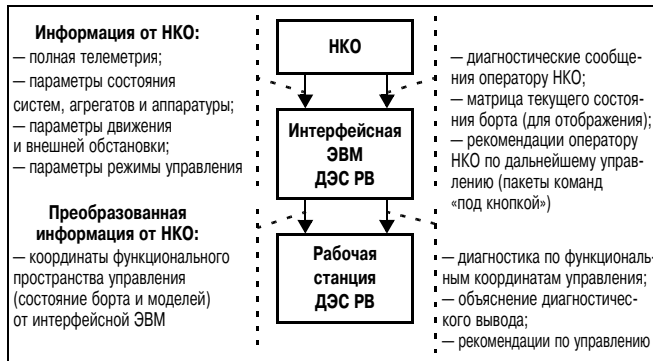


Рис. 4. Схема взаимодействия ДЭС реального времени и НКО

Такое формализованное представление информации существенно облегчает ее дальнейшую обработку на рабочей станции ДЭС и способствует повышению эффективности использования её базы знаний.

Пройдя этап предварительной обработки, бортовая и модельная информация в табличной форме передается на рабочую станцию ДЭС, где выполняется углубленный анализ текущей информации от НКО с применением механизмов дедуктивного вывода. Результаты работы ДЭС РВ:

— обобщенная оценка текущего состояния работы бортовых систем и процесса управления, выраженная в категориях “норма”, “допустимо” и “не норма”;

— цепочка логического вывода, приведшая к тому или иному обобщенному заключению (объяснение вывода);

— рекомендации по дальнейшему управлению процессом моделирования, выраженные в категориях “продолжать работу”, “парировать ситуацию X” и “остановить процесс”.

Результаты работы интеллектуального компонента ДЭС РВ представляются также в формализованном виде и передаются на интерфейсную ЭВМ.

На интерфейсной ЭВМ должны быть выполнены преобразования:

— “объяснения” ДЭС РВ в форму сообщений оператору НКО;

— рекомендаций вида “парировать ситуацию X” и “остановить процесс” в цифровые пакеты команд управления, непосредственно воспринимаемых средствами НКО и готовых к немедленному исполнению оператором НКО.

Схема информационного взаимодействия ДЭС реального времени и НКО приведена на рис. 4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований показали, что применение диагностической экспертной системы в наземном комплексе обработки ПО МКС способствует достижению нового уровня качества и надежности создаваемых космических систем.

☎ (095) 513-63-46

E-mail: Eugeny.Mikrin@rscf.ru



Новая книга

Бурков В.Н., Новиков Д.А. Как управлять организациями. – М.: Синтег, 2004. – 400 с.

Монография посвящена описанию механизмов управления – процедур принятия управленческих решений. Ее цель заключается в демонстрации необходимости и целесообразности применения математических моделей для повышения эффективности функционирования организаций.

Описаны более тридцати типовых механизмов (реализующих функции планирования, организации, стимулирования и контроля). Их совокупность может рассматриваться как “конструктор”, элементы которого позволяют создавать эффективные системы управления.

Владимир Николаевич Бурков – д-р техн. наук, профессор, заведующий лабораторией активных систем Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, действительный член РАЕН, лауреат Государственной премии СССР и премии Дж. Фон-Неймана. Более тридцати лет работает в области управления большими системами. Вице-президент Российской ассоциации по управлению проектами, основатель теории активных систем, один из ведущих специалистов по управлению социально-экономическими системами, в том числе, по анализу и синтезу организационных механизмов.

Дмитрий Александрович Новиков – д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории активных систем Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, профессор кафедры “Проблемы управления” Московского физико-технического института. Автор многих работ по теории управления социально-экономическими системами, в том числе, по теории игр, принятию решений и механизмам управления организационными системами.