

На правах рукописи

УДК 629.78

Матюшин Максим Михайлович

**Системный анализ, онтологический синтез и технологические средства
обработки информации в процессах принятия решений при оперативном
управлении полетом объектов космической техники с Земли**

Специальность: 05.13.01 - Системный анализ, управление
и обработка информации (Авиационная и ракетно-космическая техника)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание учёной степени
доктора технических наук

Москва
2013

**Работа выполнена в Московском авиационном институте
(национальном исследовательском университете)**

Научный консультант:

Член-корр. РАН, доктор технических наук, профессор **Соловьев Владимир Алексеевич**, Ракетно-космическая корпорация «Энергия», первый заместитель генерального конструктора

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор **Витих Владимир Андреевич**, Институт проблем управления сложными системами РАН, научный советник

доктор технических наук, профессор **Евдокименков Вениамин Николаевич**, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), профессор кафедры «Информационно-управляющие комплексы»

доктор физико-математических наук **Чхартишвили Александр Гедеванович**, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, главный научный сотрудник

Ведущая организация:

Центральный научно-исследовательский институт машиностроения (ЦНИИ-маш), 141070, Московская область, г.Королёв, ул.Пионерская, д.4

Защита диссертации состоится 12 декабря 2013 года в 15:00 на заседании диссертационного совета Д 212.125.12 в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете, МАИ) по адресу: 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского авиационного института (национального исследовательского университета, МАИ) по адресу: 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4.

Автореферат разослан " 11 " сентября 2013 г.

Отзывы, заверенные печатью, просьба высылать по адресу: 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4, МАИ, Ученый совет МАИ.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.125.12,
кандидат технических наук, доцент

В.В. Дарнопых

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время на развитие процессов управления космическими полетами оказывают значительное влияние две взаимосвязанные тенденции. С одной стороны наблюдается устойчивое возрастание объемов информации, необходимой для управления полетом объектами космической техники (ОКТ) со стороны центров управления полетом (ЦУП). С другой стороны имеется тенденция объединения различных ОКТ и их ЦУПов в рамках единой наземно-космической системы направленной на достижение некоторого комплексного вектора целей. Обе эти тенденции обусловлены объективными требованиями повышения эффективности, надежности, гибкости управления космическими полетами.

В трудах В.А. Соловьева, А.С. Елисеева, В.Е. Любинского, рассматривая современные и перспективные методы теории управления космическими полетами, в качестве одним из основных факторов, обеспечивающих безопасное, надежное, эффективное управление полетом объекта космической техники (ОКТ), выделяется оптимальное решение, принимаемое ответственными специалистами группы управления полетом ОКТ. Решение выражается в планах, методиках, указаниях экипажу, управляющих воздействиях на бортовые системы и т.д. Оно направляет все действия автоматизированной системы управления полетом ОКТ для достижения целей полета.

Указанные тенденции достаточно сильно оказывают влияние на решения, принимаемые в ходе управления космическими полетами. Так в первом случае для принятия решения требуется обработка и анализ возрастающего объема информации, поступающего с борта ОКТ. Так, например, при управлении космическим кораблем «Восток», необходимо было анализировать около 400 телеметрических параметров, а при управлении полетом Российского сегмента Международной космической станции – более 80 000 телеметрических параметров. В свою очередь это служит предпосылкой для более глубокой дифференциации предметных областей управления космическими полетами, т.е. для принятия решений каждый из специалистов управления полетом должен «погружаться» все более глубоко в «свою» предметную область.

С другой стороны, надежность и эффективность функционирования наземно-космической системы, объединяющей несколько ОКТ и ЦУПов (групп управления ОКТ) и обладающей в полной мере свойствами распределенной системы управления, требуют, чтобы решения, принимаемые в рамках такой системы, были согласованы множеством различных специалистов. В свою очередь это служит предпосылкой для расширения охвата предметных областей специалистов, т.е. для принятия решения все специалисты должны быть способны образовать некое единое информационное поле.

Таким образом, возникает противоречие между требованием углубления предметных областей специалистов, участвующих в управлении космическими полетами и требованием расширения охвата предметных областей. Проблема, порожаемая данным противоречием, в общем случае решается разне-

сением во времени и последовательным решением задач управления космическими полетами. Т.е. специалисты различных ЦУПов сначала работают каждый в своей предметной области, затем с помощью ряда заранее выработанных алгоритмов действия согласовывают результаты и принимают совместное решение.

Ситуация коренным образом меняется в случае оперативного управления полетом ОКТ. Так принятие решений при оперативном управлении полетом ОКТ характеризуется высоким динамизмом процессов управления полетом, повышенным уровнем неопределенности ситуации управления, большим объемом данных, которые необходимо переработать. Особенно это характерно для парирования различных нештатных ситуаций на борту ОКТ.

Обе рассматриваемые тенденции начинают в этом случае оказывать значительное влияние. Разрешение проблемы, порождаемой столкновением этих тенденций, путем разнесения процесса принятия решения по временной оси невозможно, поскольку для оперативного управления полетом характерен жесткий лимит времени. В тоже время последствия отсутствия решения этой проблемы, проявляющиеся в виде срыва ответственных заданий, выполняющихся в ходе оперативного управления полетом ОКТ, повреждения или потери ОКТ, гибели экипажа ОКТ, безусловно, способно оказать влияние на престиж и общий уровень технического развития и обороноспособности страны.

С учетом изложенного выше, решение проблемы принятия решений в условиях увеличения сложности оперативного управления полета по причине увеличения объемов информационного обмена ЦУП и ОКТ и проявления свойств распределенного управления следует признать актуальным. Решение данной проблемы может быть осуществлено на базе разработки, совершенствования и развития методических основ, автоматизированных методов и технологических средств обработки информации, используемой специалистами в ходе принятия решений при оперативном управлении полетом ОКТ.

Для решения проблемы были проведены комплексные исследования. Исследования выполнялись в процессе решения научных и практических задач в ходе управления полетом Российским сегментом Международной космической станции.

Объектом диссертационного исследования является процесс оперативного управления полетом ОКТ.

Предмет исследований – модели, методы и технологические средства обработки информации при поддержке принятия решений в ходе оперативного управления полетом.

Целью исследования является повышение безошибочности оперативного управления космическим полетом путем разработки теоретических основ и практических средств обработки информации при поддержке принятия решений в процессе организации, реализации и анализа оперативного управления объектами космической техники.

Для достижения указанной цели поставлены и решены следующие **основные задачи**:

1. Разработать методологическую базу в виде концепции организации подготовки и функционирования активных элементов (акторов) оперативного управления полетом ОКТ.

2. Разработать принципы построения системы организации функционирования активных элементов (акторов) оперативного управления полетом ОКТ. Эта система включает в себя: структурную организацию процессов функционирования активных элементов, поддержку решений в ходе функционирования активных элементов, анализ процесса функционирования активных элементов, в основе системы лежат онтологические модели.

3. Разработать основы онтологического моделирования процессов управления полетом ОКТ. Разработана система теоретико-информационных моделей оперативного управления полетом ОКТ. Разработано технологическое средство формализованного представления знаний.

4. Разработать модели, методы и технологические средства, обеспечивающие обработку информации при поддержке решений в ходе организации работ активных элементов (акторов).

5. Разработать модели, методы и технологические средства, обеспечивающие обработку информации при поддержке решений в ходе функционирования активных элементов (акторов).

6. Разработать модели, методы и технологические средства, обеспечивающие обработку информации при поддержке решений в ходе анализа процесса функционирования активных элементов (акторов).

Методы исследования базировались на использовании системного анализа, теории управления космических полетов, теории intersубъективного управления, методов теории принятия решений, методов онтологического моделирования, методов исследования операций, методов теории надежности, методов теории вероятности, методов теории нечетких множеств, логико-вероятностные методов, методов сценарного моделирования, мультиагентных методов.

Научная новизна

1. Предложена концепция организации подготовки и функционирования активных элементов (акторов) оперативного управления полетом ОКТ, основанная на оригинальном подходе, использующем постнеклассическую парадигму рациональности как методологическую основу описания сложных организационно-технических систем.

2. Введено понятие системы организации функционирования активных элементов (акторов) оперативного управления полетом ОКТ. Определены положения, описывающие компоненты этой системы и их взаимосвязь. Определение данной системы вносит вклад в расширение представлений об организации и функционировании сложной организационно-технической системы оперативного управления полетом ОКТ.

3. Разработана система теоретико-информационных моделей оперативно-го управления полетом ОКТ, включающая в себя: теоретико-информационную модель ОКТ как объекта оперативного управления, теоретико-информационную модель оперативного контура управления полетом ОКТ, теоретико-информационную модель распределённого оперативного управления полётом ОКТ, теоретико-информационную модель технологии управления полетом ОКТ.

4. Предложена методология сценарного моделирования оперативного управления полетом ОКТ. Разработан комплекс моделей анализа информационной нагрузки на систему контроля ОКТ. Проведена модернизация методики оценки специалистов оперативного управления полетом ОКТ.

5. Разработаны: методология и модели формирования оценки эффективности процесса оперативного управления, модели оценки статической ситуации выбора решения, процедуры выбора вариантов сценария, модели и методы оценки единичного и комплекса параметров, модели оценки временного резервирования оперативного управления полетом ОКТ, методика анализа отклонений в работе специалистов, технология прогнозирования «узких» мест в организации процесса оперативного управления, модели и методы построения сценариев тренировок специалистов. Рассмотрены научные принципы создания и использования специализированных мультиагентных систем в области оперативного управления ОКТ.

6. Исследованы характеристики разработанных моделей и методов, отражающие возможности и открывающиеся перспективы обработки информации при принятии решений в процессе оперативного управления полетом ОКТ.

Практическая значимость работы определяется прикладной направленностью исследований, включающих подготовку методических и практических рекомендаций по увеличению безошибочности процесса оперативного управления полетом путем оптимизации процесса обработки информации в ходе принятия решений при подготовке и реализации оперативного управления полетом ОКТ – пилотируемых космических аппаратов российского производства.

1. Разработан комплекс технологических средств, обеспечивающих формализованное представление знаний об оперативном управлении полетом ОКТ в форме онтологий. Созданный программный комплекс позволяет формализовать область знаний о процессах оперативного управления полетом Российского сегмента (РС) Международной космической станции (МКС). Собранные в данном комплексе формализованные знания являются основой для создания и функционирования систем поддержки принятия решений при оперативном управлении полетом РС МКС.

2. Разработан комплекс технологических средств для планирования работы специалистов Главной оперативной группы управления (ГОГУ) полетом РС МКС на базе онтологий и использовании мультиагентного подхода. Созданный программный комплекс позволяет планировать и оперативно перепла-

нирывать режимы работы специалистов ГОГУ с учетом изменения полетных операций в программе полета МКС.

3. Разработан комплекс технологических средств, обеспечивающих поддержку принятия решений в аварийной ситуации. Созданная автоматизированная система поддержки принятия решений в аварийной ситуации решает задачи повышения оперативности и обоснованности решений, принимаемых специалистами ГОГУ на основе автоматизации обработки, анализа и оптимального представления информации, требуемой для парирования аварийной ситуации.

4. Разработан комплекс технологических средств, обеспечивающих решение задач подготовки специалистов оперативного управления полетом РС МКС. Созданный программно-технический комплекс объединяет специализированные и функционально - моделирующие стенды.

Результаты работы используются при подготовке и реализации оперативного управления полетом всех пилотируемых космических аппаратов российского производства: Российского сегмента Международной космической станции, транспортных пилотируемых кораблей типа «Союз», транспортных грузовых кораблей типа «Прогресс».

Результаты работы были использованы в ходе эскизного и технического проектирования Перспективного транспортного корабля нового поколения, а также при разработке требований к системам управления полетом перспективными пилотируемыми ОКТ для исследования планет Солнечной системы (Луна, Марс).

На защиту выносятся:

1. Концепция организации подготовки и функционирования активных элементов (акторов) оперативного управления полетом ОКТ. Система организации функционирования активных элементов (акторов) оперативного управления полетом ОКТ, реализующая на практике концепцию организации подготовки и функционирования активных элементов (акторов) оперативного управления полетом ОКТ.

2. Онтологический подход в процессах обработки информации при оперативном управлении полетом ОКТ. Система теоретико-информационных моделей оперативного управления полетом ОКТ, являющаяся в качестве системы метамоделей основой онтологического моделирования процессов управления полетом ОКТ. Принципы построения технологического средства формализованного представления знаний.

3. Модели и методы, обеспечивающие обработку информации при поддержке решений в ходе организации работ активных элементов (акторов): метод сценарного моделирования процесса оперативного управления полетом, методика оценки специалистов, модели определения информационной нагрузки, мультиагентное моделирование определения на заданные полетные операции наиболее подходящих специалистов. Принципы построения мульт-

тиагентной системы организации оперативных работ специалистов управления полетом ОКТ.

4. Модели и методы, обеспечивающие обработку информации при поддержке решений в ходе оперативного управления полетом ОКТ: модели формирования оценки эффективности процесса оперативного управления, модели оценки ситуации выбора решения, процедуру выбора вариантов сценария, модели и методы оценки единичного и комплекса параметров, модели оценки временного резервирования, мультиагентное моделирование плана использования бортовых ресурсов. Принципы построения автоматизированной системы поддержки принятия решений в аварийной ситуации.

5. Модели и методы, обеспечивающие обработку информации при поддержке решений в ходе анализа процесса функционирования активных элементов (акторов): модели анализа отклонений в работе специалистов, технологии прогнозирования «узких» мест в организации процесса оперативного управления, модели построения сценариев тренировок специалистов. Структура и функциональные задачи программно-технического комплекса специализированных и функционально - моделирующих стендов.

6. Результаты практического применения предлагаемых методов и средств в процессе оперативного управления полетом ОКТ.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на международных и всероссийских конференциях, в том числе: на XXXVII чтениях, посвященных разработке научного наследия К.Э.Циолковского; на XXIX академических чтениях по космонавтике памяти С.П.Королева; на пятых научных чтениях по военной космонавтике памяти Н.К.Тихонравова; на XXX академических чтениях по космонавтике памяти С.П.Королева; на XLIV научных чтениях К.Э.Циолковского; на XXXIII академических чтениях по космонавтике памяти С.П.Королева; на XLV научных чтениях К.Э.Циолковского; на научных чтениях, посвященных 90-летию со дня рождения Ю.А. Мозжорина; на XXXIV академических чтениях по космонавтике памяти С.П.Королева; XXXV академических чтениях по космонавтике памяти С.П.Королева; на XXXVI академических чтениях по космонавтике памяти С.П.Королева; на LXXII научных чтениях К.Э.Циолковского; на XIV международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (ПУМС-12); на XXXVI академических чтениях по космонавтике памяти С.П.Королева; на XV международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (ПУМС-13); на XVIII международной конференции «Системный анализ, управление и навигация».

Публикации. Основные положения диссертации изложены в 32 опубликованных работах, в том числе 12 в изданиях, рекомендуемых ВАК.

Без соавторства написаны 20 работ, в том числе 5 в изданиях, рекомендуемых ВАК. Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве, состоит в следующем: [3, 8, 10] – постановка задачи, обоснование подходов к решению, разработка математических моделей для оперативного управления

полетом; [6, 28, 29] – постановка задачи, разработка метода формализация знаний о процессах оперативного управления полетом; [9] – постановка задачи, разработка теоретико-информационной модели распределенного управления полетом; [11,12,13] – разработка методических основ анализа автоматизированной системы управления полетами, формулирование направлений эволюции систем управления полетом в будущем; [27] – разработка научных принципов создания и использования специализированных мультиагентных систем в области оперативного управления ОКТ; [32] – разработка научных принципов использования тренировок экипажей МКС для подготовки групп управления полетом ЦУПов международных партнеров.

Личный вклад. Все результаты, составляющие основное содержание диссертации, получены автором самостоятельно. Практическая реализация предложенных методов и подходов обеспечивалась как лично автором, так и совместно со специалистами, обеспечивающими оперативное управление полетом РС МКС (они являются соавторами соответствующих публикаций).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** диссертации обоснована актуальность темы диссертации, анализируется степень научно-технической разработанности проблемы, формулируются цель и задачи исследования, определяется предмет исследования, показаны научная новизна, практическая значимость и формы апробации работы.

Первая глава диссертации посвящена анализу текущего состояния и перспективных проблем согласования и принятия решений при оперативном управлении полетом объектов ракетной техники с Земли. Проведен анализ объектов космической техники как объектов управления, анализ процесса оперативного управления полетом с Земли как реализации последовательности операций, анализ текущего состояния и перспектив развития автоматизированных систем управления полетом объектов космической техники.

В результате анализа были сделаны следующие заключения. Современные ОКТ представляют собой сложные системы направленные на решение многоцелевых задач в условиях достаточно агрессивной среды космического пространства. Для их описания используются различные источники информации. Для структурирования информации может применяться набор классификаций, позволяющий описать ОКТ с различных точек зрения в зависимости от решаемых задач. Полный информационный портрет ОКТ может быть получен только как совокупность различных аспектов его структуры и функционирования. В настоящее время имеет место тенденция дальнейшего усложнения как самих ОКТ, так и инструментов их управления (см. таб.1), что, безусловно, приводит и будет приводить в будущем к увеличению объема информации, необходимой для управления ОКТ.

Таб. 1. Возрастание сложности управления пилотируемыми объектами

Объект управления	Количество выполняемых операций	Количество управляющих воздействий	Количество телеметрических параметров
«Восток» 1961	5	48	400
«Союз» 1967	30	256	1000
«Мир» 1986	500	4000	14000
РС МКС 2012	94 000	14 000	более 80 000

Для реализации управления полетом ОКТ создается автоматизированная система управления полетом (АСУП) ОКТ. АСУП ОКТ представляет собой, как правило, сложную организационно-техническую систему, которая состоит из множества взаимодействующих друг с другом разнородных элементов. В настоящее время проявляется тенденция с одной стороны усложнения отдельных АСУП, с другой – объединения нескольких АСУП в рамках единой перспективной космической инфраструктуры, причем такое объединение представляет собой открытую систему. Были сформулированы основные направления эволюции АСУП в будущем:

1) Решение задач управления полетом перспективных ОКТ можно рассматривать как функцию взаимодействующих сложных открытых систем, направленную на упорядочение, сохранение и повышение их целостности, т.е. на достижение устойчивых состояний в условиях требований достижения поставленных целей и влияния возмущающих факторов.

2) Перспективные АСУП будут состоять из различного числа управляющих звеньев, причем количество и взаимосвязь этих звеньев будет динамически изменяться в процессе реализации программы полета в зависимости от текущих целей и задач перспективной космической инфраструктуры.

3) Структура, в рамках которой происходит взаимодействие таких управляющих звеньев, вполне может быть подвержена изменениям от жесткой иерархической организации к усилению горизонтальных связей и обратно.

При этом изменения структуры могут определяться: целями и задачами полета объектов перспективной космической инфраструктуры; надежностью и эффективностью функционирования управляющих звеньев; надежностью и эффективностью существующих каналов связи, как между управляющими звеньями, так и между управляющими звеньями и космическим комплексом; накопленным опытом управления.

4) При взаимодействии управляющих звеньев одновременно будут идти процессы интеграции и дифференциации. Дифференциация – как процесс появления новых участников процесса управления полетом, новых управляющих звеньев, при этом возможна ситуация деления одного участника на несколько

управляющих звеньев. Интеграции - как процесс объединения всех участников управления полетом в единой системе.

5) Сложность АСУП будет возрастать как результат постоянного протекания процессов интеграции и дифференциации новых участников процесса управления полетом, новых управляющих звеньев.

6) Информационный обмен между управляющими звеньями будет возрастать, что будет предъявлять определенные требования как к средствам обмена информацией, например наземной сетевой инфраструктуре и интерфейсам, так и к методам и процедурам организации взаимодействия.

7) В организации процесса управления полетом «центр тяжести» продолжит смещаться от иерархической структуры, обеспечивающей прямое подчинение одних структурных элементов другим, к организации единого информационного пространства обеспечивающего достижение максимально возможного уровня эффективности функционирования, как отдельных управляющих звеньев, так и системы управления полетом в целом.

Одним из важных аспектов, на который оказывают значительное влияние особенности текущего состояния и перспектив развития ОКТ и АСУП, является процесс принятия решений специалистами в ходе оперативного управления полетом ОКТ. Процесс выработки и принятия решения, как правило, является процессом, основанным на взаимодействии некоторого коллектива специалистов. Отсутствие взаимопонимания специалистов делает практически невозможным выработку и принятие качественного решения.

Научные работы в области организации взаимодействия специалистов оперативного управления полетом и выработки ими совместных, согласованных всеми сторонами решений в настоящее время практически отсутствуют. Работы в области принятия коллективных решений и работы в области группового взаимодействия не в полной мере удовлетворяют практическим требованиям, поскольку имеют существенные ограничения охвата предметной области, что снижает их практическую ценность в рамках функционирования АСУП как сложной системы.

Вторая глава диссертации посвящена методологическим основам принятия решений в условиях оперативного управления полетом ОКТ с Земли. Было показано, что парадигма классической рациональности имеет значительные ограничения при описании и исследовании организационно-технических систем, в которых одними из основных звеньев выступают специалисты-операторы. Поскольку постнеклассическая рациональность исходит из того, что знания об объекте соотносятся не только с особенностями его взаимодействия со средствами наблюдения, но и с ценностно-целевыми структурами деятельности субъекта, то оппозиция субъекта и объекта заменяется в постнеклассической подходе их суперпозицией, а место всеобщего «унифицированного» субъекта, каковым является субъект классической рациональности, занимает индивид, личность. Поэтому смена методологической парадигмы классической рациональности на парадигму постнеклассической рациональности

позволяет более полно учесть в процессе исследования субъективные знания и устремления человека-оператора, а главное представить процесс принятия решений как процесс поиска и достижения взаимопонимания разными специалистами.

Для решения задач принятия согласованных решений в процессе оперативного управления полетом ОКТ были определены этапы и элементы создания интерсубъективной системы. Поскольку в основание постнеклассической рациональности ставятся понятия субъективности, интерсубъективности и коммуникативного действия, при этом понятие интерсубъективности, предложенное Э. Гуссерлем, указывает на внутреннюю социальность индивидуального сознания. То вполне естественно, что атомарным элементом интерсубъективных систем, способным к саморазвитию и самоорганизации, является «актор» a_i . В общем случае в качестве актора выступает человек с его субъективными знаниями и опытом, однако в некоторых случаях возможно выделение актора как некоторого коллективного субъекта.

Актер осознает сложившуюся проблемную ситуацию и осуществляет познавательно-деятельностную функцию для её регулирования (разрешения). Для каждого момента времени t каждый из акторов a_i , в зависимости от состояния окружающей природы $\partial_j \in \Theta$ может и должен предпринимать действия для разрешения проблемной ситуации: $\partial_j : a_i(o, d, r) \rightarrow u_j$, где o – понимание актором проблемной ситуации, d – состояние актора, r – ресурсы актора. Акторы являются неоднородными, поскольку каждый из них, в общем случае, имеет свой субъективный взгляд на мир. Т.е. пусть задано некоторое множество акторов $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_l\}$, то в общем случае: $\forall i \in l, \forall j \in l, a_j \neq a_i$, хотя вполне допустимо: $a_i(o, d, r) \cap a_j(o, d, r)$.

Невозможность разрешения проблемной ситуации каждым актором в отдельности вынуждает акторов кооперироваться, т.е. создавать интерсубъективную систему. Таким образом, множество акторов, участвующих в разрешении проблемной ситуации $A' = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_k\}$ приходят сначала к совместному осознанию проблемной ситуации: $\mathfrak{Z} : A' \rightarrow O'$, где O' – интерсубъективная онтологическая модель складывающейся ситуации, \mathfrak{Z} – технологии формирования онтологической модели ситуации. А затем и к ее разрешению: $\mathfrak{X} : A' \rightarrow G$, где \mathfrak{X} – технологии формирования согласованных решений, направленных на разрешение ситуации, G – результат деятельности акторов по разрешению ситуации.

В работе были выделены акторы, участвующие в ходе регулирования проблемной ситуации в процессе оперативного управления полетом ОКТ. Определены характеристики персональных и интерсубъективных знаний, используемых в ходе регулирования проблемной ситуации. Описана интерсубъективная модель выработки и принятия решений при оперативном управлении полетом ОКТ (рис.1).

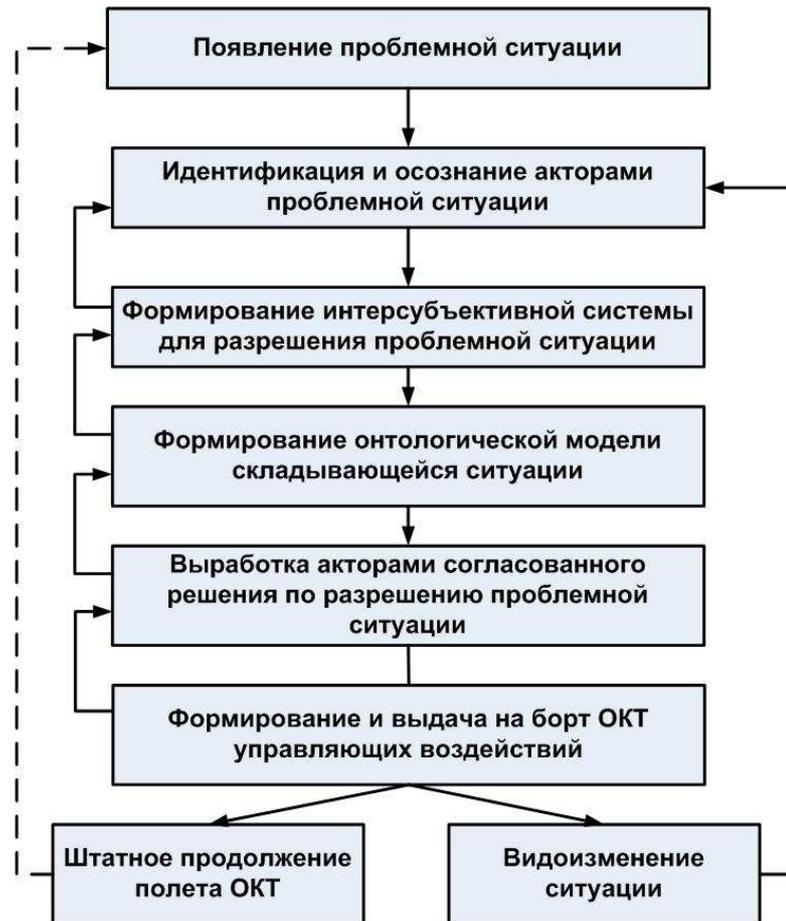


Рис.1. Процесс выработки и принятия решений в рамках интерсубъективной модели

С целью повышения эффективности взаимодействия специалистов и повышения качества принятия решений в рамках функционирования АСУП была сформулирована научно обоснованная методологическая база в виде концепции организации подготовки и реализации взаимодействия акторов оперативного управления полетом ОКТ. Сущность концепции выражается следующими положениями:

1. Основанная тяжесть процесса принятия решений при оперативном управлении полетом современными ОКТ лежит на наземной компоненте автоматизированной системы управления полетом, это обусловлено с одной стороны значительно большими возможностями наземной компоненты в сравнении с бортовой, с другой стороны – высоким развитием современных средств обмена информацией с бортом КА. Есть все основания полагать, что в ближайшей перспективе подобная ситуация сохранится.

2. Достижение целей оперативного управления полетом требует принятия решений, которые должны быть выработаны и согласованы множеством активных элементов (акторов), входящих в состав наземной компоненты автома-

тизированной системы управления полетом и определяемым в зависимости от складывающейся ситуации оперативного управления полета ОКТ.

3. Каждый из акторов заранее подготовлен к решению задач по управлению полетом, т.е. каждый из акторов для полетной ситуации способен сформировать компетентное предпонимание полетной ситуации.

4. Каждый из акторов может иметь собственные интересы, планы, требования; оперативная ситуация управления полетом может оцениваться каждым из акторов исходя из собственного видения этой ситуации и собственных критериев оценки, однако для достижения целей полета объективно существует необходимость выработки и реализации согласованного решения.

5. Согласованное решение акторов, участвующих в процессе управления полетом, является результатом с одной стороны, эффективного использования заранее определенных интерфейсов и протоколов взаимодействия, с другой стороны является продуктом взаимопонимания, достигнутого акторами в процессе информационного взаимодействия.

6. Процесс выработки и принятия согласованного акторами решения проходит в рамках интерсубъективной системы, формируемой акторами для разрешения сложившейся полетной ситуации. Организация работы акторов в рамках этой системы основывается на холонических принципах.

7. Основой принятия решения акторами в рамках сформированной интерсубъективной системы является онтологическая модель ситуации, которую акторы формируют и модифицируют в процессе разрешения ситуации оперативного управления полетом ОКТ. В свою очередь, формируемые для каждой полетной ситуации, онтологические модели ситуаций основываются на комплексе знаний, образующих метамодель оперативного управления полетом и задающего онтологические спецификации процесса оперативное управление полета.

8. Эффективность принимаемого акторами совместного решения зависит с одной стороны от свойств и особенностей каждого из акторов, с другой стороны зависит от качества организации процесса достижения акторами взаимопонимания.

9. Одним из основных условий повышения качества оперативных решений является наличие «обратной связи» в процессе функционирования акторов, в качестве такой «обратной связи» могут выступать: постоянный мониторинг процесса взаимодействия акторов и меры по улучшению этого процесса на основе результатов такого мониторинга.

Такая методологическая база позволяет обосновывать выбор объекта, предмета и основных методов исследования и совершенствования процессов взаимодействия и принятия решения при функционировании АСУП. Для практической реализации разработанной концепции в процессе оперативного управления полетом разработаны методические основы в виде системы организации взаимодействия акторов при оперативном управлении ОКТ. Система организации взаимодействия акторов при оперативном управлении ОКТ

включат в себя описания этапов организации и функционирования интересубъективной системы и позволяет улучшить на каждом из этапов работу интересубъективной системы.

Создание интересубъективной системы возможно, если в ее основе лежит рациональная аргументация, принимаемая всеми акторами. Подобная рациональная аргументация будет приниматься всеми акторами, если в данной конкретной проблемной ситуации установлено взаимопонимание по ряду различных областей знаний (онтологий), определяемых видами интересубъективности – нормативной, семантической, эмпирической, логической, операционной. Были рассмотрены особенности формирования этих областей знаний в ходе оперативного управления полетом ОКТ.

В **третьей главе** диссертации рассматриваются основы онтологического синтеза знаний о процессах оперативного управления полетом ОКТ. Одной из основных особенностей управления полетом ОКТ является необходимость использования большого объема разнородных знаний в относительно компактные промежутки времени. В настоящее время система управления полетом построена таким образом, что основной объем знаний, относящихся к оперативному управлению полетом, хранится, используется и дополняется на Земле. С возрастанием общего объема знаний, обрабатываемых при управлении полетом, увеличивается и объем знаний, обрабатываемых каждой из предметных областей управления полетом. При этом информационные возможности, имеющиеся в каждой из предметных областей, - ограничены. Это вполне естественно приводит или к превышению допустимой информационной нагрузки, или к более глубокому сосредоточению на «своей» предметной области за счет снижения внимания к смежным вопросам. Одним из выходов из сложившейся ситуации видится формализация знаний о процессе оперативного управления полетом ОКТ на основе системных принципов онтологического моделирования.

Формально под онтологией понимается модель вида: $O = \langle C, R, F \rangle$, где C - конечное множество концептов (понятий) предметной области, R - конечное множество отношений между концептами (понятиями) предметной области, F - конечное множество функций аксиоматизации, заданных на концептах и/или отношениях онтологии. Т.е. онтология представляет собой некий словарь понятий предметной области, в котором понятия связаны между собой определенным образом и устанавливаются всегда истинные положения (аксиомы).

Для решения задач оперативного управления полетом система моделей, в которую входят и онтологические модели, описывающая предметную область, должна быть определенным образом структурирована. В основе такого структурирования лежит иерархическая стратификация моделей, выполненная в соответствии с принципами онтологического моделирования.

Для оперативного управления полетом ОКТ были определены примерные группы баз знаний: базы знаний, характеризующих объект управления и

базы знаний, характеризующие АСУП. Рассмотрен процесс структуризации знаний в виде формализованной онтологии. В этом случае возможно объединений нескольких предметных областей оперативного управления полетом ОКТ в единое информационное пространство, образуемое формализованной семантической сетью. Объекты и процессы оперативного управления полетом ОКТ, описанные в рабочей конструкторской и эксплуатационной документации, определенным образом связываются и структурируются, образуя формализованную онтологию процесса оперативного управления полетом ОКТ либо части его части.

Формализованная семантическая сеть является сложной структурой, состоящей из большого числа концептов предметной области. Однако, в основе такой структуры, как правило, лежат метамодел, описывающие язык онтологических спецификаций. Поэтому на базе теоретико-множественного описания объектов и процесса оперативного управления полетом ОКТ была сформирована система метамоделей оперативного управления полетом. Эта система включает в себя: теоретико-информационная модель ОКТ как объекта оперативного управления, теоретико-информационная модель оперативного контура управления полетом ОКТ, теоретико-информационная модель распределённого оперативного управления полётом ОКТ, теоретико-информационная модель технологии управления полетом ОКТ.

В качестве примера рассмотрим теоретико-информационную модель ОКТ как объект оперативного управления (рис.2):

$S_{OY} = \langle W_{OY}, Q_{OY}, R_{OY}, F_{OY}, O_{OY}, \Omega_{OY} \rangle$, где $W_{OY} = \{w_{OY}\}$ - множество компонентов ОКТ, $Q_{OY} = \{q_{OY}\}$ - множество внешних воздействий на элементы W_{OY} , $R_{OY} = \{R_{OY}\}$ - множество состояний элементов W_{OY} , $\Omega_{OY} = \{\omega_{OY}\}$ - множество ресурсов ОКТ, $F_{OY} = \{f_{OY}\}$ - множество отображений, осуществляемых на W_{OY} , Q_{OY} и R_{OY} , $O_{OY} = \{o_{OY}\}$ - множество отношений над элементами W_{OY} , Q_{OY} и R_{OY} , при этом $F_{OY} : (W_{OY}, Q_{OY}, R_{OY}, \Omega_{OY}) \rightarrow R_{OY}$, $O_{OY} : (W_{OY}^k, Q_{OY}^l, R_{OY}^m, \Omega_{OY}^n)$, множества W_{OY} , Q_{OY} , Ω_{OY} , Q_{OY} и арности k, l, m, n в каждом конкретном случае формируются в зависимости от особенностей ОКТ и средств связи которыми управляет АСУП.

Все внешние воздействия Q_{OY} на элементы множества W_{OY} делятся на два класса – множество управляющие воздействия U на ОКТ со стороны АСУП и множество возмущающих факторов D , т.е. $Q_{OY} = \{U, D\}$.

Множество U содержит в себе все доступные виды управляющих воздействия, с помощью которых АСУП имеет возможность влиять на течение процессов на борту ОКТ. Учитывая, что ОКТ представляет собой систему «человек-техника», множество управляющих воздействий представляет собой совокупность: $U = \{U_{\text{борт}}, U_{\text{экипаж}}, U_{\text{э-бс}}\}$, где $U_{\text{борт}}$ – множество управляющих воздействий для управления бортовыми системами ОКТ, доступное в АСУП,

$U_{\text{экипаж}}$ – множество указаний, рекомендаций, методических указаний, радиogramм, сообщений для экипажа, которые может выдать АСУП, $U_{\text{э-бс}}$ – множество управляющих воздействий для управления бортовыми системами ОКТ со стороны экипажа.

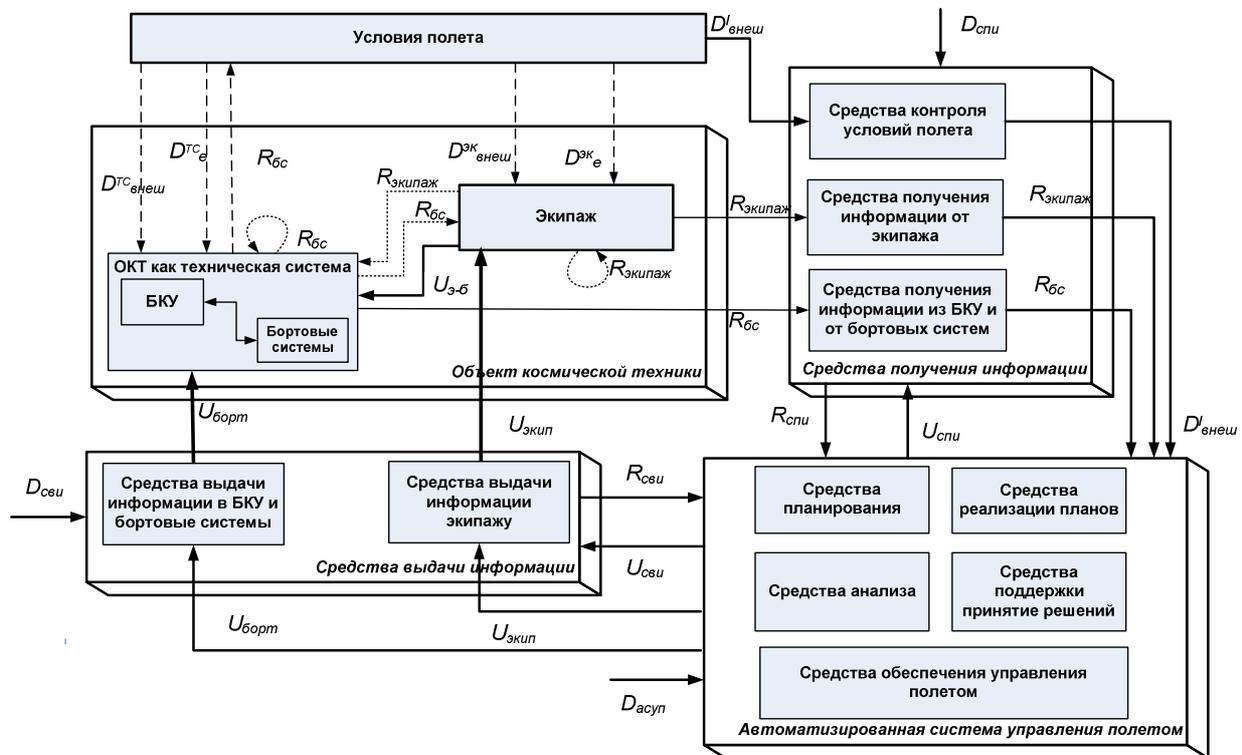


Рис.2. Модель оперативного контура управления

Множество D содержит в себе все возмущающие факторы, влияющие на ОКТ. К таким факторам можно отнести внешние $D_{\text{внеш}}$ и внутренние $D_{\text{внутр}}$ возмущающие воздействия. влиянием условий полета ОКТ на бортовые системы и экипажа. Внешние возмущающие факторы обуславливаются состоянием бортовых систем ОКТ и экипажа, т.е.: $D_{\text{внутр}} = f_{\text{бс}}(R_{\text{бс}}) \cup f_{\text{экипаж}}(R_{\text{экипаж}})$, где $R_{\text{бс}}$ - совокупность множеств состояний бортовых систем ОКТ, $R_{\text{экипаж}}$ - совокупность множеств состояний экипажа, $f_{\text{бс}}$ и $f_{\text{экипаж}}$ – операторы, учитывающие зависимость величины возмущающих воздействий от состояния экипажа и бортовых систем. К внутренним возмущающим воздействиям относятся: отказы и сбои в работе систем ОКТ, ошибки экипажа и т.д. Обобщая изложенное, в идеальном случае множество D описывается выражением: $D = \{D_{\text{внеш}}, D_{\text{внутр}}\}$

Для АСУП необходимо сделать следующее замечание. Реально при оценке возмущающих ОКТ факторов в АСУП имеется возможность наблюдать не сами внешние и внутренние возмущающие факторы или их влияние на ОКТ, а имеющуюся информацию о наблюдаемых возмущениях $D_{\text{внеш}}^I$ и $D_{\text{внутр}}^I$:

$D'_{внеш} = f_{внеш}(D_{внеш})$, $D'_{внутр} = f_{внутр}(D_{внутр})$, где $f_{внутр}$ и $f_{внеш}$ – операторы, учитывающие работу тракта получения информации с борта ОКТ и тракта получения информации о наблюдаемых внешних воздействиях

Таким образом, состояние бортовых систем ОКТ зависит:

1) от текущего «среза» состояния ОКТ как системы «человек-техника», которое в свою очередь складывается из состояния экипажа $R_{экипаж}$ и состояния бортовых систем $R_{бс}$;

2) от множества воздействий на бортовые системы, которое состоит из управляющих воздействий выданных на бортовые системы со стороны экипажа $U_{э-б}$ и со стороны АСУП- $U_{бс}, U_{бк}, U_{бк-бс}$, внешних контролируемых $D_{внеш}^{TC}$ и неконтролируемых возмущающих воздействий D_E^{TC} , а также внутренних возмущающих воздействий со стороны экипажа или самих же бортовых систем, влияние которых описывается состоянием экипажа $R_{экипаж}$ и состоянием бортовых систем $R_{бс}$.

3) От ресурсов бортовых систем $\Omega_{бс}$ и экипажа $\Omega_{эк}$.

Структурирование знаний с помощью дает возможность объединения разнородных знаний об оперативном управлении полетом. Такие объединенные знания обеспечивают поддержку принятия решений акторов в процессе разрешения комплексных вопросов оперативного управления полетом, затрагивающих сразу несколько предметных областей. В некоторых случаях знания, структурированные в виде онтологий знания, вполне могут использоваться акторами непосредственно, например, в виде справочников с гиперссылками. Однако во многих случаях требуются специализированные системы обработки информации, содержащейся в онтологии. Особенно остро стоит вопрос при распределении и перераспределении ресурсов, использующихся при оперативном управлении полетом ОКТ. В данной работе в качестве таких систем предлагается использовать системы, реализующие мультиагентную технологию.

Были рассмотрены особенности построения мультиагентных систем (МАС) для решения задач поддержки принятия решений в ходе оперативного управления полетом ОКТ. Для создания МАС были использованы принципы сетей потребностей и возможностей (ПВ-сети). В таких системах вводится два основных класса агентов: агенты потребностей (заказов) и агенты возможностей (ресурсов), которые находятся в постоянном поиске друг друга. Цель агента потребности - найти для себя наилучшую по заданным параметрам возможность для реализации, а цель агента возможности – максимальная эффективность использования своего ресурса.

Формально ПВ-сеть можно представить как систему вида: $G = \{N, E, P, g\}$, где N - множество агентов потребностей и возможностей для заданной предметной области, E - множество возможных отношений между агентами потребностей

и возможностей; P - множество правил принятия решений и установления/разрыва связей; g - множество целей, заданных агентам.

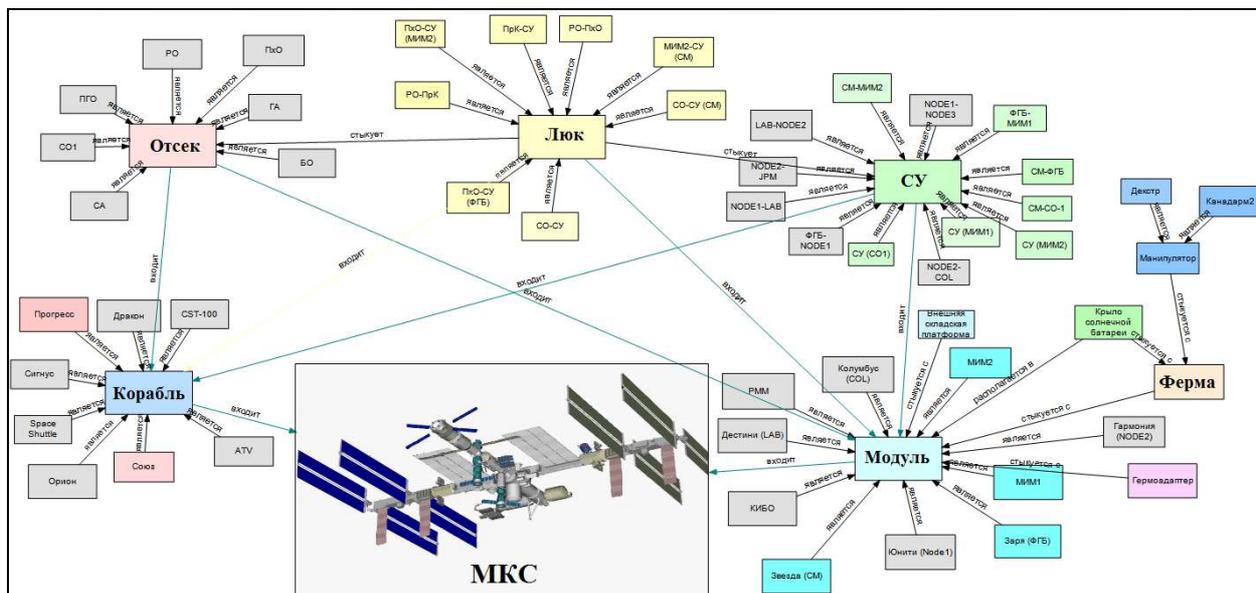


Рис.3. Пример формализованной онтологии для МКС

Агенты потребностей и возможностей N в ходе функционирования мультиагентной системы на некотором временном интервале стараются достичь собственные цели g , вступая в определенные отношения между собой E . Для принятия решений агентам используют правила P , определяющие возможность достижения поставленных целей. В частности, агент возможности должен узнать о наличии той или иной потребности и сопоставить свои параметры с параметрами этой потребности. Если параметры удовлетворяют условию совпадения интересов, то агент возможности может вступить в переговоры с агентом потребности, если же нет - должен искать другую потребность (и наоборот). Окончательное решение каждым из агентов при наличии нескольких альтернативных вариантов принимается на основе целей, устанавливаемых индивидуально. Реализацией ПВ-сети является определенная, в некотором промежуточном смысле конечная конфигурация ПВ-сети, отражающая состояние агентов потребностей и возможностей открытой системы и отношения между ними в заданный момент времени.

В качестве практической реализации предлагаемого подхода к формализации знаний о процессах оперативного управления полетом ОКТ был разработан комплекс технологических средств, обеспечивающих формализованное представление знаний об оперативном управлении полетом ОКТ в форме онтологий. Созданный программный комплекс позволяет путем онтологического синтеза описывать объекты и процессы оперативного управления полетом Российского сегмента (РС) Международной космической станции (МКС) (см.рис.3).

Разработанное формализованное представление знаний о процессах оперативного управления полетом в форме онтологий обеспечивает: единство терминологии; возможность расширения знаний в случае появления новых модулей МКС, использования новых кораблей, деталей, грузов и т.д.; возможность гибкой перенастройки системы без перепрограммирования; обеспечивается возможность моделирования различных вариантов конфигурации МКС; в случае создания систем поддержки принятия решений, использующие мультиагентные технологии, программные агенты могут использовать знания данной онтологии об объектах в ходе работы и поддержки принятия решений.

Четвертая глава диссертации посвящена методам и технологическим средствам обработки информации, используемым для структурной организации процесса работы акторов в ходе оперативного управления полетом ОКТ. Поскольку появление проблемной ситуации в ходе оперативного управления полетом ОКТ является случайным событием, поэтому заранее предсказать все особенности протекания процесса взаимодействия акторов и принятия решения, возникающего как результат взаимопонимания этих акторов достаточно сложно.

Однако вполне возможно заранее оценить сценарии развития ситуации оперативного управления полетом на основе планов полета и возможных нештатных ситуаций, а также подобрать наиболее подходящих акторов для реализации оперативного управления полетом в ходе выполнения тех или иных полетных операций. Это создает потенциальные условия успешного разрешения проблемной ситуации, в случае ее появления.

Для определения условий возможного возникновения проблемных ситуаций разработана методология сценарного моделирования процесса оперативного управления полетом ОКТ.

Под событием управления полета будем понимать выражение: $W = W(P(t_i), t_i, \Delta\tau_i)$, где $P(t_i) = \{p_j(t_i)\}$ - множество параметров, описывающих состояние используемых моделей, t_i - момент времени начала события, $\Delta\tau_i$ - длительность, которая описывает интервал на временной оси, отражающий изменения процесса достижения рассматриваемой цели.

Под алфавитом событий будем понимать множество: $\Theta = \{W_k\}$, где $k \in [1, \dots, K]$, K - полное количество классов событий возможное при достижении рассматриваемой цели. Таким образом, все множество классов возможных событий при достижении рассматриваемой цели будет образовывать алфавит событий конкретного сценария.

Под сценарием управления полетом будем понимать последовательность (цепочку) событий, упорядоченных во времени из выбранного алфавита: $\omega = \{W_m\}$, которая заканчивается достижением определенной частной цели управления полетом ОКТ.

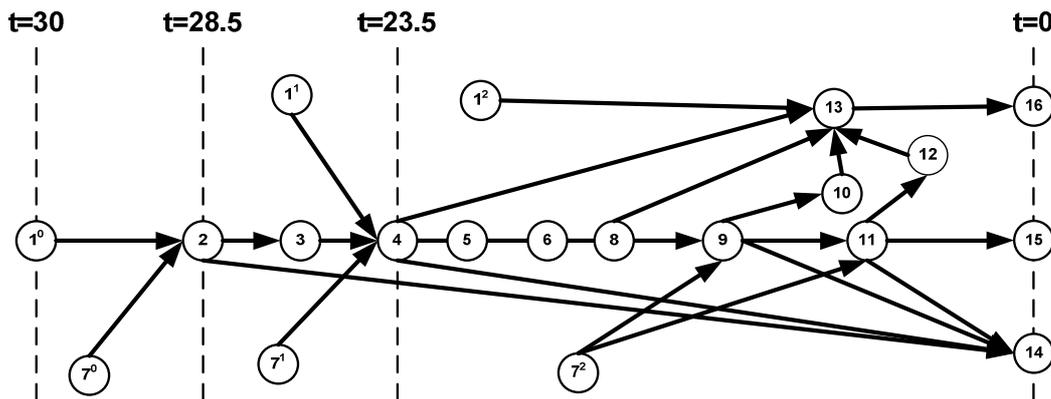


Рис.4. Пример сценария уклонения МКС от «космического мусора»

1- информация об опасном сближении МКС с космическим мусором (КМ); 2- принятие решения о начале работ по подготовке операций по уклонению МКС от КМ; 3- подготовка и согласование международных документов планирования; 4- окончательное решение о проведении операций по уклонению МКС от КМ; 5 - подготовка управляющих воздействий для бортовых систем МКС; 6- деление управляющих воздействий на наземных стендах; 7- уточнение информации об опасном сближении; 8 - ошибка в управляющих воздействиях; 9- передача в бортовой контур управления МКС управляющих воздействий; 10 – неудача в передаче управляющих воздействий; 11 - выполнение маневра уклонения от КМ; 12- неудачное выполнение маневра уклонения от КМ, например, отказ двигательной установки; 13- подготовка экипажа и систем МКС к разгерметизации и досрочному покиданию; 14 - исчезновение ситуации опасного сближения с КМ из-за снижения вероятности столкновения; 15- исчезновение ситуации опасного сближения с КМ в результате выполнения маневра уклонения; 16 - ситуация опасного сближения с КМ.

Под ситуацией управления полетом будем понимать последствия цепочки событий, произошедших к моменту времени t_i :
$$St = f\left(\bigcup_{k=1}^{i-1} W_k t_i\right)$$

Под пространством сценариев будем понимать множество: $\Omega = \{\omega_j\}$, где $j \in [1, \dots, M]$, M – полное количество сценариев, возможных при достижении рассматриваемой цели управления полетом.

Были проанализированы особенности сценарного моделирования оперативного управления полетом ОКТ. Определены элементы и разработаны приемы формализации сценария. Пример сценария уклонения МКС от «космического мусора» представлен на рис.3.

Были определены особенности использования алфавита событий при синтезе сценария. Поскольку события могут повторяться, алфавит событий может использоваться для конструирования возможных сценариев как логических комбинаций событий из алфавита – сложных событий на временной оси. На-

пример, при алфавите событий $\{W_1, W_2, W_3\}$ сложное событие $W = (W_1 \wedge W_2 \vee W_3)$ означает, что возможна одновременная реализация событий W_1 и W_2 или только W_3 . Определим операцию контроля определенной бортовой системы как сложное событие W , W_1 – операция контроля состояния этой бортовой системы экипажем ОКТ, W_2 – доклад экипажа ОКТ группе управления полетом ОКТ о состоянии этой бортовой системы, W_3 – операция контроля состояния данной бортовой системы группой управления по телеметрической информации. В этом случае операция контроля определенной бортовой системы, определяемая как $W = (W_1 \wedge W_1 \vee W_1)$ будет означать, что для группы управления имеется возможность ее реализации или путем использования данных телеметрии или докладов экипажа. Реализация последовательностей $W' = W_1 W_2 W_3$ и $W'' = W_3 W_1 W_2$ в процессе управления полетом ОКТ могут приводить к разным последствиям, в том числе изменениям в состоянии ОКТ. Для рассмотренного примера в случае W' описана ситуация подтверждения для группы управления на основании данных телеметрии информации, полученной от экипажа, а в случае W'' описана ситуация уточнения данных телеметрии с помощью экипажа.

Для получения возможности оценки специалистов как потенциальных акторов разрешения проблемной ситуации оперативного управления полетом рассмотрена методика оценки специалистов управления полетом ОКТ.

Информационная нагрузка определяет во многом условия, в которых формируется предпонимание проблемной ситуации специалистом, поэтому еще до формирования интерсубъективной системы по разрешению конкретной ситуации, предпонимание специалиста будет определяться, в том числе, уровнем информационной нагрузки, которую он испытывает в процессе реализации программы полета. Наибольшую информационную нагрузку на этапе формирования предпонимания ситуации испытывают специалисты, которые ответственны за оперативный контроль состояния ОКТ, поэтому рассматривается именно анализ информационной нагрузки в рамках иерархической системы контроля.

Иерархическая структура контроля в данном случае состоит из n уровней контроля, каждому из которых определяется номер i , при этом $1 \leq i \leq n$. Верхний, самый общий уровень контроля имеет номер 1, низший, самый детальный – номер n . Таким образом, результаты детального контроля состояния блоков и агрегатов на низших уровнях используются при контроле состояния космического аппарата в целом на верхних уровнях. На каждом из уровней для получения результата контроля происходит обработка некоторого количества информации. Как правило, на каждом уровне иерархии, может существовать m_i структурных элементов, каждому из которых определяется номер j , при этом $1 \leq j \leq m_i$.

В формальном описании иерархической системы контроля максимальная информационная нагрузка может быть задана некоторой положительной

функцией $I_{\max}(i, j, t)$, где $1 \leq i \leq n$ и $1 \leq j \leq m_i$. Минимальная информационная нагрузка также может быть задана некоторой положительной функцией $I_{\min}(i, j, t)$, где $1 \leq i \leq n$ и $1 \leq j \leq m_i$: $I_{\min}(i-1, j, t) \approx I_{\min}(i, j-1, t) \approx I_{\min}(i, j, t)$, при $1 \leq i \leq n$ и $1 \leq j \leq m_i$

Для определенного момента времени t , в который реализуется вполне определенный план полета, с использованием определенным набором средств, инструментов управления полетом, известен срез работоспособности бортовой аппаратуры и внешних условий полета вполне возможна оценка текущей информационной нагрузки: $I_{\min}(i, j, t) < I_{\text{real}}(i, j, t) < I_{\max}(i, j, t)$

Система «ОКТ – система контроля» представляет собой замкнутый самоорганизующийся, в определенном смысле, контур, имеющий прямые и обратные связи. Уровень информационной нагрузки на любой структурный элемент, существующий в рассматриваемый период времени, является результатом системного взаимодействия всех компонент данной системы.

В качестве компенсации повышенной информационной нагрузки на отдельные звенья может быть использовано перераспределение информации. Могут быть выделены два случая: перераспределение между соседними уровнями иерархии и перераспределение между отдаленными уровнями иерархии.

В первом случае для формального описания потока информационной нагрузки от структурного элемента j -го элемента i -го уровня к k -тому элементу $i+1$ -го уровня в момент времени t определим как $F((i, j), (i+1, k), t)$.

Определим, что: $F((i, j), (i+1, k), t) > 0$ при $I_{\text{real}}(i, j, t) > I_{\text{real}}(i+1, k, t)$, т.е. поток информационной нагрузки идет от верхнего элемента к нижнему, $F((i, j), (i+1, k), t) < 0$ при $I_{\text{real}}(i, j, t) < I_{\text{real}}(i+1, k, t)$, т.е. поток информационной нагрузки идет от нижнего элемента к верхнему, $F((i, j), (i+1, k), t) = 0$ при $I_{\text{real}}(i, j, t) = I_{\text{real}}(i+1, k, t)$, т.е. потока информационной нагрузки между элементами нет. Тогда поток информационной нагрузки в общем виде можно определить как:

$$F((i, j), (i+1, k), t) = \left\langle \begin{array}{l} (\alpha' \times (I_{\text{real}}(i, j, t) - I_{\text{real}}(i+1, k, t)), (\beta' \times (I_{\text{real}}(i+1, k, t) - I_{\text{real}}(i, j, t))), \\ (I_{\text{real}}(i, j, t), I_{\text{real}}(i+1, k, t), i, j, i+1, k, t) \end{array} \right\rangle$$

$$\text{где } \alpha' \text{ и } \beta': \alpha' = \begin{cases} \alpha & \text{при } I_{\text{real}}(i, j, t) > I_{\text{real}}(i+1, k, t) \\ 0 & \text{при } I_{\text{real}}(i, j, t) < I_{\text{real}}(i+1, k, t) \end{cases} \beta' = \begin{cases} 0 & \text{при } I_{\text{real}}(i, j, t) > I_{\text{real}}(i+1, k, t) \\ -\beta & \text{при } I_{\text{real}}(i, j, t) < I_{\text{real}}(i+1, k, t) \end{cases}$$

при этом α и β - некоторые положительные функции, т.е. всегда $\alpha > 0$ и $\beta > 0$ при всех значениях аргументов, от которых они зависят.

Во втором случае формально описать поток информационной нагрузки от структурного элемента j -го элемента i -го уровня к k -тому элементу q -го уровня в момент времени t можно как $f((i, j), (q, k), t)$.

Определим, что $f((i, j), (q, k), t) > 0$ при $I_{\text{real}}(i, j, t) > I_{\text{real}}(q, k, t)$, т.е. поток информационной нагрузки идет от верхнего элемента к нижнему, $f((i, j), (q, k), t) < 0$ при $I_{\text{real}}(i, j, t) < I_{\text{real}}(q, k, t)$, т.е. поток информационной нагрузки

идет от нижнего элемента к верхнему, $f((i, j), (q, k), t) = 0$ при $I_{real}(i, j, t) = I_{real}(q, k, t)$, т.е. потока информационной нагрузки между элементами нет. Тогда поток информационной нагрузки в общем виде можно определить как:

$$f((i, j), (q, k), t) = \left\langle \begin{matrix} (\gamma' \times (I_{real}(i, j, t) - I_{real}(q, k, t)), (\delta' \times (I_{real}(q, k, t) - I_{real}(i, j, t))), \\ (I_{real}(i, j, t), I_{real}(q, k, t), i, j, q, k, t) \end{matrix} \right\rangle, \text{ где}$$

$$\gamma' \text{ и } \delta': \gamma' = \begin{cases} \gamma \text{ при } I_{real}(i, j, t) > I_{real}(i+1, k, t) \\ 0 \text{ при } I_{real}(i, j, t) < I_{real}(i+1, k, t) \end{cases} \quad \delta' = \begin{cases} 0 \text{ при } I_{real}(i, j, t) > I_{real}(i+1, k, t) \\ -\delta \text{ при } I_{real}(i, j, t) < I_{real}(i+1, k, t) \end{cases}, \text{ при}$$

этом γ и δ - некоторые положительные функции, т.е. всегда $\gamma > 0$ и $\delta > 0$ при всех значениях аргументов, от которых они зависят.

На основе представленных выше определений и моделей, для каждого j -го структурного элемента i -го уровня в любой момент времени t может быть сформулировано следующее правило: скорость изменения величины информационной нагрузки определяется потоками информационной нагрузки приходящими в рассматриваемый элемент, а также выходящими из рассматриваемого элемента. Оценить скорость изменения величины информационной нагрузки можно при помощи балансовой модели информационной нагрузки структурного элемента:

$$\frac{\Delta I_{real}^{\Sigma}(i, j, t)}{\Delta t} = \left[\begin{matrix} F((i-1, k), (i, j), t) + F((i, j), (i+1, m), t) + \sum f((q, k), (i, j), t) + \\ + \sum f((i, j), (p, m), t) + R_{\Sigma}(i, j, I_{real}, I_{min}, I_{max}) \end{matrix} \right]$$

Оценивая скорость изменения величины информационной нагрузки, вполне возможно проанализировать динамическое распределение информационной нагрузки для каждого структурного элемента иерархической системы контроля.

Решение проблемы определения на заданные полетные операции наиболее подходящих специалистов представляется достаточно проблематичным вне создания и использования специализированных технологических программно-математических средств. Эта проблема предполагает решение сложной многофакторной задачи, при этом условия, в которых она решается, в ходе подготовки вариантов решения могут меняться. Поэтому программно-математическое средство, созданное для ее решения, должно обладать с одной стороны развитыми средствами построения расписания работы специалистов, с другой – предусматривать активное взаимодействие с человеком, ответственным за организацию работ специалистов по оперативному управлению полетом ОКТ, для учета меняющихся условий и предпочтений.

Был разработан программный комплекс для планирования работы специалистов Главной оперативной группы управления (ГОГУ) РС МКС (см. рис.4). Это технологическое средство позволяет планировать и оперативно перепланировать работу специалистов ГОГУ с учетом изменения полетных операций в программе полета МКС. С его помощью решаются задачи: оптимизация планирования ресурсов ГОГУ с учетом планов полетом РС МКС; обеспечение

индивидуального подхода к специалистам ГОГУ; повышение эффективности функционирования групп ГОГУ и оперативности их реакции на НШС.

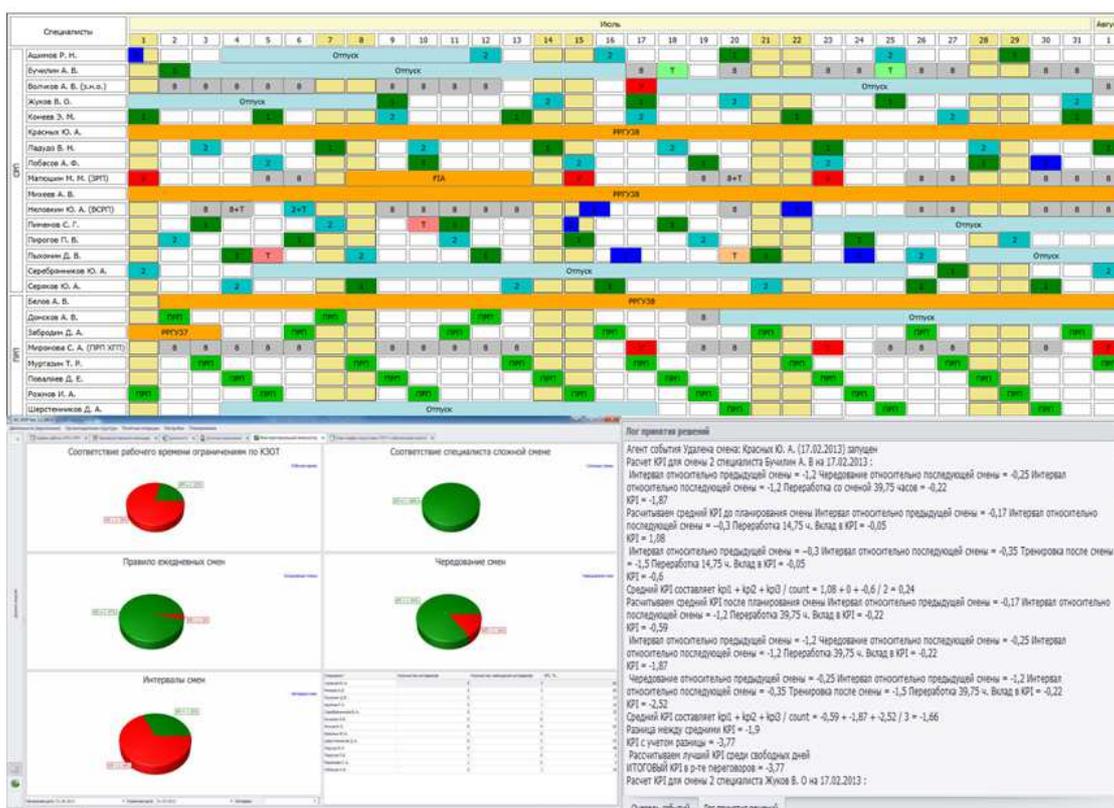


Рис.4. Пример программной реализации системы организации оперативных работ

В качестве технологии составления расписания в данной системе используется мультиагентная технология, реализующая ПВ-сеть. Она позволяет строить адаптивные планы в реальном времени. При внесении изменений планы не строятся заново, но постоянно корректируются и перестраиваются по мере их выполнения. Это обеспечивает возможность поддержки принятия решений в реальном времени, что достигается за счет замены перебора вариантов решений, требующего больших вычислительных затрат, переговорами сторон, направленными на выявление конфликтов и достижение компромиссов при построении сложных расписаний, причем двусторонним образом, как со стороны потребностей, так и имеющихся возможностей (ресурсов).

В разработанном технологическом средстве – автоматизированной системе организации оперативных работ ГОГУ РС МКС - ведется поиск соответствия между агентами решаемых задач и агентами ресурсов специалистов с учетом накапливаемого опыта. Динамически формируемое расписание смен специалистов рассматривается как многосвязная гибкая сеть, отражающая баланс интересов всех участников, направленный на достижение успешного функционирования смен по управлению РС МКС. Важные события (нештатные си-

туации на борту РС МКС, вновь запланированная ответственная операция или отмена работы, болезнь специалиста и т.д.), поступающие в реальном времени вызывают переговоры агентов, направленные на корректировку динамической сети расписания путем сдвижки работ или их перераспределения.

Фактически планирование графика работы специалистов представляет собой распределение ежедневных смен, характеризующихся теми или иными полетными операциями, между специалистами, способными эти полетные операции выполнять. Для каждого из дней существует агенты смены, изначально они не закреплены за специалистами. Для распределения специалистов по конкретным датам работы (выполняемым полетным операциям) начинаются переговоры между агентами смен и агентами специалистов. Агент каждой смены переговаривается с агентами тех специалистов, которые могут выйти в смену (имеют необходимый уровень, не на больничном, не в отпуске и т.д.).

Переговоры агентов основаны на расчете обобщенных показателей планирования, т.н. $KPI_{пер}$. Эти показатели можно определить как: $KPI_{пер} = f(KPI_{см}, KPI_{сп})$, где $KPI_{см}$ - показатель планирования смен, $KPI_{сп}$ - показатель планирования специалиста. При этом условием планирования является $KPI_{пер} \rightarrow \max$, т.е. смена будет запланирована на того специалиста, для которого $KPI_{пер}$ будет наивысшим. Показатели планирования зависят от: выполняемых полетных операций, уровня подготовки специалистов, интервалов между сменами, чередования смен, рабочего времени специалистов (недоработки, переработки), тренировка после смены.

Поскольку расписание представляет собой продукт совместной работы автоматизированной программной системы и человека-оператора, то появляется возможность оценить итоговое расписание, полученное в результате итеративного процесса согласования между человеком и системой. Для оценки итогового расписания в зависимости от заложенных в машину показателей разработан многокритериальный анализатор.

Предметом пятой главы является описание методов и технологических средств обработки информации, использующиеся при согласованном принятии решений акторами в ходе оперативного управления полетом ОКТ.

Каждая ситуация, возникающая в ходе оперативного управления полетом уникальна, поэтому основная тяжесть создания конкретной intersубъективной системы, направленной на разрешение этой проблемной ситуации, достижения взаимопонимания и принятия решения в рамках этой системы лежит на акторах, участвующих в разрешении конкретной проблемной ситуации. Т.е. только от самих акторов в конечном итоге зависит успешность разрешения проблемной ситуации. Но данный факт вовсе не означает, что отрицается все, кроме волюнтаризма акторов. Наоборот, при выработке общего понимания ситуации как области intersубъективного знания, включающую в себя разные виды intersубъективности, представляется предпочтительным использование акторами знаний, полученных на основе количественной оценки состоя-

ния ОКТ и/или его моделей, поскольку именно эти данные составляют основу информационного портрета объекта управления и ситуации, связанной с этим объектом.

Сами по себе количественные оценки процесса оперативного управления полетом, как правило, опираются на верифицированные знания и количественные данные в рамках процесса оперативного управления полетом могут считаться объективными. Однако в ходе взаимодействия акторов и выработки решений на основе количественных данных необходимо говорить не только о самих данных, но и об интерпретации этих данных и их динамики в рамках конкретной складывающейся ситуации. Эта одна из главных причин того, что основная тяжесть принятия решений по оперативному управлению полетом лежит на человеке, а не на автоматических средствах.

Поэтому основной задачей обработки информации, использующиеся при взаимодействии акторов в ходе оперативного управления полетом ОКТ, видится помощь актерам в достижении взаимопонимания на основе количественной оценки данной, конкретной полетной ситуации. Поскольку акторы для достижения общего понимания ситуации должны договориться об интерпретации знаний в направлениях, определяемых видами интересубъективности, логично было бы проводить количественную оценку описания текущей ситуации оперативного управления, отталкиваясь именно от формализации некоторых аспектов различных видов интересубъективности.

Так в основе писании ситуации управления полетом лежат согласованные и принимаемые всеми актерами: онтология единого информационного поля, онтология принятия решений и онтология деятельности в рамках данного информационного поля. Онтология единого информационного поля, построенная в соответствии с семантической интересубъективностью, предполагает возможность акторов вести коммуникацию «на одном языке», имея возможность понимать друг друга, т.е. предполагает ясность и общее согласие относительно понятий и построенных из них суждений. Для разрешения конкретной ситуации в ходе оперативного управления полетом «согласие относительно понятий и построенных из них суждений» важно, но недостаточно. Подобных понятий, теоретически способных описать конкретную ситуацию управления может быть громадное множество. Фактически из этого громадного множества понятий актерам необходимо помочь выделить главные показатели процесса оперативного управления в данной конкретном случае, для того что бы акторы описывали сложившуюся полетную ситуацию именно этими показателями. Поскольку процесс управления полетом относится к классу целеустремительных процессов, то смысл, значение для акторов данной полетной ситуации описывается, прежде всего, оценкой эффективности происходящего процесса оперативного управления, основания для разработки, которой должны быть выработаны заранее.

В соответствии с теорией эффективности целенаправленных процессов, оценка эффективности процесса оперативного управления состоит минимум из трех компонент: результативности, оперативности и ресурсоемкости целенаправленного процесса. Т.е., система оценки эффективности управления полетом описывается n -мерным ($n \geq 3$) вектором:

$$K_{(3)} = \langle k_1^1, k_2^1, \dots, k_{n1}^1; k_1^2, k_2^2, \dots, k_{n2}^2; k_1^3, k_2^3, \dots, k_{n3}^3 \rangle = \langle s_1, s_2, \dots, s_{n1}; t_1, t_2, \dots, t_{n2}; r_1, r_2, \dots, r_{n3} \rangle,$$

где $K_{(n1)}^1 = S_{(n1)} = \langle s_1, s_2, \dots, s_{n1} \rangle$ - показатель результативности (вектор);
 $K_{(n2)}^2 = T_{(n2)} = \langle t_1, t_2, \dots, t_{n2} \rangle$ - показатель операционного времени (вектор);
 $K_{(n3)}^3 = R_{(n3)} = \langle r_1, r_2, \dots, r_{n3} \rangle$ - показатель операционного расхода ресурсов (вектор).

Были разработаны модели и методы формирования оценки эффективности в ходе оперативного управления полетом ОКТ, пример оценки аварийной разгерметизации представлен на рис.5.

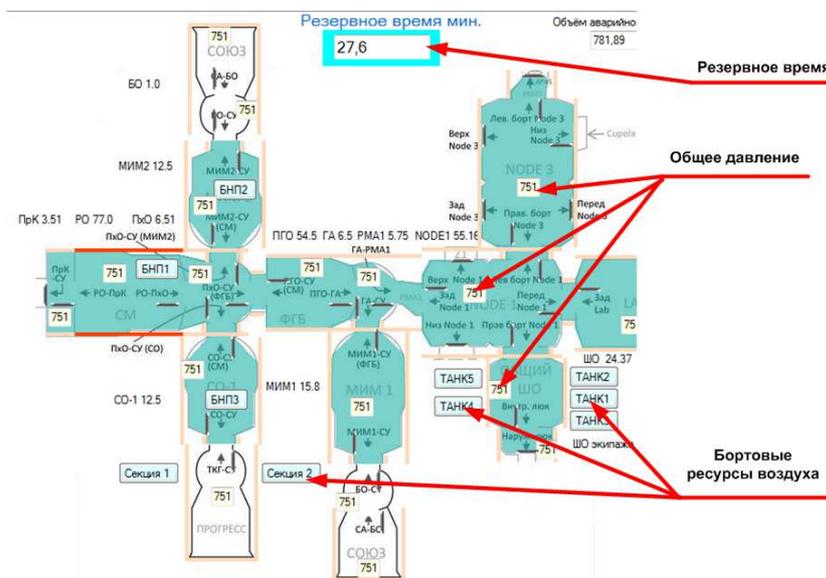


Рис.5. Компоненты вектора оценки аварийной разгерметизации

Онтология принятия решений, построенная в соответствии с логической интерсубъективностью, предполагает достижение согласия акторов между собой в логике принятия решений. В самом простом случае логика принятия решений может быть описана с помощью модели разового выбора решения акторами в ситуации неопределенности. Модель ситуации принятия решения представляется в виде выражения: $G = \langle D, S, K(d, s) \rangle$, где $D_p = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ - множество возможных решений; $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ - множество возможных состояний ОКТ; $K = \{k_{ij}\}$ - множество показателей эффективности, определенное на $D \times S$, при этом $k_{ij} = k(d_i, s_j)$. В зависимости от информации, которая имеется в

группе управления полетом ОКТ о прогнозируемых состояниях ОКТ $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ возможно выделение градации информационных ситуаций. Были представлены правила оценки компонент такой модели в зависимости от информации, имеющейся у специалистов оперативного управления полетом.

Онтология деятельности, построенная в соответствии с операционной интерсубъективностью, предполагает, что определенные последовательности действий (сценарии оперативного управления полетом), понимаются всеми акторами однозначно, с оговоренным уровнем глубины, могут быть проанализированы и совместно акторами оценены.

Выбор того или иного сценария акторами представляет собой задачу плохо поддающуюся формализации, поскольку показатели, критерии и их вес могут динамически меняться по мере развития полетной ситуации. Однако вполне возможно использовать формализованные методы для выделения множества предпочтительных для акторов сценариев из всего пространства сценариев. Как правило, это множество предпочтительных сценариев с точки зрения многокритериальной оценки сценариев входит во множество Парето. Данный подход позволяет сузить пространство сценариев и исключить из анализа сценарии заведомо менее значимые. Для того, чтобы не попасть в ситуацию, при которой будут исключены важные сценарии, в качестве анализируемых в первую очередь показателей принимаются показатели, влияющие на безопасность управления полетом в данной ситуации и/или учитывающие расход сложновозобновляемых бортовых ресурсов.

На основе метода жесткого ранжирования была разработана процедура выделения множества сценариев процесса оперативного управления полетом ОКТ, входящих в множество Парето. Пусть $\Omega = \{\omega_j\}$ - пространство сценариев оперативного управления полетом, где $j \in [1, \dots, M]$, M – полное количество сценариев, возможных при достижении рассматриваемой цели управления полетом. $\Omega_D \subseteq \Omega_M$ – пространство допустимых сценариев. $K(\omega_j) = \{K_i(\omega_j)\}$ - множество скалярных показателей векторной компоненты оценки сценария ω_j , $K_i(\omega_j)$ – i -й скалярный показатель векторной компоненты оценки сценария ω_j , $i \in [1, \dots, n]$, n – количество показателей. $A = \{a_k\}$ – множество коэффициентов важности показателей оценки, причем $\sum_{k=1}^r a_k = 1$, $k \in [1, \dots, r]$.

$P = \{\omega_1^0, \omega_2^0, \dots, \omega_{m^\pi}^0\}$ $P = \{S_{k_1}^0, S_{k_2}^0, \dots, S_{k_{m^\pi}}^0\}$ – упорядоченное множество сценариев, составляющих кортеж Парето, $P \subseteq \Omega_D$; при необходимости элементы кортежа могут быть ранжированы в соответствии с решающими правилами так, что выполняется условие $\omega_1^0 \succ \omega_2^0 \succ \dots \succ \omega_\alpha^0 \succ \dots \succ \omega_{m^\pi}^0$, где « \succ » – знак отношения доминирования, $\alpha \in [1, 2, \dots, m^\pi]$. Длина кортежа равна m^π . В соответствии с разработанной процедурой для оценки пространства сценариев акторами решается

задача нахождения кортежа Парето P , для элементов которого справедливо:
 $K(\omega_\alpha^0) = \min_{\omega_j \in \omega_D} K(\omega_j)$ при $\omega_\alpha^0 \in P$.

В основе описания объекта управления полетом лежит согласованная акторами онтология фактов. Эта онтология, построенная в соответствии с эмпирической intersубъективностью, предполагает, что факты, которыми акторы обосновывают суждения признаются всеми сторонами. Оценка тех или иных фактов, описывающих ситуацию управления полетом, сильно зависит от контекста самой ситуации. Так одинаковое значение одного и того же телеметрического параметра в разных ситуациях может означать либо наличие крупной нештатной ситуации, либо вполне штатное течение процесса управления. Поэтому важно было разработать средства, которые позволили бы акторам не просто репрезентовать значения тех или иных показателей в полетной ситуации, но выразить значимость этих показателей (значимость изменений показателей) в контексте конкретной ситуации.

Для решения этой задачи в ходе оценки единичного параметра, характеризующего один из аспектов функционирования объекта управления, были разработаны методы построения оценочной функции, задаваемой акторами в зависимости от той или иной ситуации управления полетом. При этом оценочная функция характеризует степень соответствия параметра планируемыми, штатным значениям: если в процессе контроля состояния в текущий момент времени объект находится в пределах нормы и функционирует штатным образом, то оценочная функция принимает значение 1, если состояние объекта контроля на момент контроля нештатное, то оценочная функция принимает значение 0, если состояние объекта контроля вышло за штатные рамки, но еще не может считаться полностью нештатным – оценочная функция принимает значения между 0 и 1 в соответствии со значимостью отклонений параметра для группы управления в конкретной полетной ситуации. В качестве примера можно привести оценочную функцию, отражающее линейное убывание (возрастание) значимости отклонения параметра от состояния «норма» (рис.б). Для случая с двумя интервалами контролируемого параметра оценочная функция будет выглядеть как:

$$\rho(p_i) = \begin{cases} 0, & \text{если } p_i < p_{\min}^{\text{don}} \\ \frac{p_i - p_{\min}^{\text{don}}}{p_{\min}^{\text{cp}} - p_{\min}^{\text{don}}}, & \text{если } p_{\min}^{\text{don}} \leq p_i \leq p_{\min}^{\text{cp}} \\ 1, & \text{если } p_i \in [p_{\min}^{\text{cp}}, \dots, p_{\max}^{\text{cp}}] \\ \frac{p_{\max}^{\text{don}} - p_i}{p_{\max}^{\text{don}} - p_{\max}^{\text{cp}}}, & \text{если } p_{\max}^{\text{cp}} \leq p_i \leq p_{\max}^{\text{don}} \\ 0, & \text{если } p_i > p_{\max}^{\text{don}} \end{cases},$$

где p_i - контролируемый параметр, $[p_{\min}^{\text{cp}}, \dots, p_{\max}^{\text{cp}}]$ - область штатных значений (среднестатистический диапазон), $[p_{\min}^{\text{don}}, \dots, p_{\max}^{\text{don}}]$ - область допустимых значений.

Были разработаны методы и особенности построения оценочной функции различных видов для оценки единичного параметра. Для оценки комплекса параметров, характеризующих функционирование объекта управления на базе использования оценочной функции были разработаны модифицированные методы «деревьев» поиска состояния и матрицы поиска состояний.

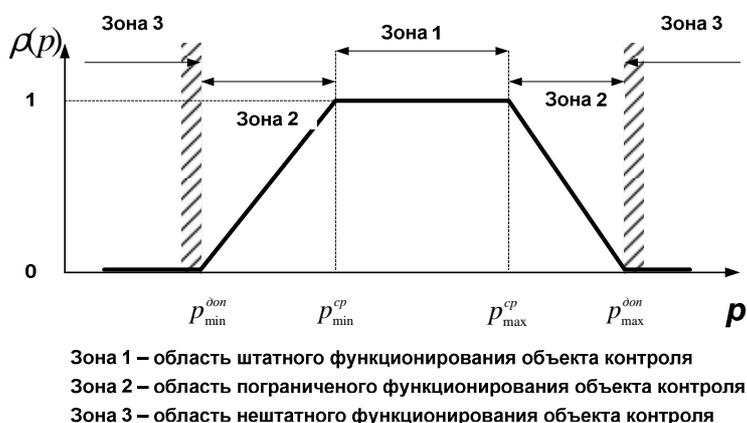


Рис.6. Оценочная функция

Согласие акторов относительно использования тех или иных ном и правил, содержащихся в полетной документации, происходит на основе определения нормативной онтологии, построенной в соответствии с нормативной интересубъективностью. Нормативная онтология опирается на разработанное заранее множество знаний, содержащих взаимосвязанную совокупность законов, правил, стандартов и иных официально оформленных соглашений, которое обеспечивает регулирование отношений акторов на некотором уровне неопределённости ситуации. Но использование тех или иных норм и правил в конкретной ситуации предполагает как адекватную интерпритацию ситуации всеми акторами, которой во многом способствует выработанная модель оценки эффективности ситуации, так и знания ограничений, которые могут накладываться на оперативное управление полетом в конкретных условиях. Такие ограничения связаны, прежде всего, с имеющимся резервом оперативного времени и использованием различного рода ресурсов (бортовых и наземных). Были рассмотрены модели оценки оперативности ситуации управления полетом ОКТ с точки зрения различных случаев существования и использования временного резервирования.

Применение представленных выше моделей и методов акторами в процессе подготовки и принятии согласованных решений происходит в условиях жестких требований оперативности развития ситуации управления полетом. Поэтому представляется весьма целесообразной разработка специализированных технологических средств обработки информации и поддержки принятия решений. Такие средства должны быть предназначены для оперативного сопровождения формирования и функционирования интересубъективной системы

и играть роль некоего «co-pilot»а для акторов. В качестве такого средства была разработана автоматизированная система поддержки принятия решений в аварийной ситуации (АСППР АС).

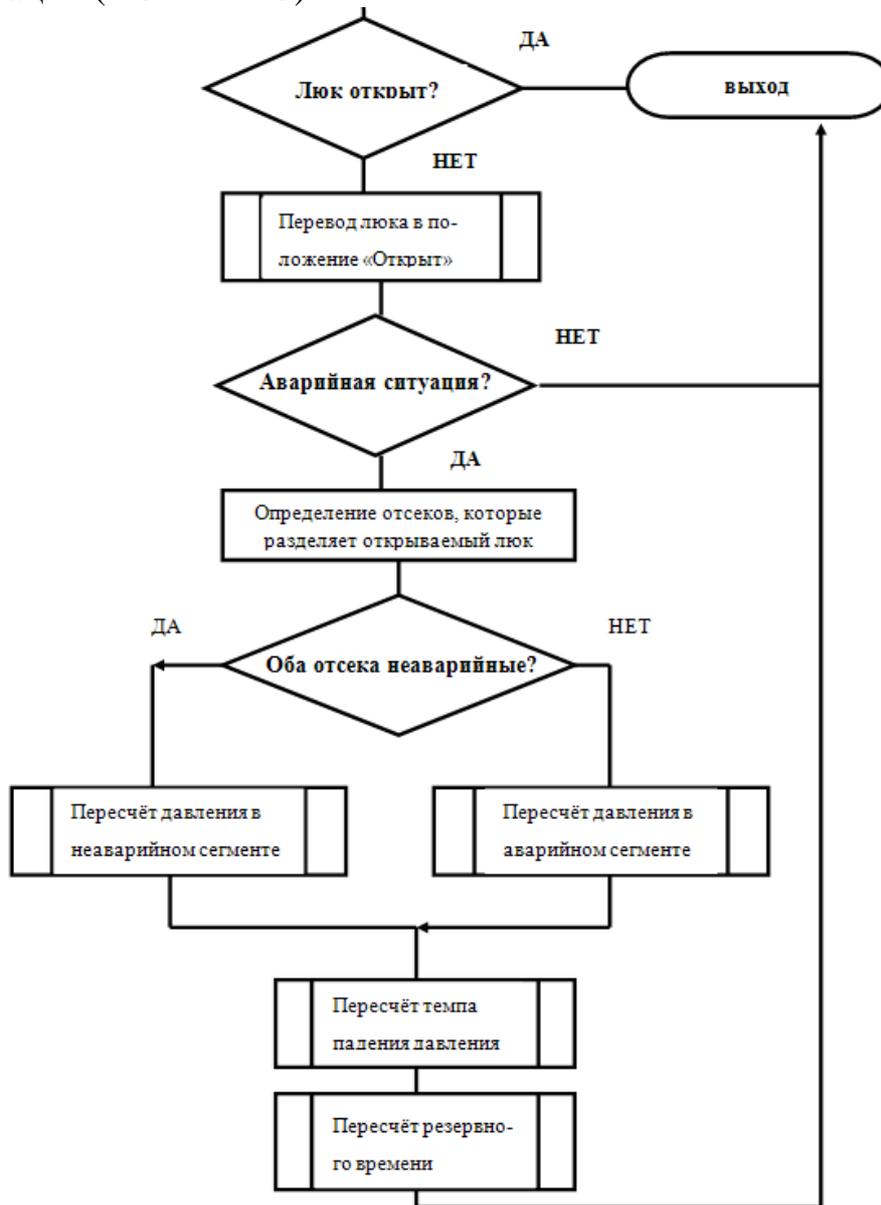


Рис.7. Часть алгоритма моделирования открытия переходного люка в ходе парирования аварийной разгерметизации

Аварийные ситуации являются наиболее серьезными нештатными ситуациями, которые могут возникнуть в процессе оперативного управления полетом РС МКС. Они объединяют в себе нештатные ситуации потенциально несущие возможность появления катастрофических и критических последствий. К одному из основных и наиболее опасных видов аварийной ситуации для пилотируемого ОКТ относится аварийная разгерметизация. Именно для поддержки принятия решений в ходе парирования аварийной разгерметизации создана АСППР АС.

АСППР АС обеспечивает проведение оценки, оперативного представления

и отображения специалистам систематизированной информации о текущих и прогнозируемых параметрах, характеризующих развитие аварийной ситуации, а также формирование рекомендуемых вариантов действий по использованию бортовых ресурсов в процессе парирования аварийной разгерметизации. Это осуществляется путем рационального использования имеющихся информационных ресурсов, формализации алгоритмом парирования аварийной разгерметизации (см.рис 7), применения методов и средств, обеспечивающих оперативное представление в ЦУПе необходимой в данный момент информации, которая в полной, компактной и доступной для понимания специалистов оперативного управления полетом форме отображает текущую ситуацию, а также являться основой для принятия решений.

Борьба за живучесть в ходе аварийной разгерметизации подразумевает выполнение определенной последовательности действий, предусмотренной в аварийных инструкциях для экипажа и наземных специалистов. Однако во многом исход этой борьбы зависит от имеющегося резерва времени. Согласованный акторами выбор средства поддержания общего давления в конкретный момент развития аварийной разгерметизации становится проблемой, поскольку:

1) На борту МКС присутствуют различные классы средств хранения воздуха (кислорода), которые можно использовать в процессе парирования аварийной разгерметизации. Разные средства, относящиеся к одному и тому же классу могут иметь разные характеристики, например, текущее давление внутри баллонов. Величина этого давления может быть переменной в зависимости от программы полета МКС.

2) В процессе парирования аварийной разгерметизации для поиска негерметичного отсека происходит последовательная изоляция различных отсеков станции, т.е. герметичный объем МКС в ходе парирования этой ситуации является величиной переменной, что в свою очередь может приводить к увеличению или, наоборот, снижению темпа уменьшения резервного времени.

3) Для использования средств поддержания общего давления необходимо привлечение экипажа МКС. Экипаж в процессе парирования разгерметизации перемещается в герметичном объеме станции и, соответственно, удобство доступа к тем или иным средствам поддержания общего давления динамическим образом меняется.

Для разрешения этой проблемы была разработана интеллектуальная часть АСППР АС, использующая мультиагентную технологию. В ней процесс достижения взаимопонимания акторов относительно использования оптимального, в данный момент средства поддержания общего давления виртуализирован и основан на использовании соответствующей формальной онтологии и результатов работы виртуальных агентов внутри ПВ-сети.

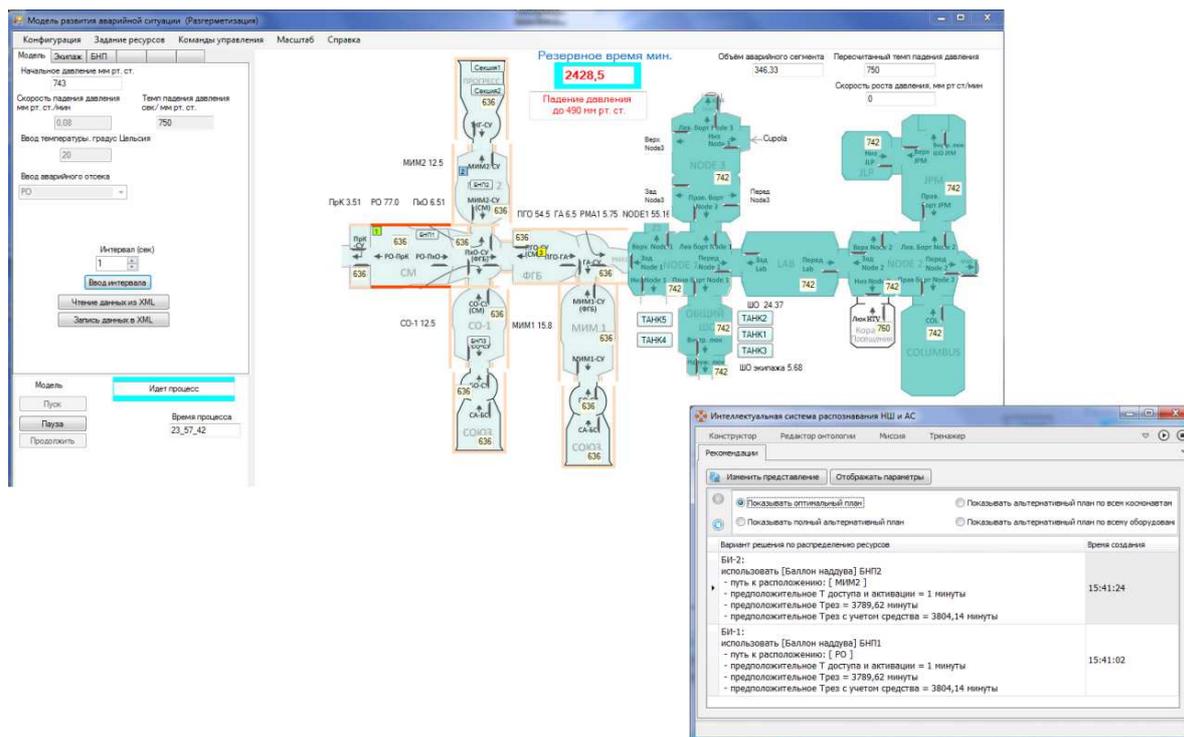


Рис.8. Основные форматы отображения информации АСППР: внутренний объем МКС и план использования бортовых ресурсов

Критериями для формирования плана использования бортовых ресурсов наддува в процессе парирования аварийной разгерметизации являются добавочное резервное время, которое дает то или иное бортовое средство и время доступа члена экипажа к данному средству для его активации. Соответственно в первую очередь для использования будут предлагаться средства, дающие максимальный прирост резервного времени, в случае, если системой будут обнаружены средства, дающие одинаковый прирост времени, то из них приоритетной рекомендацией будет использование средства, время доступа к которому будет минимальным. В системе формируется ПВ-сеть, состоящая из агентов потребностей и агентов возможностей. В качестве примера агентов потребностей можно привести: агентов аварийной ситуации, агентов формирования команды для парирования аварийной ситуации, агентов задач. В качестве примера агентов возможностей можно привести: агентов бортовых средства наддува, агентов космонавтов, агентов отсеков, люков и др.

В соответствии с логикой работы мультиагентной системы, в результате переговоров агентов потребностей и агентов возможностей строится текущая версия плана использования бортовых ресурсов парирования аварийной разгерметизации. Для оценки вариантов использования средства наддува применяется комплексный показатель: $F = k_1 * kpi_1 + k_2 * kpi_2$, где: kpi_1 – относительный показатель добавочного резервного времени, kpi_2 – относительный показатель критерия времени доступа и активации, k_1 и k_2 – коэффициенты учитывающие фазу развития ситуации аварийной разгерметизации.

План может адаптивно перестраиваться в зависимости от изменяемых параметров: включение/выключение бортового средства; изменение массы газовой смеси; изменение местоположения бортового средства; изменение местоположения членов экипажа. Визуально план представляет собой набор рекомендаций по использованию бортовых средств, рекомендации выводятся в порядке уменьшения приоритетности (см. рис.8).

В шестой главе диссертации рассматриваются методы и технологические средства обработки информации, использующиеся для анализа процесса взаимодействия и подготовки акторов при оперативном управлении полетом ОКТ. Существуют, по крайней мере, два пути оценки способности группы разрешать проблемные ситуации в ходе оперативного управления полетом ОКТ.

Первый путь – анализ ошибок специалистов в ходе реального процесса оперативного управления полетом. Именно ошибки показывают слабые стороны самих специалистов, недостатки персональных онтологий, неумение или нежелание работать в рамках интерсубъективной системы, недостатки в организации процесса оперативного управления полетом ОКТ и т.д. Для анализа ошибок разработана методика анализа отклонений в работе специалистов при разрешении проблемных ситуаций в ходе оперативного управления ОКТ. В рамках методики разработаны классификации ошибок, обобщенный алгоритм сбора и анализа информации об ошибках, процедура принятия решений при оценке проблемных направлений работы.

На основе информации об ошибках отдельных специалистов была создана технология прогнозирования «узких» мест в организации процесса оперативного управления с Земли полета ОКТ. В основе технологии лежат логико-вероятностные методы моделирования безошибочности функционирования систем сложной структуры. Эта технология позволяет моделировать структуры, которые могут сложиться в ходе разрешения проблемных ситуаций и определить «узкие места» не только в зависимости от особенностей топологии сложившейся структуры, но учесть логический критерий функционирования системы, имеющей данную структуру на текущий момент.

Второй путь – помещение специалистов оперативного управления полетом в искусственно созданную проблемную ситуацию. Такая «модельная» проблемная ситуация создается в ходе тренировок специалистов. При этом сценарий тренировки можно описать следующей моделью: $D = \langle S_{\text{бс}}, S_{\text{нку}}, S_{\text{цуп}}, O, Q, C, R, \rangle$, где $S_{\text{бс}}$ – множество состояний бортовых систем ОКТ; $S_{\text{нку}}$ – множество состояний наземного контура управления; $S_{\text{цуп}}$ – множество состояний центра управления полетом ОКТ; O – множество операций, реализуемых в ходе конкретного процесса управления; Q – множество нештатных ситуации, реализуемых в ходе тренировки, $C = E \cup F$ – множество входных условий для специалистов управления; E – множество вводных

(нештатных ситуаций), заданных в ходе тренировки; F – множество неконтролируемых возмущающих факторов (например, сбоев в работе тренажера); R – множество ожидаемых от группы управления решений и действий.

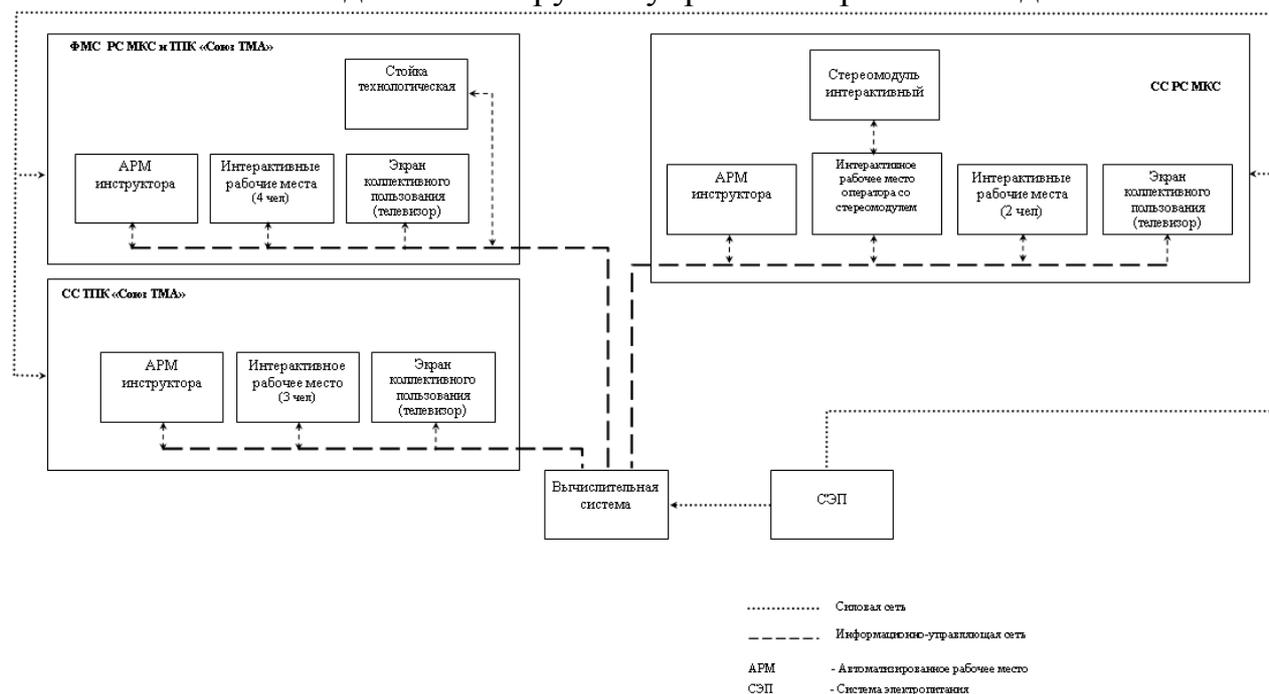


Рис.9. Комплекс моделирующих стендов

Разрешая эту «модельную» проблемную ситуацию, специалисты демонстрируют свою способность разрешать проблемные ситуации в реальных условиях. Не является принципиально важным, что в реальных условиях ситуация может быть другой, главное, чтобы сам процесс разрешения проблемных ситуаций был заранее принят специалистами и отработан в ходе тренировок. Для повышения эффекта от тренировок были разработаны модели и методы построения сценариев тренировок специалистов оперативного управления полета ОКТ, включающие в себя формализацию сценария тренировок, разработку системы показателей оценки сценария тренировок, создания процедуры поиска ядра наиболее значимых сценариев, формализована задача и разработана экспертная система поиска оптимальной последовательности ситуаций управления в сценарии.

Для оптимизации задач подготовки специалистов оперативного управления РС МКС на базе изложенных принципов был разработан комплекс технологических средств, обеспечивающих решение задач оптимизацию подготовки специалистов оперативного управления полетом РС МКС и транспортных пилотируемых Кораблей (ТПК) «Союз». Созданный специализированный программно-технический комплекс объединяет различные специализированные стенды (СС) и функционально - моделирующие стенды (ФМС) (рис.9).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных теоретических и практических исследований по тематике диссертации получены следующие результаты.

1. Проведенный анализ текущего состояния и перспективных проблем оперативного управления полетом ОКТ показал, что в условиях усложнения ОКТ и появлении распределенных систем управления их полетом требуется разработка теоретических положений и создание практических средств обработки информации при поддержке принятия решений в процессе организации, реализации и анализа оперативного управления объектами космической техники

2. Создана концепция организации подготовки и функционирования активных элементов (акторов) оперативного управления полетом ОКТ. Данная концепция представляет собой методологическую базу для описания процессов организации и самоорганизации акторов в ходе подготовки и реализации оперативного управления полетом ОКТ.

3. Для практической реализации концепции разработаны оригинальные принципы создания системы организации функционирования акторов. Использование данной системы позволяет комплексно решать задачи по подготовке, реализации и анализу оперативного управления полетом ОКТ в части организации и самоорганизации акторов.

4. Разработан онтологический подход в процессах обработки информации при оперативном управлении полетом ОКТ: предложена структура онтологического моделирования процессов управления полетом ОКТ, разработана оригинальная система теоретико-информационных моделей оперативного управления полетом ОКТ. На базе принципов онтологического моделирования разработано технологическое средство в виде программного обеспечения, позволяющее с помощью формальных онтологий представить знания об объектах космической техники и процессах оперативного управления полетом сложными ОКТ.

5. Разработан комплекс моделей и методов, обеспечивающих обработку информации в ходе организации работы акторов при оперативном управлении полетом ОКТ: решены задачи сценарного моделирования полетных операций, разработаны модели оценки информационной нагрузки, модифицирована методика оценки специалистов, разработаны принципы мультиагентного моделирования определения на заданные полетные операции наиболее подходящих специалистов. На базе использования данных моделей и методов разработано оригинальное технологическое средство в виде программного комплекса для планирования работы специалистов-акторов, участвующих в оперативном управлении полетом ОКТ.

6. Разработан комплекс моделей и методов, обеспечивающих обработку информации в ходе поддержке решений при оперативном управлении полетом ОКТ: модели формирования оценки эффективности процесса оперативного управления, модели оценки ситуации выбора решения, процедура выбора

вариантов сценария, модели и методы оценки единичного и комплекса параметров, модели оценки временного резервирования, разработаны принципы мультиагентного моделирования плана использования бортовых ресурсов. На базе использования данных моделей и методов разработано оригинальное технологическое средство в виде программного комплекса поддержки принятия решений для парирования аварийных ситуациях при оперативном управлении полетом ОКТ.

7. Создан комплекс моделей и методов, обеспечивающих решение задач анализа процесса функционирования активных элементов (актеров), разработаны оригинальные методики анализа отклонений в работе специалистов и технологии прогнозирования «узких» мест в организации процесса оперативного управления, модели построения сценариев тренировок специалистов. Для оптимизации задач подготовки специалистов оперативного управления ОКТ были разработаны принципы создания специализированного комплекса тренажеров, позволяющих имитировать процессы самоорганизации актеров в условиях различной конфигурации системы управления полетом.

8. Полученные в работе результаты были использованы при оперативном управлении полетом Российским сегментом Международной космической станции, транспортными пилотируемыми кораблями «Союз», транспортными грузовыми кораблями «Прогресс». Результаты оперативного управления полетом РС МКС, ТПК «Союз», ТГК «Прогресс», полученные при решении ряда практически важных задач: стыковка новых кораблей и модулей МКС, обеспечение внекорабельной деятельности, поддержание высокого уровня готовности к аварийным ситуациям и т.д., подтверждают правильность предлагаемых моделей, методов и технологических средств.

Сравнительный анализ ошибок совершенных специалистами управления полетом РС МКС и станции «Мир» показывает, что комплекс мер, в том числе и мер по поддержке принятия решения при управлении полетом, позволил с началом эксплуатации РС МКС свести до минимума влияние факторов адаптации системы управления полетом к новому объекту управления и повысил безошибочность работы специалистов оперативного управления полетом РС МКС.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах Перечня ВАК

1. Матюшин М.М. Методы анализа эксплуатационных рисков при управлении Российским сегментом Международной космической станции// Космонавтика и ракетостроение.–2006. – Вып. 4(45) .– С.126-131.
2. Матюшин М.М. Использование логико-вероятностной модели для оценки значимости структурных элементов оперативного контура управления РС МКС // Космонавтика и ракетостроение.– 2007. – Вып. 1(46) .– С.144-153.

3. Матюшин М.М. Саркисян Х.В. Построение оценочной функции для поддержки принятия оперативных решений при контроле параметров состояния космического аппарата // Наука и образование. (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (электронный рецензируемый журнал) – 2011. – №4 .– URL: <http://technomag.edu.ru/doc/174749.html>
4. Матюшин М.М. Моделирование сценариев оперативного управления полетом космического аппарата // Наука и образование. (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (электронный рецензируемый журнал) – 2011. – №9 .– URL: <http://technomag.edu.ru/doc/229653.html>
5. Матюшин М.М. Модели информационной нагрузки на наземную компоненту автоматизированной системы управления полетом космического аппарата // Наука и образование. (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (электронный рецензируемый журнал) – 2011. – №10.– URL: <http://technomag.edu.ru/doc/223840.html>
6. Матюшин М.М., Мишурова Н. В., Донсков А. В. Структуризация и использование знаний в процессе оперативного контроля состояния пилотируемыми космическими аппаратами // Наука и образование. (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (электронный рецензируемый журнал) – 2012. – №10.– URL: <http://technomag.edu.ru/doc/479653.html>
7. Матюшин М.М. Опыт и перспективы развития распределенных систем управления полетом пилотируемых комплексов // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». – 2012. – № 10. – С.3-10.
8. Корянов В.В., Матюшин М.М. Учет временной избыточности в полетных операциях при оценке безопасности управления полетом КА// Общероссийский научно-технический журнал «Полет». – 2013. – № 5. – С.41-50.
9. Любинский В.Е., Матюшин М.М. Система распределенного управления полетом космических комплексов // Космонавтика и ракетостроение.– 2012. – Вып. 4(69) .– С.45-55.
10. Саркисян Х.В. Матюшин М.М. Использование «деревьев» поиска состояний для поддержки принятия решений при комплексной оперативной оценке бортовых систем космического аппарата // Наука и образование. (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (электронный рецензируемый журнал)– 2011. – №5 .– URL: <http://technomag.edu.ru/doc/182938.html>
11. Соловьёв В.А., Матюшин М.М. Некоторые современные аспекты обеспечения безопасности управления полетами космических аппаратов, на примере Международной космической станции // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». – 2011. – № 4. – С.77-85.
12. Соловьёв В.А., Любинский В.Е., Матюшин М.М. Проблемы управления полетами пилотируемых космических комплексов // Вестник МГТУ им.Н.Э.Баумана. Серия «Машиностроение». – 2013. – № 3. – С.39-52.

**Статьи и публикации в сборниках трудов и материалах
международных и всероссийских конференций**

13. Бронников С.В., Матюшин М.М. Исследование структуры системы управления полетом космических аппаратов// Труды XXXVII научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. – Калуга, 2002. – С.78.
14. Матюшин М.М. Оценка службы управления полетом пилотируемых КА как социотехнической системы управления // Труды XXXIX научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. – Калуга, 2004. – С.94.
15. Матюшин М.М. Место системы анализа замечаний в структуре управления полетом пилотируемыми космическими аппаратами// Актуальные проблемы российской космонавтики. Труды XXIX Академических чтений по космонавтике.– М.: Комиссия РАН, 2005.– С. 276-277.
16. Матюшин М.М. Система анализа замечаний, полученных при управлении РС// Труды пятых научных чтений по военной космонавтике памяти Н.К. Тихонравова, – г. Юбилейный, 2005 – С.244-245.
17. Матюшин М.М. Разработка логико-вероятностной модели оперативного контура управления пилотируемого космического аппарата// Актуальные проблемы российской космонавтики. Труды XXIX Академических чтений по космонавтике.– М.: Комиссия РАН, 2006.– С. 271-272.
18. Матюшин М.М. Поддержка принятия решений при разработке сценариев тренировок наземных операторов управления полетом КА. // Актуальные проблемы российской космонавтики. Труды XXXIII Академических чтений по космонавтике.– М.: Комиссия РАН, 2009.– С. 350-351.
19. Матюшин М.М. Подготовка решений при организации и проведении тренировок наземных операторов управления полетом КА // Труды XXXXIV научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. – Калуга, 2009. – С. 83-84.
20. Матюшин М.М. Модель статической ситуации принятия решений при обеспечении безопасности управления полетом космического аппарата. // Актуальные проблемы российской космонавтики. Труды XXXIV Академических чтений по космонавтике.– М.: Комиссия РАН, 2010.– С. 376-378.
21. Матюшин М.М. Опыт разработки сценариев тренировок действий в аварийной ситуации на МКС главной оперативной группы управления РС МКС // Труды XXXXV научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. – Калуга, 2010. – С.89 - 90.
22. Матюшин М.М. Оперативное взаимодействие между центрами управления полетом МКС на примере маневра уклонения от «космического мусора» // Труды научных чтений, посвященных 90-летию со дня рождения Ю.А. Мозжорина – г. Королев, 2010 – С. 149.
23. Матюшин М.М. Обеспечение безопасности управления полетом КА с использованием временной избыточности. // Актуальные проблемы

- русской космонавтики. Труды XXXV Академических чтений по космонавтике.– М.: Комиссия РАН, 2011. – С. 393-394.
24. Матюшин М.М. Оперативная оценка параметров состояния космического аппарата // и-Маш (Электронный ресурс машиностроения)–2011–июль–URL:<http://www.i-mash.ru/materials/automation/15003-operativnaja-ocenka-parametrov-sostojanija.html>
 25. Матюшин М.М. Описание оперативного управления полетом КА с помощью сценарных моделей. // Актуальные проблемы русской космонавтики. Труды XXXVI Академических чтений по космонавтике.– М.: Комиссия РАН, 2012. – С. 386-387.
 26. Матюшин М.М. Современные проблемы управления полетом МКС и подходы к их решению в ходе международного сотрудничества: от иерархий – к сетевым представлениям.// Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды XIV международной конференции. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2012. – С. 699-709.
 27. Матюшин М.М., Скобелев П.О., Сологуб А.В. Применение мультиагентных технологий для прогнозирования и парирования нештатных ситуаций на МКС.// Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды XIV международной конференции. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2012. – С. 710-717.
 28. Матюшин М.М., Мишурова Н. В., Донсков А. В. Особенности структуризации знаний и возможности их использования в процессе оперативного контроля состояния пилотируемых космических аппаратов (ПКА) // Труды XLVII научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. – Калуга, 2012. – С.85.
 29. Матюшин М.М., Мишурова Н. В., Донсков А. В. Возможность применения онтологии при парировании нештатных ситуаций в процессе управления полетом КА на примере ТК «Прогресс» // Актуальные проблемы русской космонавтики. Труды XXXVII Академических чтений по космонавтике.– М.: Комиссия РАН, 2013. – С. 282-383.
 30. Матюшин М.М. Онтологическое моделирование процессов оперативного управления полетом КА // Труды XVIII международной конференции «Системный анализ, управление и навигация». – Евпатория, 2013. – С.131-132
 31. Матюшин М.М. Использование элементов теории интересубъективного управления для описания процессов функционирования АСУ пилотируемых космических аппаратов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды XV международной конференции. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2013. – С. 274-286.
 32. Matyushin M.M., Smirnova O.V. The ISS crew onboard safety actions - analysis of the acquired experience// The Journal of Space Operations & Communicator. – 2012 –Quarter #3

Подписано в печать: 09.09.2013
Тираж: 100 экз. Заказ № 1658.
Отпечатано в типографии «Витапресс Графикс»
Московская область, г. Королев, ул.Пионерская, 2