

На правах рукописи

СТАНИЛОВСКАЯ ВЕРА ИВАНОВНА

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ПОЛЕТОВ
ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ОРБИТАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Специальность 05 07 09 – Динамика, баллистика, управление движением
летательных аппаратов

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Королев – 2008

A handwritten signature in black ink, consisting of a series of loops and curves, positioned at the bottom left of the page.

Работа выполнена в Ракетно-космической корпорации «Энергия»
им С П Королева

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Соловьев Владимир Алексеевич

Официальные оппоненты доктор технических наук, профессор
Ступак Григорий Григорьевич

кандидат технических наук, доцент
Сохин Игорь Георгиевич

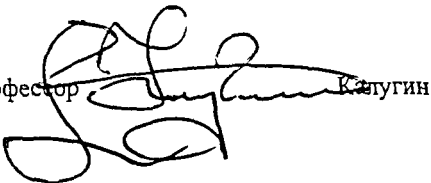
Ведущая организация Федеральное государственное унитарное
предприятие Центральный научно-
исследовательский институт
машиностроения (ФГУП ЦНИИмаш)

Защита состоится «05» июня 2008 г в 14³⁰ часов на
заседании диссертационного совета ДС 212 008 01 при Московском
Государственном Техническом Университете им НЭ Баумана по адресу.
105005, г Москва, 2-ая Бауманская ул, д 5

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им Н.Э Баумана

Автореферат разослан «5» июня 2008 г

Ваш отзыв в одном экземпляре, заверенный гербовой печатью, просьба
направлять по адресу, 105005, г Москва, ул 2-я Бауманская, д 5, МГТУ им
Н.Э Баумана, диссертационный совет ДС 212 008 01

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор  Калугин

В Т

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Применяемый в настоящее время процесс управления полетами орбитальных комплексов (ОК) состоит из следующих этапов: планирование полета, моделирование всех этапов полета, реализация плана полета путем воздействия на ОК, контроль полета, принятие решений по дальнейшему управлению с учетом результатов контроля.

Эффективность управления полетами ОК в значительной степени зависит от того, насколько разработанный план близок к оптимальному варианту с точки зрения достижения целей полета, использования времени экипажа и других ресурсов, обеспечения надежности. Причем план полета должен составляться с тем расчетом, чтобы на любом его этапе при возникновении неблагоприятной ситуации была обеспечена возможность продолжения полета для достижения поставленной на этом этапе цели. В связи с этим разработку и практическому внедрению методов планирования полетных операций при управлении ОК уделяется большое внимание.

В основу настоящей диссертации положен опыт разработки и практического применения методов планирования полета орбитальных комплексов «Мир» и МКС, полученный в период 1986 – 2008 гг. при непосредственном участии автора предлагаемой работы.

В процессе управления полетами орбитальных комплексов был выявлен ряд проблем, связанных с обеспечением эффективности планирования, основными причинами возникновения которых являются

- сложность и постоянное видоизменение объекта управления,
- увеличение количества различных требований и ограничений, которые необходимо учитывать иногда одновременно, увеличение числа объектов управления, участвующих в полетных операциях, влияние одних операций на другие и т.д.,
- увеличение объема информации, поступающей с борта ОК, используемой в процессе планирования,
- требование максимальной эффективности использования располагаемых ресурсов ввиду их высокой стоимости;
- в международных программах - территориальная удаленность групп планирования партнеров, что затрудняет разработку и согласование единого плана полета;
- необходимость перепланирования при дефиците времени по причине возникновения различного рода нештатных ситуаций (НшС).

Вышеперечисленные факторы отрицательно влияют на оперативность и надежность управления. Необходимость их комплексного решения обусловила разработку новых методов и автоматизацию планирования полетных операций для ОК.

В теории и практике планирования полетных операций широко используются два альтернативных принципа – «от частного к общему» и «от общего к частному». По первому из них оказалось удобно планировать

полеты небольшой продолжительности, например, полеты космических кораблей типа «Союз» и «Спейс Шаттл». При этом каждые сутки разрабатываемого плана детально «прорисовываются». На их основе составляется т.н. сводка операций, преобразуемая затем в номинальный или общий план полета. Такой подход нашел отражение в российских и американских документах, регламентирующих управление полетом объектов указанного типа.

Однако при планировании длительных полетов ОК этот метод не эффективен. Даже если заранее разработать все 180-200 детальных планов для полугодовой экспедиции, то их придется значительно уточнять или переделывать в ходе полета. Причина в том, что до начала реализации плана исходные данные планирования имеют вид вероятностного прогноза (например, даты ресурсных замен приборов и агрегатов, замен емкостей для воды, урины и т.д. рассчитываются по среднестатистическим данным). Данные баллистики, прихода/расхода электроэнергии, расхода топлива, воды, воздуха на этом этапе могут быть определены с существенной погрешностью. Очевидно также, что переносы дат стартов транспортных и грузовых кораблей, отказы научной аппаратуры и служебных систем, прочие ИЧС могут основательно видоизменять первоначальные планы.

Поэтому в настоящей диссертационной работе в основу технологии планирования положен принцип - «от общего к частному», то есть - разработка укрупненного плана полета на длительный период с последующей поэтапной его детализацией с учетом текущего состояния ОК и результатов уже пройденных этапов полета. В работе описаны разработанные автором или при ее непосредственном участии алгоритмы и средства планирования, изложена концепция интеграции этих средств в единую автоматизированную систему планирования полета российского сегмента Международной космической станции (РС МКС) и обмена данными с международными партнерами при управлении ОК.

В современных человеко-машинных комплексах управления космическими полетами наблюдается противоречие между сложностью управляемых систем, объемом перерабатываемой информации, многовариантностью принимаемых решений, наконец, требуемой глубиной проработки планов, с одной стороны, и слабой изученностью особенностей процесса планирования полета, недостаточной проработкой общей теории планирования космического полета пилотируемых ОК, а также примитивностью традиционной "ручной" технологии планирования, с другой стороны. Это противоречие приводит к несоответствию между необходимым и фактическим уровнями обеспечения работ по планированию, что в свою очередь влечет за собой построение недостаточно гибких и не полностью сбалансированных планов, ухудшение качества управления полетом в целом.

Средством устранения указанного противоречия призвана служить автоматизация планирования полета, направленная на:

- повышение качества планирования за счет увеличения объема учитываемой информации и числа рассматриваемых вариантов плана,
- более глубокую проработку и оптимизацию создаваемых планов,
- повышение гибкости и оперативности планирования за счет использования предварительно выделенных элементов планирования, их тщательной проверки на совместимость, обеспеченность ресурсами, выполнение различного рода ограничений,
- более детальную проработку состава полетных операций и связей между ними на начальных этапах планирования, составление формализованных паспортов полетных операций

Несмотря на то, что полеты отечественных ОК продолжаются более 30 лет, комплексной научной работы, в которой бы проводилось полное исследование вопросов автоматизированного планирования полетов пилотируемых ОК, до настоящего времени выполнено не было. Указанные обстоятельства позволяют считать тему диссертации актуальной.

С учетом изложенного была поставлена следующая цель диссертационной работы:

Цель исследования. Целью диссертационной работы является повышение надежности, эффективности и сокращения сроков осуществления планирования полетных операций при управлении ОК как из одного, так и из двух и более территориально удаленных Центров управления полетом.

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

- разработка методов исполнительного планирования полетных операций при управлении ОК,
- разработка технологии формирования международными партнерами единого плана полета ОК с учетом особенностей управления из территориально удаленных ЦУПов,
- разработка концепции по построению автоматизированной системы планирования полета РС МКС

Методы исследования. Для решения сформулированных задач использовались методы теории нечетких множеств, теории вероятностей, автоматизированных систем управления, проектной баллистики, теории иерархических систем, теории принятия решений, теории информации, теории расписаний, теории эффективности и др.

Научная новизна основных результатов, выносимых на защиту, заключается в том, что впервые подробно исследованы различные аспекты автоматизации исполнительного планирования при управлении ОК. Проведен системный анализ общей задачи планирования полета, выделены ее основные компоненты и этапы. Предложены машинно-ориентированные методики планирования полетных операций, технология планирования полета при управлении ОК из территориально удаленных Центров, разработана структура базы данных планирования, исследованы

предпосылки внедрения экспертных систем для решения неформализованных задач планирования

Практическая ценность работы связана с ее основными научными результатами и состоит в сокращении времени на планирование и перепланирование полета, на принятие решения о корректировке программы полета в случае НшС, в снижении количества НшС, обусловленных недостатками исполнительных планов, в сокращении непроизводительных затрат бортовых ресурсов, в переходе к скоординированной разработке единого плана полета ОК силами международных партнеров

Результаты данной работы были внедрены и используются для разработки планов исполнительного уровня в группе планирования (ГП) московского Центра управления полетами (ЦУП-М) и при интеграции планов МКС в Международной группе планирования

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- 1 машинно-ориентированные методики и базовые алгоритмы автоматизированной разработки планов полета исполнительного уровня (долгосрочного, краткосрочного и детального),
- 2 технология совместного планирования полета МКС,
- 3 концепция автоматизированной системы планирования,
- 4 структура базы данных автоматизированной системы планирования,
- 5 классификация полетных операций и формализация информации в БД,
- 6 предложения по созданию экспертной системы планирования

Достоверность полученных результатов подтверждается многолетним успешным использованием разработанных методов и алгоритмов планирования, баз данных и программного обеспечения при управлении полетами ОК «Мир» и МКС

Апробация работы и внедрение В процессе разработки и практического применения методов исполнительного планирования лично автором и при его непосредственном участии

- разработаны методики исполнительного планирования полета ОК,
- подготовлены и выпущены инструкции группы планирования Главной оперативной группы управления (ГОГУ) ОК «Мир» и РС МКС,
- разработана концепция Российской системы планирования,
- разработана классификация полетных операций,
- произведена формализация паспорта типовой полетной операции,
- составлены и апробированы алгоритмы формирования планов полета,
- разработана и реализована концепция и методика многостороннего исполнительного планирования на МКС,
- созданы и согласованы с международными партнерами стандарты базы данных, технология обмена информацией и программы интерфейсов.

Результаты работы были использованы в интересах управления полетом ОК «Мир», включая этапы международных программ «Мир – Шаттл», «Евромир» и др., а также при полете МКС. База данных полетных

операций и разработанное ПО используются в качестве штатного инструмента в группе планирования ГОГУ в ЦУП-М и Международной группе планирования МКС. Отдельные результаты работы используются специалистами планирования NASA и ЕКА.

Результаты диссертационной работы нашли отражение в материалах докладов, прочитанных автором на XXXIV, XXXV, XXXVII, XXXVIII, XXXIX Научных чтениях, посвященных разработке творческого наследия К Э Циолковского и XXX Академических чтениях по космонавтике, опубликованных в печати [1-4, 6, 7, 10].

Публикации. Результаты диссертационной работы изложены в 10 печатных работах [1-10], 5 технических отчетах и 5 совместных с агентствами NASA, ЕКА, JAXA регламентирующих документах по планированию космических полетов.

Структура и объем работы. Диссертация содержит следующие части: введение, четыре главы, заключение, список использованной литературы, включающий 71 наименование, всего диссертация содержит 193 стр машинописного текста.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении формулируется тема исследования и ее актуальность, оценивается современное состояние проблемы, приводятся соображения, касающиеся научной новизны и практической значимости работы. Определяется роль и место планирования в контуре управления полетом ОК.

В первой главе дана общая характеристика стадий и отвечающих им интервалов планирования. Определяется объем информации и исходных данных, необходимых для разработки планов различного уровня. Приводятся схемы информационных потоков при разработке планов. Осуществляется анализ глубины моделирования для различных стадий планирования.

В работе показана целесообразность применения системного подхода для успешного решения задачи повышения качества и эффективности планирования полетов ОК. В диссертации система планирования полета ОК рассматривается как сложная открытая система, включающая в себя предмет, средства и продукт коллективной деятельности специалистов соответствующей квалификации.

Предметом коллективной деятельности, связанной с планированием полета ОК, является

- 1) формирование последовательности целей, подлежащих достижению в ходе полета ОК, выбор и обоснование критериев эффективности планирования, а также описание ограничений на функционирование ОК,
- 2) проектирование деятельности экипажа ОК, организация рационального режима труда и отдыха космонавтов,
- 3) организация эффективного информационного взаимодействия борта ОК с наземными службами,
- 4) решение задач, относящихся к баллистическому обеспечению;

- 5) решение задач, относящихся к обеспечению энергоснабжения ОК,
- 6) сбор и формализация данных о внешних условиях среды, в которой находится ОК, а также об условиях проведения полетных операций,
- 7) разработка плана выполнения операций, обеспечивающих достижение цели полета ОК

В качестве продукта планирования полета выступает совокупность документов, включающая в себя номинальный план полета (НПП), общий план полета (ОПП), детальный план полета (ДПП)

Средства деятельности по планированию полета ОК охватывают специальные подразделения - группы планирования. В диссертации группы планирования рассматриваются как сложные человеко-машинные комплексы, состоящие из специалистов - планировщиков и орудий их труда, в первую очередь, программно-технических средств переработки информации и разработки планов полета

В работе рассмотрены основные характеристики задачи планирования - это ее сложность и открытость. С одной стороны, сложная природа задачи планирования полета как системы проявляется в том, что ее предмет, средства и продукт представляют собой сложные иерархические динамические системы. Поэтому системный анализ общей задачи планирования требует подробного исследования иерархической структуры ее компонентов иерархии планов полета, различающихся по величине интервала (горизонта) планирования и степени их детализации, многоуровневой организационной схемы планирования полета с циркулирующими в ней информационными потоками, а также соотношения различных задач в деятельности планировщиков.

С другой стороны, свойство открытости задачи планирования полета как задачи синтеза системы означает необходимость ее изучения в общей логике этапов управления полетом ОК. Более того, анализ организационной структуры группы планирования (ГП) не может ограничиваться рамками главной оперативной группы управления (ГОГУ), а должен также затрагивать ряд служб смежных организаций и международных партнеров.

Вводится определение полетной операции как основного элемента планирования, перечислены основные характеристики и варианты классификации полетных операций.

Отношения между операциями устанавливаются с помощью таблицы приоритетов. В работе проанализированы особенности формирования планов оператором-планировщиком на основе представления о приоритетах, совместимости операций, а также на основе критериальных оценок операций и оценок формируемого плана.

В результате выполненного исследования показано, что создание эффективных методов, средств и систем автоматизированного планирования требует дальнейшего развития общей теории планирования полета, системного анализа целостного процесса планирования, детального

исследования его содержания и взаимосвязей основных этапов

Во второй главе рассмотрены базовые алгоритмы разработки планов исполнительного уровня и ряд основных методов планирования работ, которые длительное время широко используются на практике, и даны оценки их применимости для разработки планов исполнительного уровня при управлении полетом ОК. Рассматриваемый ряд моделей охватывает детерминированные, вероятностные, альтернативные и нечеткие модели

Детальный план полета (ДПП) разрабатывается за 4 суток до реализации с тем, чтобы иметь возможность отработать его на математических моделях, согласовать со всеми специалистами и утвердить у руководителя полета ДПП является конечным директивным документом управления, поэтому все данные для разработки плана должны быть определены точно и однозначно. Этим условиям в большей степени удовлетворяют детерминированные модели

Для детального планирования полетных операций какой-либо одной компоненты плана, например, плана выполнения динамических режимов, плана деятельности одного члена экипажа и т.д., описанных в главе 1, хорошо подходит Метод критического пути (МКП)

МКП предназначен для планирования сложных комплексов работ. Его основные требования к исходным данным следующие

1) план состоит из конечного множества работ (полетных операций), на котором введено отношение строгого порядка (предшествования),

2) продолжительность выполнения каждой полетной операции задана точно и имеет единственное значение;

3) любая полетная операция выполняется без перерыва до ее завершения,

4) выполнение последующей полетной операции не обязательно должно начинаться сразу же после окончания непосредственно предшествующей ей, однако оно не может начинаться, пока не завершена предыдущая операция

Эти требования к исходным данным больше всего перекликаются с требованиями, предъявляемыми к исходным данным при разработке ДПП

Для формализации планирования в МКП используется сетевая модель, которая представляет собой графическое описание плана, показывающее взаимосвязь между операциями. Сеть состоит из ориентированных дуг, соединяющих пары узлов. Элементы сети, характеризующие затраты времени (дуги), соответствуют операциям (работам). Узлы являются событиями. Такое представление называется "дуга-работа", но может применяться и представление "узел-работа".

Проанализировано применение вероятностных методов для разработки НПП и ОПС. Рассмотрена возможность применения Метода оценки и прогноза планов (PERT) к этапам долгосрочного и краткосрочного планирования. Данный метод во многом аналогичен МКП, но главное

отличие его состоит в том, что вместо единственного детерминированного значения продолжительности выполнения работы, принимаются три следующих значения:

- наиболее вероятное время выполнения m_i ,
- оптимистическая оценка времени выполнения a_i ,
- пессимистическая оценка времени выполнения b_i ,

Этот метод более подходит для долгосрочного планирования, когда имеется лишь примерная оценка времен выполнения работ.

Наиболее вероятное время выполнения работы m_i определяется как время выполнения работы при нормальных условиях. Оптимистическая и пессимистическая оценки задают размах колебаний продолжительности работы при наличии неопределенности.

В большинстве случаев в методе PERT принимается бета-распределение продолжительности работ. Обозначив f_i - среднюю продолжительность i -ой работы, можно приближенно вычислить $f_i = (a_i + 4m_i + b_i)/6$. Дисперсия продолжительности i -ой работы равна, соответственно $\sigma_i^2 = ((b_i - a_i)/6)^2$.

Если за фактическую продолжительность принять f_i , то можно найти критический путь и время выполнения проекта T , которое является случайной величиной, т.е. можно найти ее среднее значение (математическое ожидание) и дисперсию.

Используя данный метод, можно вычислять вероятность завершения работ к определенному сроку. Этот метод наиболее пригоден для использования в алгоритме формирования НПП.

Методы МКП и PERT являются упрощенными моделями большинства реальных ситуаций, т.к. в них основной упор делается на сроки, но не учитывается потребность в ресурсах и зависимость сроков работ от их наличия, что является важным критерием при планировании полета ОК.

В моделях с распределением ресурсов предполагается, что ускорение выполнения некоторых работ, а следовательно и всей совокупности работ, возможно за счет выделения большего количества ресурсов, т.е. за счет увеличения прямых затрат на выполнение совокупности работ.

В рамках данной модели предполагается следующее.

- продолжительность некоторых работ можно регулировать количеством ресурсов, выделяемых для выполнения работы, например, если работу будут выполнять два члена экипажа, ее продолжительность будет меньше,
- существуют оценки в виде функциональных (линейных) зависимостей ценности работы от сроков ее выполнения, например, ценность некоторого эксперимента может быть выше, если он планируется в начале экспедиции.

В работе были проанализированы способы качественного улучшения метода PERT с других методологических позиций, а именно, с применением теории нечетких множеств.

В заключении 2-й главы сделаны выводы о необходимости разработки

методов планирования полетных операций, основанных на принципах искусственного интеллекта (ИИ). Самым главным аргументом в пользу подхода к планированию комплексов работ как к системе ИИ является то, что из-за высокой размерности задача планирования не может быть решена точно, как задача математического программирования. В процессе планирования решение задачи отыскивается путем применения эвристических приемов. Причем методы ИИ позволяют обосновать, формализовать подобные приемы и применять их для поиска решений на систематической основе как часть базы знаний о комплексе работ.

Предметом третьей главы является описание методологии взаимодействия при планировании из разных Центров управления полетами в ходе выполнения международных программ.

В проекте международной космической станции принимают участие космические агентства разных стран, многие из которых уже имели свой опыт управления космическими аппаратами, свою технологию планирования и свою автоматизированную систему планирования. Первоначально специалисты NASA предлагали ввести принцип централизованного управления МКС из одного центра. При этом партнерам отводилась роль организаций, которые только готовят исходные данные для разработки планов и реализуют принятые в NASA решения.

Российской стороной было показано, что такой подход невозможно применить к МКС, которая является сложным комплексом, состоящим из большого числа модулей, систем, подсистем, научной аппаратуры, взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов, разработчики и кураторы которых находятся в разных странах. Кроме того, при составлении и корректировке планов необходимо учитывать множество различных ограничений, требований и других факторов, например:

- совместимость (по условиям проведения, используемым технологиям и ресурсам и др.) различных работ, выполняемых международным экипажем,
- конфигурацию и техническое состояние конструкций и бортовых систем,
- функциональные возможности и основные режимы средств управления,
- объемы бортовых ресурсов (энергетических, вычислительных, информационных, расходных материалов, жизнеобеспечения и др.),
- необходимость поддержания радиосвязи через спутники - ретрансляторы,
- необходимость распределения ресурсов между сегментами МКС при ограниченных возможностях бортовых и наземных систем и др.

Таким образом, разработка качественных планов и, что не менее важно, оперативная корректировка планов в процессе полета возможны лишь, если такие важные функции как анализ исходных данных, математическое моделирование, прогнозирование параметров функционирования бортовых систем, формирование планов, распределение ресурсов и оценка реализуемости планов будет осуществляться теми Центрами управления, которые являются «хозяевами» сегментов, модулей, систем.

По инициативе и, при участии диссертанта была создана международная группа планирования, которая включает в себя представителей всех космических агентств - участников программы МКС. На основе опыта управления долговременными космическими станциями «Мир», «Салют» были предложены методы и технологии планирования, а также способы обмена исходными данными и продуктами планирования, которые согласованы и приняты всеми международными партнерами.

В работе были выделены четыре основных принципа планирования при управлении полетом международной космической станцией:

- принцип поэтапного планирования
- принцип распределенного планирования,
- принцип сепарации,
- принцип интеграции,

Принцип поэтапного планирования «от общего к частному» подробно изложен в параграфе 1.2. Он заключается в последовательной разработке планов исполнительного уровня долгосрочного, краткосрочного, детального.

Принцип распределенного планирования реализован следующим образом. В разработке единого плана ОК принимают участие все международные партнеры. Используя свои базы данных и программы-интерфейсы между системами планирования, а также руководствуясь согласованными правилами, ограничениями и принятой технологией, стороны обмениваются информацией по планированию и создают единый план.

Принципы сепарации и интеграции планов применяются для всех планов исполнительного уровня - долгосрочного, краткосрочного и детального. Принцип сепарации предполагает, что каждый партнер, ответственный за свой сегмент/модуль ОК, разрабатывает план полетных операций, которые должны проводиться на его сегменте/модуле. При этом учитываются общие правила и ограничения по планированию, доступные ресурсы, приоритеты и т.д. При необходимости разрешения вопросов согласования партнеры используют телеконференции, электронную почту, систему Dgor Vox.

Принцип интеграции заключается в следующем. Разработанные партнерами планы направляются в тот ЦУП, который на данном этапе является интегратором. Специалист по интеграции сводит их в единый план и проводит его анализ по таким параметрам, как совместимость операций, распределение ресурсов, полнота информации, наличие конфликтов.

На следующем шаге интегрированный план и предложения по разрешению выявленных конфликтов распределяются между партнерами.

Процесс интеграции может происходить в несколько итераций. Как правило, бывает достаточно двух итераций, причем на всех этапах планирования (долгосрочное, краткосрочное и детальное планирование).

Для того чтобы каждый партнер мог самостоятельно формировать план

для своего сегмента, были разработаны регламентирующие документы

Планы отдельных сегментов разрабатываются в виде набора данных, хранящихся в БД систем планирования партнера Для обмена информацией используются транспортные (экспортные) файлы EXPTIM со строго определенной структурой После передачи на Drop Box эти файлы становятся доступными всем партнерам

Структурная схема интерфейса РСР с американской системой планирования CPS представлена на рис 1

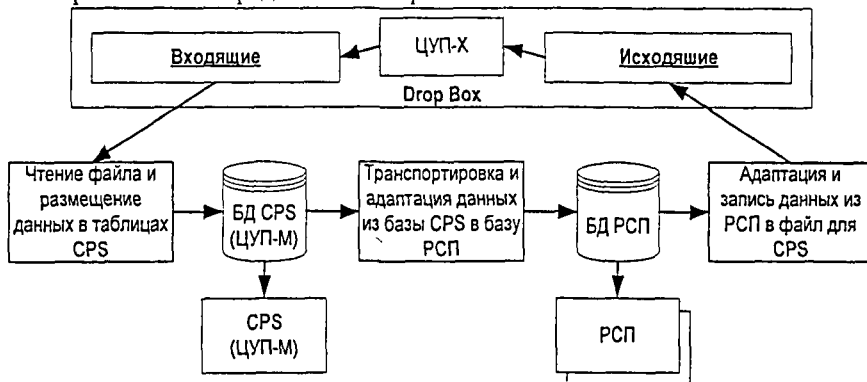


Рис 1 Структурная схема интерфейса РСР с CPS

При разработке технологии взаимодействия специалистов разных стран при управлении МКС было необходимо учитывать несколько факторов

Во-первых, разницу в часовых поясах Как правило, график работы специалистов по долгосрочному и краткосрочному планированию совпадает с графиком работы фирмы в каждой конкретной стране Поэтому необходимо было создать механизм взаимодействия групп планирования, при котором планировщик может контактировать как с кураторами систем, научных экспериментов, руководством своего сегмента, так и с партнерами по разработке планов, находящимися по другую сторону океана

Во-вторых, в каждом космическом агентстве существует административная структура, которая может отличаться от структуры партнеров

Организация взаимодействия международных партнеров при разработке планов разного уровня имеет свои специфические особенности, которые подробно описаны в третьей главе

Предложенная технология взаимодействия при разработке планов АС и РС не требует принципиальных изменений, когда к управлению МКС присоединятся другие партнеры Это уже подтвердилось при краткосрочных полетах экспедиций посещения с участием астронавтов европейского, бразильского и японского космических агентств

В четвертой главе приведены основные положения для разработки

автоматизированной системы планирования Обоснован выбор платформы (БД ORACLE, ОС Unix) Приведена классификация полетных операций и их формализация в базе данных Представлена блок-схема российской системы планирования Заложены основы экспертной системы

Специфика планирования полета МКС, связанная с участием нескольких международных партнеров, работающих в различных Центрах управления, требует предоставления всех результатов планирования на всех этапах в электронном виде в соответствии с согласованными международными партнерами форматами данных для того, чтобы при обмене и согласовании исключить разночтение результатов планирования.

Концепция автоматизированной системы планирования заключается в создании программно-технических средств, обеспечивающих формирование базовых компонентов планирования, разработку плана российского сегмента, приведение данных к требуемому формату и интеграцию в единый план полета Концепция была реализована при создании Российской системы планирования (РСП), основными компонентами которой являются

- подсистема долгосрочного и краткосрочного планирования полета,
- подсистема детального планирования полета,
- интерфейс с американской системой планирования полета CPS

РСП обеспечивает сквозную, вложенную связь между планами различных уровней, а также корректный обмен данными по планированию с международными партнерами Структурная схема РСП показана на рис 2

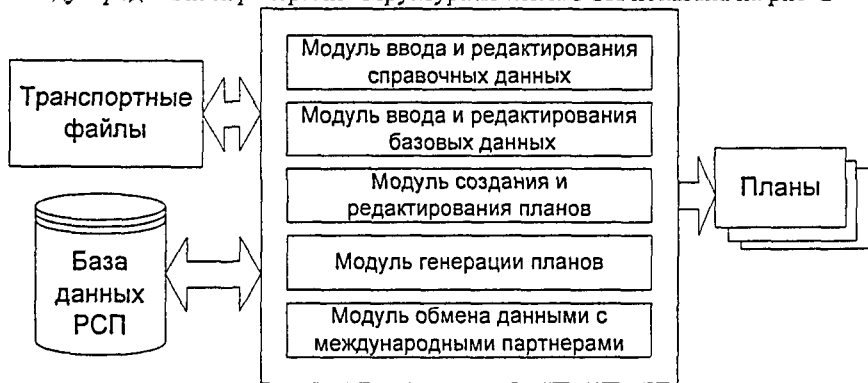


Рис 2 Структурная схема РСП

Можно выделить 3 основных составляющих источники данных, набор обрабатывающих их программных модулей, и результат В качестве источников информации выступают «входящий» транспортный файл, содержащий данные планирования международных партнеров и база данных РСП Информация из БД, «выходящий» транспортный файл, а также планы полета являются результатом работы программы

Основной компонентой системы является прикладное программное

обеспечение, которое позволяет

- автоматизировать процесс планирования,
- обеспечивать связь и целостность между всеми компонентами системы;
- обеспечивать корректный обмен данными по планированию с международными партнерами

Прикладное программное обеспечение состоит из таких модулей, как:

- модуль ввода и редактирования справочных данных,
- модуль ввода и редактирования базовых данных,
- модуль создания и редактирования планов различных уровней,
- модуль генерации отчетов,
- модуль обмена оперативными данными с международными партнерами

Любой план представляет собой совокупность информации, хранящейся в базе данных Российской системы планирования. Основой плана является база данных полетных операций. В БД РСП вся информация по полетным операциям формализована определенным образом. Выбран тот состав полей БД, который необходимым и достаточным образом характеризует любую полетную операцию. На рис. 3 представлена структура «паспорта» полетной операции.

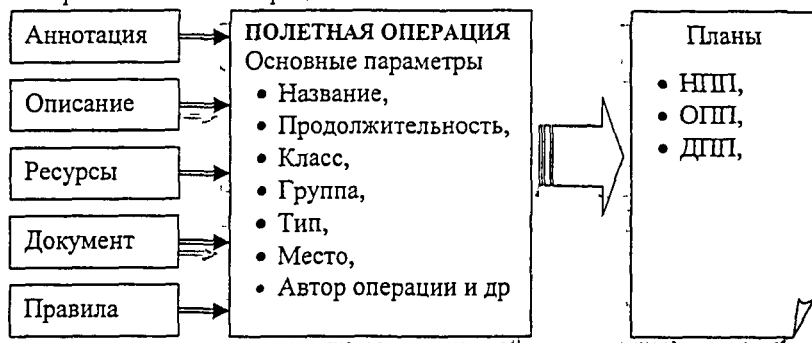


Рис 3 Структура паспорта полетной операции

Параметры, описывающие полетную операцию и параметры, являющиеся характеристиками плана, согласовываются с международными партнерами и входят в документ «Стандарты базы данных»

Таблицы БД системы планирования можно условно разделить на следующие типы: справочные таблицы, таблицы базовых операций, таблицы, содержащие оперативные данные (см. рис. 4)

Базовые данные содержат набор паспортов операций (паспорт операции представляет собой набор взаимосвязанных данных, характеризующих операцию). На основе этих данных планировщик может создать требуемую операцию в плане. Эта возможность сокращает временные затраты пользователя при планировании.



Рис.4. Структура БД РСП

При заполнении паспортов операций многие наименования, используемые для описания ресурсов, режимов, условий планирования и т д , являются стандартными Такие наименования вводятся из заранее составляемых справочников, в которых хранятся данные, гарантирующие точность и однозначность обмениваемой с партнерами и посылаемой на борт информации Таблицы с указанной информацией содержат данные, связанные непосредственно с планом, (информация о самом плане, об операциях из плана, о дате их выполнения) Запись и изменения данных происходит с учетом стандартов, определенных в 4-й главе диссертации

В заключении главы проанализированы предпосылки создания экспертной системы планирования, необходимые для ее разработки Все знания в экспертной системе планирования могут храниться в двух типах файлов базы знаний и библиотеки знаний В файлах первого типа можно хранить знания о приложениях, например, знания об одной конкретной экспедиции определения всех объектов (полетных операций), правила, процедуры и т п В файлах библиотек хранятся общие знания, которые могут быть использованы более чем в одном приложении, например, определение стандартных объектов (типовых полетных операций)

В заключении диссертационной работы приводятся общие выводы по результатам проведенных исследований в целом

- В работе показано, что совершенствование процесса разработки плана полета предполагает как развитие его методологической основы, так и применение новых технологических приемов разработки, повышающих производительность и качество работы специалистов по планированию
- Эффективным средством повышения производительности труда

специалистов по планированию и повышения качества разрабатываемых документов по планам полета является автоматизация процесса разработки этих документов. Идея автоматизации, представленная в диссертации, заключается в том, чтобы с помощью используемых для этой цели вычислительных средств осуществлять те операции процесса планирования, для которых логика выполнения и необходимые исходные данные могут быть достаточно просто и надежно формализованы.

- Выполненный анализ и теоретическое обобщение существующих методов планирования работ, а также предложенные критерии качества планов полета указывают на то, что эти методы могут быть использованы в качестве исходной базы при дальнейшей разработке программ автоматизации планирования полета ОК. В работе сформулированы рекомендации по практическому применению математических методов для разработки планов исполнительного уровня.
- Показано, что из-за больших размерностей задача планирования не может быть решена точно, как задача математического программирования. Наряду с результатом анализа особенностей исходных данных при разработке долгосрочных планов это дает основание сделать выводы о необходимости разработки методов планирования полетных операций, основанных на принципах искусственного интеллекта.
- Анализ особенностей планирования из дистанционно удаленных центров управления позволяет сформулировать следующие четыре основных принципа планирования при управлении полетом международной космической станцией: принцип поэтапного планирования, принцип распределенного планирования; принцип сепарации, принцип интеграции. В работе предложены практические методы реализации этих принципов.

Основные результаты диссертации сводятся к следующему:

1. На базе проведенного анализа стадий и этапов планирования полета разработана методология исполнительного планирования, основанная на комплексном подходе к решению задач планирования, моделирования и автоматизации. Данная методология успешно использовалась при управлении полетом станции «Мир» и позволила разработать эффективные методы планирования при реализации проекта МКС.
2. Разработаны базовые алгоритмы формирования планов различного уровня, позволяющие создавать документы планирования, отвечающие заданным требованиям надежности, эффективности и качества.
3. Разработана концепция автоматизации процесса планирования, которая была технически реализована в Российской системе планирования.
4. Введена классификация полетных операций и предложены стандарты описания полетной операции в базе данных, обеспечивающие однозначную интерпретацию основных элементов планирования и обмен данными между Центрами управления полетами всех партнеров.
5. Предложена и реализована технология взаимодействия международных

партнеров при планировании операций на МКС, позволяющая создавать единый план полета путем интеграции планов различных сегментов

В целом, диссертационная работа открывает новое направление исследований в области планирования полетных операций при управлении полетом ОК. Представленные результаты позволяют повысить эффективность планирования в контуре управления полетом путем автоматизации процесса планирования и применения четкой технологии интеграции планов с международными партнерами. Кроме того, путем проведенного системного анализа эти результаты позволяют оценить структурные элементы задачи планирования. Предложенные математические модели частично нашли применение в алгоритмах существующей системы планирования и могут быть использованы при разработке новых методов автоматизации планирования полетных операций при управлении ОК.

Основные результаты диссертации отражены в следующих работах:

- 1 Станиловская В И, Кукушкин В А Особенности процесса планирования полета МКС// Труды XXXV чтений К Э Циолковского Тезисы докладов, ИИЕТ РАН -М, 2000 - С 54-55
- 2 Станиловская В.И Концепция планирования на МКС// Труды XXXIV чтений К Э Циолковского - Казань, 2001 - С 124-127
- 3 Станиловская В И Методология взаимодействия партнеров проекта МКС при планировании из разных центров управления полетами //Труды XXXVII чтений К Э Циолковского - Казань, 2003 - С 103-105
- 4 Соловьев В А, Станиловская В И Разработка и практическое внедрение методов планирования полетных операций при оперативном управлении орбитальными комплексами //Труды XXXVII чтений К Э Циолковского - Казань, 2003 - С 95-102
- 5 Соловьев В А, Станиловская В И Опыт управления космическими полетами орбитальных комплексов третьего поколения//Актуальные проблемы авиационных и аэрокосмических систем - Казань, 2004 - №1(17) - С. 50-59
- 6 Станиловская В И Оценка приоритетов полетных операций при разработке планов полетов орбитальных комплексов//Материалы XXXIX чтений К Э Циолковского, - Калуга, 2004 - С 68
7. Станиловская В.И Принципы планирования полета при управлении МКС из территориально удаленных центров//Труды XXXVIII чтений К Э Циолковского - Казань, 2004 г - С. 57-64
- 8 Любинский В Е, Станиловская В И Планирование полета длительно функционирующих пилотируемых космических аппаратов //Космонавтика и ракетостроение -М, 2004. - №4 - С 98-104
- 9 Любинский В Е, Станиловская В И Планирование полета космической станции в условиях конфликта между полетными операциями// Полет.-2006 -№10 -С 22-33
- 10.Станиловская В И Оптимизация планирования космических полетов //Матер XXX академ чт по космонавтике - М, 2006 - С.269

Подписано к печати 30 04 08 Заказ № 8133
Объем 1,0 печ л Тираж 100 экз
Типография РКК "Энергия" им С П Королева
141070, Московская обл , г Королев, ул Ленина, д 4а
+7 (495) 586- 84-45