

Контроль полета пилотируемых космических аппаратов для оценки их состояния и функционирования

© В.А. Соловьёв, В.Е. Любинский, Н.В. Мишурова

ПАО «РКК «Энергия», г. Королёв, Московская обл.,
141070, Россия

Проанализирована текущая схема управления полетом. Структурирована информация, необходимая для контроля состояния и функционирования пилотируемых космических аппаратов. Выделены особенности информации, передаваемой на борт космического корабля с Земли. Проведен анализ достоинств и недостатков каждого элемента системы управления полетом. Рассмотрена технология выполнения контроля состояния и функционирования пилотируемого космического аппарата, осуществляемая персоналом оперативной группы управления с использованием необходимых программно-технических средств. Приведены составляющие методики контроля и оценки состояния космического аппарата с Земли, выделены алгоритмы контроля и оценки его состояния, требуемые для автоматизации процесса управления. Представлен алгоритм контроля выполнения полетной операции транспортного космического корабля «Союз». Перечислены направления совершенствования технологии контроля состояния и функционирования пилотируемого космического корабля, осуществляемой персоналом оперативной группы управления.

Ключевые слова: *пилотируемый космический аппарат, бортовые системы, оценка состояния, обмен информацией, анализ информации, диагностирование аномалии, оперативная группа управления*

Введение. Одним из основных компонентов процесса управления полетом пилотируемых космических аппаратов (ПКА) является контроль их текущего состояния и работы, играющий роль обратной связи в контуре управления. От степени оперативности и достоверности контроля во многом зависит надежность выполнения задач полета ПКА и безопасность его экипажа. Эта функция реализуется в определенном взаимодействии тремя звеньями контура управления ПКА: наземным комплексом, интеллектуальным ядром которого является оперативная группа управления (ОГУ), экипажем ПКА и бортовым комплексом автоматического управления, включающим в себя в качестве интеллектуального элемента бортовую вычислительную машину.

Система управления полетом. Наземный комплекс управления (НКУ), экипаж ПКА и бортовой комплекс автоматического управления (БКАУ) вместе с приданными им средствами обмена информацией между собой и с ПКА (объектом управления) образуют систему управления полетом ПКА (рис. 1).

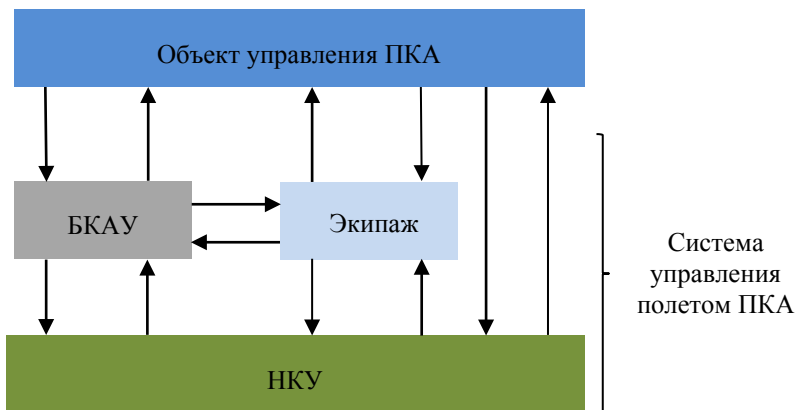


Рис. 1. Контур управления полетом ПКА

В процессе управления полетом ПКА на вход системы управления поступает информация, после обработки которой можно оценить текущее состояние ПКА и качество выполнения им своих функций. При управлении полетом с Земли этот поток информации включает следующие виды данных [1, 2]:

- телеметрическую информацию (на практике ее принято называть также телеметрией) и сообщения экипажа, содержащие сведения о параметрах состояния ПКА и работе его бортовых систем, их реакции на управляющие воздействия, ходе выполнения запланированных полетных операций, медицинском состоянии космонавтов, результатах научных исследований и экспериментов, проводимых в ходе полета;

- телевизионную информацию, обеспечивающую контроль ориентации ПКА, его движения относительно другого ПКА (например, при сближении или расхождении), контроль работы космонавтов внутри и снаружи ПКА, состояния интерьера и наружной поверхности ПКА и т. п.;

- измерительные сигналы системы радиоконтроля параметров траектории полета ПКА (в дополнение к этому соответствующая информация, получаемая на борту ПКА от автономной навигационной радиосистемы, поступает в наземный комплекс управления полетом в составе потока телеметрической информации);

- сигналы, которые свидетельствуют о приеме на борту ПКА радиокоманд телеуправления, выданных с Земли (так называемые квитанции приема команд);

- сигналы, свидетельствующие о выдаче экипажем команд управления с бортовых пультов.

Управляющая информация, передаваемая с Земли на борт ПКА, содержит радиокоманды телеуправления, радиogramмы экипажу с

различными директивами и инструкциями, телевизионную информацию, иллюстрирующую эти инструкции, запросные сигналы для системы радиоконтроля параметров траектории [3].

При выполнении экипажем функций управления полетом он может судить о состоянии ПКА и работе его систем по информации с бортовых индикаторных устройств. Ориентацию ПКА и его движение относительно внешних ориентиров (Земли, Солнца, Луны, звезд) или другого ПКА космонавты контролируют через иллюминаторы, оптические приборы и с помощью внешних телевизионных камер. Информация о параметрах траектории ПКА поступает экипажу от бортовой навигационной системы либо передается с Земли.

Для оценки состояния и функционирования ПКА средствами БКАУ используют информацию, которая поступает к нему от бортовых систем (БС) ПКА и с датчиков аппаратуры, контролирующей состояние внутренней и внешней среды.

Система управления полетом получает не только информацию, поступающую с борта ПКА, но и значительный по объему поток необходимых данных от различных наземных служб. Например, информация, получаемая от гидрометеорологической службы и службы радиационной безопасности, содержит ряд данных о внешней среде, в которой проходит полет ПКА; заключения службы медицинского обеспечения полета о состоянии экипажа позволяют судить о его здоровье и работоспособности; из центра обработки и анализа научной информации поступают сведения о текущем объеме выполнения научных исследований, а также рекомендации по их планированию на оставшийся период полета и по использованию научных приборов.

Система управления полетом ПКА выполняет свои функции (в том числе контроль и оценку состояния и работы ПКА) в двух основных режимах: оперативном и неоперативном. При оперативном режиме (иногда он именуется режимом реального времени) результаты достигаются в существенно ограниченное время. Так, чтобы обеспечить незамедлительное реагирование в экстренных случаях, требуется осуществлять в режиме реального времени контроль и оценку параметров, влияющих на безопасность экипажа, жизнеспособность ПКА и характеризующих проведение ответственных полетных операций. В случае негативного результата контроля необходимые решения должны быть приняты и реализованы также в оперативном режиме [4]. Функции, результаты выполнения которых используются не в срочном порядке, относятся к категории реализуемых в неоперативном режиме. Это, например, долгосрочное и краткосрочное (в настоящее время — недельное) планирование, углубленный анализ и оценка качества работы бортовых систем ПКА, принятие и реализация решений при значительном располагаемом времени на парирование выявленной аномалии.

Следует отметить, что возможности и качество выполнения задачи контроля и оценки состояния и функционирования ПКА различными центральными звеньями системы управления полетом (НКУ, экипажем и БКАУ) могут существенно различаться в зависимости от условий и требований, определяемых особенностями полета ПКА, а также от текущего уровня развития аппаратных и программных средств, используемых этими звеньями.

В настоящее время наиболее мощным звеном в этом отношении является НКУ, располагающий развитым комплексом вычислительных и моделирующих средств, квалифицированным персоналом достаточной численности. Кроме того, имеется возможность привлечения извне необходимых специалистов к решению возникающих задач и получения дополнительной информации по системам ПКА от их разработчиков и испытателей [5, 6]. Однако эффективность НКУ при этом сильно зависит от возможности обеспечения достаточного времени его информационной связи с ПКА.

Для выполнения указанной функции экипаж современных ПКА располагает относительно малым рабочим временем, кроме того, возможности экипажа ограничены существующим уровнем развития бортовых средств поддержки его деятельности.

Достоинством БКАУ является его способность осуществлять непрерывный контроль состояния и работы ПКА, практически мгновенно реагируя на обнаруженные аномалии. Однако качество контроля и реакций на его результаты целиком зависит от уровня программного обеспечения БКАУ. В настоящее время этот уровень по своим возможностям далек от уровня НКУ. В дальнейшем он должен постепенно повышаться по мере внедрения в программное обеспечение БКАУ элементов искусственного интеллекта. При этом БКАУ приобретает способность обнаруживать непредвиденные аномалии и вызываемые ими ситуации, а также своевременно реагировать на них, чтобы обеспечить безопасность экипажа, жизнеспособность ПКА и выполнение задач полета [7].

Составляющие методики контроля и оценки состояния ПКА. Контроль и оценка состояния и функционирования ПКА включают в себя ряд основных составляющих, которые выполняются в следующем порядке:

1) сбор, обработка необходимой информации для выделения ее существенной и достоверной части и представление ее специалистам ОГУ и в аппаратно-программные средства;

2) анализ имеющейся информации, ставящий целью обнаружение отклонений от нормы (аномалий) или констатацию отсутствия аномалий;

3) диагностирование аномалии в случае ее обнаружения (выявление вызвавшей ее причины);

4) установление влияния аномалии на различные бортовые системы ПКА;

5) прогнозирование развития аномалии и вызванной ею эволюции состояния и работоспособности ПКА;

6) выработка рекомендаций по устранению аномалии или парированию ее влияния на безопасность экипажа, жизнеспособность или работоспособность ПКА и по дальнейшему использованию бортовой системы, к которой имеет отношение возникшая аномалия.

Все указанные работы выполняют в соответствии с методиками, основанными на классических подходах к решению связанных с ними задач, на специфике конкретного ПКА, полет которого проводится, и на опыте управления полетами аналогичных ПКА. Указанные методики должны быть подготовлены по каждой текущей модификации конкретного вида ПКА и оформлены в виде инструкций специалистам, осуществляющим контроль. Они должны использоваться также в качестве основы для разработки алгоритмов автоматизированного контроля.

Информация, получаемая при выполнении перечисленных основных работ, передается руководству полетом для принятия решения относительно дальнейшего полета. Это решение может либо указывать на возможность продолжения полета согласно разработанному ранее плану, либо содержать программу действий, направленных на парирование возникшей аномальной ситуации и выполнение предстоящей части полета.

На Земле процесс контроля и оценки состояния и функционирования ПКА выполняет ОГУ ПКА, в частности — входящая в ее состав подгруппа контроля. Последняя представляет собой человеко-машинный элемент системы управления полетом ПКА, состоящий из персонала и комплекса используемых им программно-аппаратных средств (вычислительные машины, средства представления информации, средства связи, система хранения информации и обмена ею между подгруппами ОГУ и т. п.). Эта подгруппа в совокупности с экипажем и БКАУ в процессе выполнения ими функций контроля, а также со средствами, поставляющими необходимую для контроля информацию, играет роль подсистемы (подсистемы контроля), входящей в общую функциональную структуру системы управления полетом ПКА.

В настоящее время практически все основные работы, которые проводятся при оценке состояния и функционирования ПКА, выполняются в основном «вручную» специалистами подгруппы контроля. При этом объектом их деятельности являются бортовые системы ПКА и физические условия внутри и снаружи ПКА, а используемой ими информацией — телеметрия и сообщения экипажа. Дополни-

тельно могут быть привлечены данные медицинского контроля, баллистические данные, информация из других подгрупп ОГУ и внешних организаций. Автоматизированы только обработка и представление персоналу группы контроля телеметрической информации в различных формах для всех видов эксплуатируемых или проходящих летные испытания ПКА, а также некоторые функции, например выявление и отображение существенных изменений контролируемых параметров транспортных космических кораблей «Союз» и «Прогресс».

Непосредственное выполнение специалистами практически всех работ, составляющих процесс контроля и оценки полета ПКА, обеспечивает возможность творческого, нестандартного подхода к решению поставленных задач, использованию в этой деятельности эвристических способностей человека, его ассоциативного мышления, способности выявлять необычные взаимосвязи наблюдаемых параметров, проводить комплексную оценку состояния группы систем. Однако эти возможности ограничиваются его утомляемостью, пониженной быстротой реакции на изменение контролируемых параметров, низкой способностью правильной оценки параметров при большом их объеме и высокой частоте поступления.

Процесс контроля и оценки состояния и функционирования ПКА включает также ряд сопутствующих вспомогательных работ:

- регистрацию изменения во времени наиболее важных контролируемых параметров и результатов контроля;
- создание непрерывно пополняемой и корректируемой информационной базы по находящемуся в полете ПКА, использование которой необходимо при выполнении контроля его состояния и функционирования;
- создание оперативных справочных материалов по аномальным ситуациям, фактически складывавшимся в полете;
- подготовку и сбор материалов технического отчета по полету ПКА, формирование отчета.

Выполнение указанных вспомогательных работ специалистами, одновременно с этим осуществляющими оперативный контроль полета, требует довольно больших трудозатрат и отвлекает персонал от интеллектуальной работы по обеспечению основных составляющих процесса контроля, что снижает его эффективность.

Для того чтобы усовершенствовать технологию контроля, требуется автоматизировать все указанные основные и вспомогательные работы. Представляется целесообразным прежде всего автоматизировать вспомогательные работы, поскольку алгоритмы их выполнения известны, они типовые (практически стандартные) для различных видов и экземпляров ПКА. Следующим этапом или параллельно должны быть разработаны алгоритмы и программно-математическое

обеспечение для автоматизированного выполнения основных работ процесса контроля.

Алгоритмы контроля. Возможные методы анализа телеметрической информации, получаемой с борта ПКА, могут быть основаны на принципах, изложенных в работе [8] и требующих применения следующих унифицированных алгоритмов, с помощью которых можно выполнить анализ состояния большинства систем ПКА.

1. Алгоритмы, основанные на методе двухуровневого контроля, предусматривают задание по каждому параметру контролируемой системы двух диапазонов пороговых значений: предельно допустимого и среднестатистического для ожидаемых значений параметров. Если значения всех контролируемых параметров не вышли за среднестатистический предел, формируется заключение о нормальном состоянии системы, если вышли, значит, обнаружена аномалия. Это наиболее простой и удобный алгоритм анализа телеметрии как при «ручной», так и при автоматизированной его реализации.

2. Алгоритмы, основанные на матрицах состояний, строятся на предположении, что состояние системы можно определить совокупностью значений телеметрируемых параметров и промежуточных вычислений некоторых физических величин, зависящих от состояния системы. Возможные варианты таких совокупностей размещаются в строках матрицы состояния, при этом часть строк отражает нормальное состояние системы, другая часть — ненормальное. Совпадение фактических значений телеметрируемых параметров и промежуточных вычислений с их значением в какой-либо строке свидетельствует о наличии в реальности отраженного в ней состояния системы.

3. Алгоритмы, использующие принцип «деревьев» поиска состояний, основаны на последовательном анализе отдельных параметров, характеризующих контролируемую систему. Поиск состояния этой системы разветвляется в зависимости от поэтапных результатов анализа и завершается идентификацией состояния системы после ряда операций последовательного анализа.

4. Алгоритмы, основанные на использовании математической модели ПКА, заключаются в потактовом сравнении совокупности телеметрических параметров, получаемых из модели, с данными фактических измерений. При этом модель ПКА включается в рабочий режим параллельно с реальным бортовым процессом и в реальном масштабе времени генерирует телеметрическую информацию о нормальном ходе анализируемого процесса.

В случае если задачу анализа телеметрии по какой-либо системе или по какому-либо процессу на борту ПКА невозможно свести к одному из этих алгоритмов, требуется создание индивидуального алгоритма анализа.

В ходе полета ПКА ряд его БС функционирует непрерывно (так называемые постоянно действующие системы — ПДС). Работа некоторых ПДС может проходить в одном определенном режиме, большая же их часть работает в различных, сменяющих друг друга режимах. Остальные системы ПКА (назовем их условно динамическими системами — ДС) включаются в работу в нужных режимах на некоторые необходимые периоды времени. Автоматизация контроля тех и других систем в процессе их функционирования может осуществляться с использованием алгоритмов, краткое описание которых приведено ранее.

В соответствии с планом полета ПКА, на фоне работы ПДС выполняются полетные операции, реализуемые, как правило, за счет организованного во времени функционирования ДС в определенных режимах. Обычно полетные операции ПКА носят типовой характер и выполняются по заданной программе («циклограмме»), согласно которой в определенные моменты времени или при определенных условиях включаются определенные ДС в нужных режимах работы.

В ходе выполнения полетных операций необходимо контролировать не только состояние и работу каждой участвующей в нем ДС, но и факты ее включения и выключения, автоматического переключения режимов, время свершения этих событий. Время включения, выключения и автоматического переключения режимов ДС, а также достижения определенного результата должно находиться в пределах допусков, указанных в циклограммах полетных операций. Если такое условие не выполняется, это расценивается как аномалия.

Автоматизация контроля состояния и функционирования ПКА. Автоматизацию контроля выполнения полетных операций ПКА представляется целесообразным осуществлять в соответствии с приведенной на рис. 2 логикой.

В состав ПКА входят БС различного назначения. Например, на транспортном корабле «Союз» их насчитывается более двух десятков, в том числе:

1) ПДС (системы терморегулирования, энергоснабжения, обеспечения газового состава атмосферы обитаемых отсеков, обеспечения жизнедеятельности экипажа, управления работой комплекса БС, малогабаритная бортовая информационно-телеметрическая система, бортовая вычислительная сеть, включая БКАУ);

2) ДС (система управления движением и навигации, двигательная установка корабля, радиотехнические системы, аппаратура спутниковой навигации, системы стыковки и внутреннего перехода между кораблем и станцией, управления спуском, включая исполнительные органы, комплекс средств спасения, средства контроля герметичности стыка, система регистрации информации, интегрированный пульт космонавтов, система термодатчиков разделения отсеков).

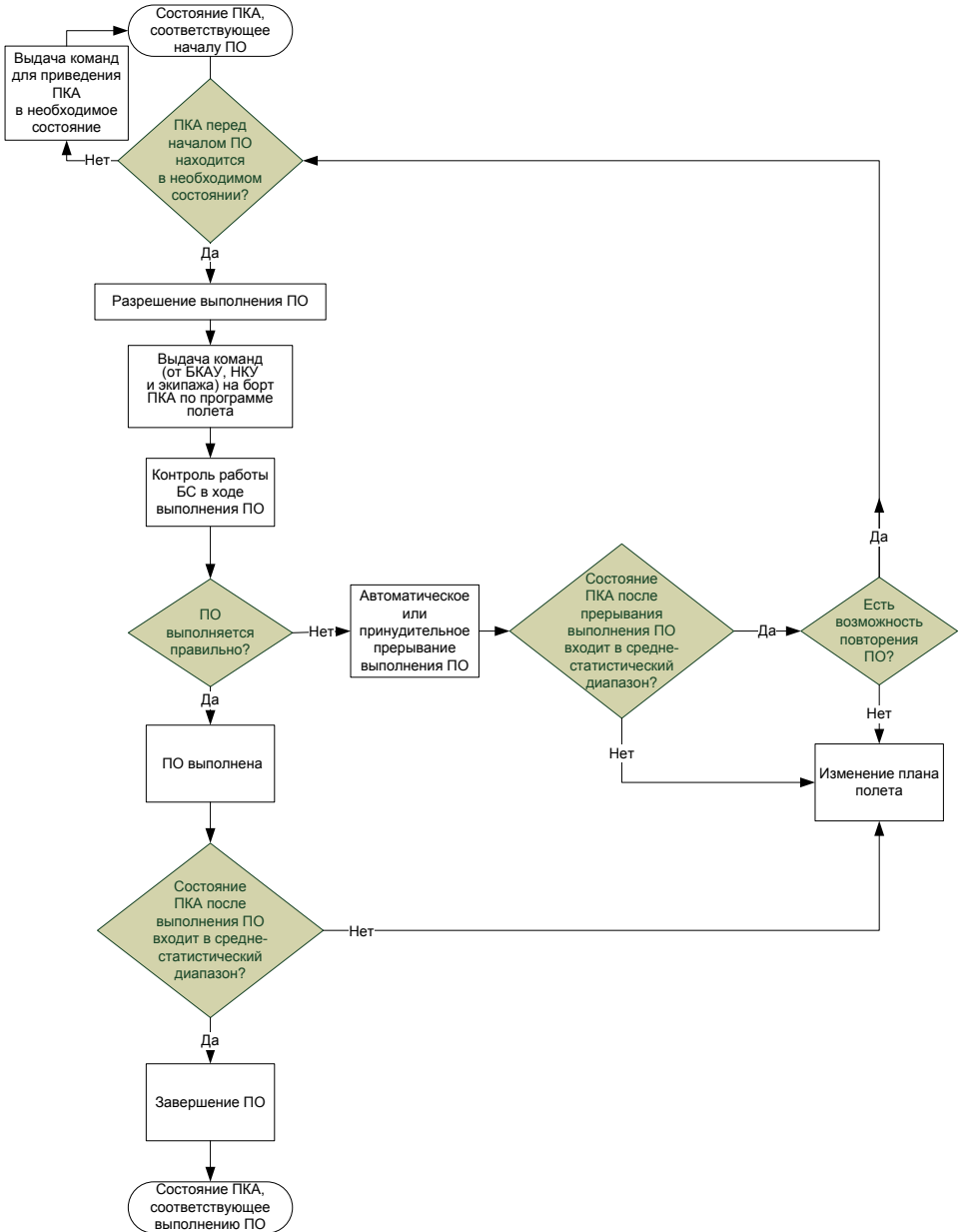


Рис. 2. Алгоритм контроля выполнения полетной операции (ПО) транспортного космического корабля «Союз»

Бортовые системы, работая в соответствии с планом полета, обеспечивают функционирование ПКА, необходимое для выполнения его задач. В совокупности БС составляют единый комплекс, в котором значительная их часть связана взаимным влиянием, командами взаимного управления, программами и логикой совместной работы. Поэтому в процессе управления полетом ПКА наряду с контролем каждой

отдельной БС проводится контроль состояния и функционирования комплекса БС в целом как единого технического объекта (так называемый комплексный контроль, или комплексный анализ). При этой форме контроля необходимо установить факт соответствия или несоответствия параметров состояния всей совокупности контролируемых БС определенной норме. Эта норма зависит, во-первых, от характеристик БС и особенностей их взаимовлияния и взаимоуправления, а во-вторых — от текущего этапа полета, от проводимой полетной операции, а также от физических условий, в которых работают БС. Комплексный анализ ввиду его сложности обычно выполняют наиболее квалифицированные специалисты ОГУ. Во многих случаях комплексный анализ служит важнейшим инструментом процесса диагностирования обнаруживаемых аномалий. Методология проведения комплексного анализа и последующая его автоматизация являются одним из предметов дальнейшей разработки технологии управления полетом [2].

Заключение. Анализируя существующую технологию выполнения контроля состояния ПКА в его полете, необходимо констатировать, что она безусловно нуждается в совершенствовании и развитии, направления которых определяются стремлением повысить надежность достижения целей полета и безопасность экипажей ПКА, а также новыми требованиями, предъявляемыми со стороны перспективных космических программ.

Таковыми основными направлениями являются:

- предоставление персоналу ОГУ (и экипажу ПКА) благоприятных условий для интеллектуальной деятельности в процессе контроля полета;
- обеспечение максимальной возможности быстрого, полного и корректного выполнения функций контроля в различных конфигурациях подсистемы контроля, определяемых составом действующих звеньев этой подсистемы.

Для реализации этих направлений должны быть приняты следующие меры:

- 1) освобождение персонала ОГУ (и экипажа ПКА) от рутинных, вспомогательных операций путем их автоматизации;
- 2) разработка и внедрение в практику управления полетами ПКА совершенных методик осуществления всех составляющих процесса контроля полета;
- 3) автоматизация выполнения всех элементов структуры процесса контроля;
- 4) использование современных информационных технологий при решении вопросов диагностирования, прогнозирования и разработки рекомендаций. В частности, возможно использование мультиагентной технологии с применением в ее структуре интеллектуальной ба-

зы знаний (онтологии) по комплексу БС. Онтология должна быть разработана для каждого определенного вида ПКА с учетом особенностей конкретного экземпляра ПКА. Требуется предусмотреть возможность корректировки базы знаний в ходе полета по результатам проводимого контроля. Она окажется необходимой и при выполнении всех остальных работ, входящих в процесс контроля состояния и функционирования БС ПКА как в «ручном», так и в автоматизированном варианте.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Соловьёв В.А., Лысенко Л.Н., Любинский В.Е. *Управление космическими полетами. Ч. 1.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009, 476 с.
- [2] Кравец В.Г., Любинский В.Е. *Основы управления космическими полетами.* Москва, Машиностроение, 1983, 256 с.
- [3] Любинский В.Е. Концепция создания системы управления полетом пилотируемого межпланетного корабля. *Общероссийский научно-технический журнал «Полет»*, 2004, № 7, с. 28–34.
- [4] Любинский В.Е., Соловьёв В.А. Управление полетом МКС: развитие методов и средств управления орбитальными комплексами. *Общероссийский научно-технический журнал «Полет»*, 2005, № 6, с. 3–6.
- [5] Мишурова Н.В., Соловьёв С.В. Анализ текущего состояния процесса контроля при управлении полетом космических аппаратов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2016, вып. 3. URL: <http://engjournal.ru/catalog/arse/adb/1474.html>
- [6] Соловьёв В.А. *Контроль информации и принятие оперативных решений при управлении полетом пилотируемых космических аппаратов.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998.
- [7] Соловьёв В.А., Любинский В.Е., Жук Е.И. Текущее состояние и перспективы развития системы управления полетами космических аппаратов. *Пилотируемые полеты в космос*, 2012, № 1 (3), с. 15–26.
- [8] Соловьёв В.А., Лысенко Л.Н., Любинский В.Е. *Управление космическими полетами. Ч. 2.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010, 426 с.

Статья поступила в редакцию 10.03.2017

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Соловьёв В.А., Любинский В.Е., Мишурова Н.В. Контроль полета пилотируемых космических аппаратов для оценки их состояния и функционирования. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2017, вып. 5.

<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2017-5-1614>

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на ХLI Академических чтениях по космонавтике, посвященных памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 24–27 января 2017 г.

Соловьёв Владимир Алексеевич — д-р техн. наук, профессор, чл.-корр. РАН, первый заместитель Генерального конструктора ПАО «РКК «Энергия», заведующий кафедрой «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 100 научных работ в области управления космическими полетами. e-mail: vladimir.soloviev@rsce.ru

Любинский Валерий Евгеньевич — д-р техн. наук, академик Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, главный научный сотрудник ПАО «РКК «Энергия», профессор кафедры «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 100 научных работ в области проектирования и управления полетами космических аппаратов. e-mail: valery.lubinsky@rsce.ru

Мишурова Наталья Валерьевна — инженер 1-й категории ПАО «РКК «Энергия», ассистент кафедры «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 20 научных работ в области управления космическими полетами. e-mail: natalya.mishurova@rsce.ru

Control of the manned spacecraft flight for assessing its condition and functioning

© V.A. Solovyev, V.E. Lubinskiy, N.V. Mishurova

S.P. Korolev Rocket and Space Public Corporation Energia,
Korolev town, Moscow region, 141070, Russia

The current flight control scheme is analyzed. The information necessary for monitoring the state and functioning of manned spacecraft is structured. The characters of the information transferred to the spacecraft from the Earth are singled out. The advantages and disadvantages of each element of the flight control system are analyzed. The technology of the control of manned spacecraft state and functioning performed by the personnel of the operational control group using the necessary software and hardware is considered. The components of the techniques of monitoring and assessing the state of the spacecraft from the Earth are provided, and algorithms for monitoring and evaluating its state, required for automation of the control process, are selected. The algorithm for controlling the flight operation of the Soyuz spacecraft is presented. The ways of improving the technology for monitoring the status and functioning of a manned spacecraft performed by the personnel of the operational control group are specified.

Keywords: *manned spacecraft, airborne systems, status assessment, information exchange, information analysis, anomaly diagnosis, operational control group*

REFERENCES

- [1] Solovyev V.A., Lysenko L.N., Lubinskiy V.E. *Upravlenie kosmicheskimi poletami. Chast 1* [Space flight control. Part 1]. Moscow, BMSTU Publ., 2009, 476 p.
- [2] Kravets V.G., Lubinskiy V.E. *Osnovy upravleniya kosmicheskimi poletami* [Fundamentals of space flight control]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1983, 256 p.
- [3] Lubinskiy V.E. *Obshcherossiyskiy nauchno-tekhniicheskiy zhurnal "Polet" — All-Russian Scientific-Technical Journal "Polyot" ("Flight")*, 2004, no. 7, pp. 28–34.
- [4] Lubinskiy V.E., Solovyev V.A. *Obshcherossiyskiy nauchno-tekhniicheskiy zhurnal "Polet" — All-Russian Scientific-Technical Journal "Polyot" ("Flight")*, 2005, no. 6, pp. 3–6.
- [5] Mishurova N.V., Solovyev S.V. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2016, iss. 3. Available at: <http://engjournal.ru/catalog/arise/adb/1474.html>
- [6] Solovyev V.A. *Kontrol informatsii i prinyatie operativnykh resheniy pri upravlenii poletom pilotiruemykh kosmicheskikh apparatov* [Information monitoring and operational decision-making in manned spacecraft flight control]. Moscow, BMSTU Publ., 1998.
- [7] Solovyev V.A., Lubinskiy V.E., Zhuk E.I. *Pilotiruemye polety v kosmos — Manned Space Flight*, 2012, no. 1 (3), pp. 15–26.
- [8] Solovyev V.A., Lysenko L.N., Lubinskiy V.E. *Upravlenie kosmicheskimi poletami. Chast 2* [Space flight control. Part 2]. Moscow, BMSTU Publ., 2010, 426 p.

Solovyev V.A., Dr. Sc. (Eng.), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, the first Deputy of the Principal Designer, S.P. Korolev Rocket and

Space Public Corporation Energia, Head of the Department of Space Flight Dynamics and Control, Bauman Moscow State Technical University. Author of over 100 research publications in the field of space flight control.

e-mail: vladimir.soloviev@rsce.ru

Lubinskiy V.E., Dr. Sc. (Eng.), Academician of the Russian Academy of Cosmonautics named after K.E. Tsiolkovsky, Senior Staff Scientist, S.P. Korolev Rocket and Space Public Corporation Energia, Professor, Department of Space Flight Dynamics and Control, Bauman Moscow State Technical University. Author of over 100 research publications in the field of design and control of spacecraft flights.

e-mail: valery.lubinsky@rsce.ru

Mishurova N.V., Engineer of the 1st category, S.P. Korolev Rocket and Space Public Corporation Energia, Assistant Lecturer, Department of Space Flight Dynamics and Control, Bauman Moscow State Technical University, author of over 20 research publications in the field of space flight control.

e-mail: natalya.mishurova@rsce.ru