Характеристика аспектов эксплуатации космических систем

Использование космических систем по их прямому назначению невозможно вне систем их окружающих, т. е. в отрыве от их взаимодействия с другими системами космического аппарата (КА). Более того, по ряду причин, использование как космической двигательной установки (КДУ), какой бы вид движителя она не использовала, так и энергетической системы КА, основанной на любом принципе, не всегда возможен без использования систем обработки информации и выработки команд располагающихся на Земле и входящих в состав ракетно-космических комплексов (РКК) или ракетно-космических летных комплексов либо еще по-другому просто летных комплексов (ЛК). К анализу взаимодействия всех этих систем мы возвратимся ниже, а сейчас рассмотрим некоторые определения, которые понадобятся для дальнейшего рассмотрения.

Космический аппарат (КА) это общее название различных технических устройств, предназначенных для выполнения целевых задач в космосе. Средством достижения необходимой скорости для осуществления космического полёта КА является ракета-носитель. КА делятся на две основные группы: околоземные орбитальные КА, движущиеся по геоцентрическим орбитам, не выходя за пределы сферы действия гравитационного поля Земли, это т. н. искусственные спутники Земли (ИСЗ), и межпланетные КА.

При этом различают автоматические КА (ИСЗ, искусственные спутники Луны — ИСЛ, Марса — ИСМ, Венеры — ИСВ, Солнца — ИСС и т. п., автоматические межпланетные КА) и пилотируемые космические корабли-спутники, обитаемые орбитальные станции, межпланетные космические корабли. Для доставки грузов на пилотируемые КА служат автоматические транспортные КА. Вместо термина «космический аппарат» иногда используют термин «космический летательный аппарат».

В самом общем виде, траектория полета КА может быть разделена на следующие участки:

участок выведения — где КА сообщается необходимая космическая скорость в заданном направлении;

орбитальный участок, на котором движение КА происходит в основном по инерции, по законам небесной механики;

участок посадки.

В ряде случаев, для выполнения необходимых эволюций, КА снабжаются ракетными двигателями, позволяющими на орбитальном участке изменять (корректировать) траекторию движения или тормозить КА при посадке. Для современных КА, использующих химические РД, протяжённость участков полёта с работающими двигателями (выведение, коррекция, торможение) значительно меньше, чем полная длина орбит.

Отличительная особенность большинства КА - это способность к длительному самостоятельному функционированию в условиях космического пространства. Во многих отношениях (законы движения, тепловой режим и др.) такие КА подобны самостоятельным небесным телам, на которых созданы необходимые условия для работы аппаратуры и существования людей. Среди систем КА основными можно считать:

регулирования теплового режима,

движительная,

энергопитания бортовой аппаратуры,

управления движением в полёте,

радиосвязи с Землёй и др.

В КА с экипажем в герметической кабине обеспечиваются необходимые условия для жизни и работы человека — осуществляется регенерация атмосферы с регулированием её температуры и влажности, снабжение водой и пищей. Решение проблем жизнеобеспечения экипажа особенно сложно для обитаемых орбитальных станций и межпланетных кораблей.

Многие КА имеют системы для ориентации в пространстве. Ориентация КА обычно выполняется с определенной целью (научные наблюдения объекта, радиосвязь, оптимальное освещение солнечных батарей и др.). В зависимости от задачи погрешность ориентации может составлять от 10…15° до нескольких угловых секунд. Изменение траектории (её коррекция, маневрирование КА, торможение перед спуском на Землю или другую планету и т. п.) необходимо для реализации любой достаточно сложной схемы космического полёта.

Поэтому все пилотируемые КА и большинство автоматических КА снабжены системой управления движением и бортовыми РД. Специфической задачей является поддержание на борту КА требуемой температуры. В отличие от наземных условий, в космическом пространстве теплообмен между отд. телами осуществляется только излучением.

На КА воздействуют внешние тепловые потоки — излучение Солнца, Земли или др. близкой планеты, обычно переменные (заход КА в тень Земли, полёт на различных удалениях от Солнца). В свою очередь, КА излучает в окружающее пространство в единицу времени определенное кол-во теплоты (зависящее от поглощения внешних тепловых потоков и внутреннего тепловыделения). КА обычно имеют т. н. радиационные поверхность (это часть его оболочки или отдельный радиатор-излучатель), которая за счёт специальной обработки обладает большим собств. излучением теплоты при малом поглощении его извне. Изменяя теплоподвод к радиационной поверхности и её собств. излучение (напр., с помощью специальных жалюзи), регулируют тепловой баланс КА, т. е. его температуру. Для тепловых процессов на борту КА характерно отсутствие конвективного теплообмена в связи с состоянием невесомости в полёте; поэтому одна из функций системы терморегулирования — организация внутреннего теплового режима.

Проблема энергопитания бортовой аппаратуры КА решается в нескольких направлениях:

использование солнечного излучения, преобразуемого в электроэнергию с помощью солнечных батарей (СБ) этот способ энергопитания, наиболее широко применяемый на современных КА, обеспечивает длительность работы аппаратуры до нескольких лет;

установка источников тока с высокой энергоотдачей на единицу массы — топливных элементов, вырабатывающих электроэнергию в результате электрохимических процессов между двумя рабочими веществами, например кислородом и водородом (полученная при этом вода может использоваться в системах жизнеобеспечения пилотируемых КА);

применение бортовых ядерных энергетических установок с реакторами и изотопными генераторами.

химические источники тока (аккумуляторы) применяются только на КА с малым временем работы аппаратуры (до 1…3 недель) или в качестве буферных батарей в системах энергопитания (например, в сочетании с СБ).

Полёт автоматических и пилотируемых КА требует радиосвязи с Землёй, передачи на Землю телеметрической и телевизионной (ТВ) информации, приёма радиокоманд, периодических измерений траектории движения КА, телефонной связи с космонавтами. Эти функции выполняют бортовые радиосистемы и наземные командно-измерительные пункты.

Одна из наиболее сложных проблем космических полётов — спуск КА на поверхность Земли и других небесных тел, когда космическая скорость КА должна быть уменьшена до нуля в момент посадки. Возможны два способа торможения КА: с использованием тормозящей реактивной силы; с помощью аэродинамических сил, возникающих при движении аппарата в атмосфере. Для реализации первого способа КА (или его часть – т. н. спускаемый аппарат) должен быть снабжён тормозной двигательной установкой (ТДУ) с большим запасом топлива; поэтому спуск с ракетным торможением применяется для посадки на небесные тела, лишённые атмосферы, например на Луну. Спуск с аэродинамическим торможением более выгоден (не требует ТДУ с большим запасом топлива) и является основным при осуществлении посадки КА на Землю.

При спуске по баллистической траектории перегрузки достигают 8…10; спуск по планирующей траектории, когда на спускаемый аппарат, кроме силы сопротивления, действует и подъёмная сила, позволяет уменьшить эти перегрузки в 1,5…2 раза. На участке спуска при движении в атмосфере имеет место интенсивный аэродинамический нагрев спускаемого аппарата. Поэтому он снабжается теплозащитным покрытием, создаваемым на основе керамических или органических материалов, обладающих высокой термостойкостью, малой теплопроводностью. В конце траектории спуска на высотах в несколько км скорость движения снижается до 150…250 м/с. Дальнейшее снижение скорости перед приземлением осуществляется обычно с помощью парашютной системы.

На современных КК применялись системы мягкой посадки (включение ТДУ непосредственно перед контактом с землёй), позволяющие уменьшить скорость приземления до нескольких м/с.

Конструкция КА отличается рядом особенностей, связанных со специфическими факторами космического пространства: глубоким вакуумом, наличием метеорных частиц, интенсивной радиации, невесомости. В вакууме изменяется характер процессов трения, возникает явление т. н. холодной сварки, что требует подбора соответствующих материалов для механизмов, герметизации отд. узлов и др.

Воздействие наиболее мелких метеорных частиц на поверхности КА при длительном полёте вызывает изменение оптических характеристик иллюминаторов, некоторых приборов, радиационных поверхностей и СБ, что требует применения специальных покрытий, особой обработки поверхности и др. Вероятность метеорного пробоя оболочек гермоотсеков современных КА невелика, а для больших КК и орбитальных станций, совершающих длительный полет, должна предусматриваться противометеорная защита. Космическая радиация (потоки заряженных частиц в радиационных поясах Земли и при солнечных вспышках) может влиять на СБ, детали из органических соединений и др. элементы КА, поэтому в ряде случаев на них наносят защитные покрытия.

Особые меры принимаются для защиты космонавтов от всплесков космической радиации. Высокая надёжность существенна для всех видов КА, особенно при наличии экипажа. Она обеспечивается комплексом мероприятий на всех этапах создания и подготовки к полёту КА, включая повышение надёжности его элементов, аппаратуры и оборудования, строгий технологический контроль на всех стадиях изготовления, тщательную отработку систем и агрегатов с имитацией условий космического полёта, проведение комплексных предполётных испытаний и др. Для повышения надёжности на КА применяют дублирование, троирование, резервирование отельных агрегатов и приборов, а также автоматические схемы распознавания отказов приборов или их элементов и их замены.

Понятно, что различные задачи выполняются различными аппаратами, т. е. космические аппараты в основном специализированы. Достаточно узкая специализация космических аппаратов, как и технических систем любого назначения, является следствием нашего желания добиться как можно более высокой их эффективности в выполнении поставленной цели.

Это, в свою очередь, накладывает отпечаток на структуру КА, характеристики составляющих его систем и даже на траектории движения аппаратов в космическом пространстве. Различия наблюдаются и в тактике использования, как аппаратов в целом, так и их отдельных блоков или систем. Это предполагает наличие на каждом КА систем управляющих его работой и полетом.

Системы управления КА, разумеется, тоже достаточно специализированы, хотя общее в них также имеется. Эти системы обладают большей или меньшей степенью автономности, т. е. возможности решать проблемы самостоятельно, без вмешательства с Земли.

Автономность этих систем практически никогда не бывает полной, поэтому любой КА должен иметь развитую многоканальную систему обмена информацией с составными частями ракетно-космического комплекса находящимися на Земле. Причем передача информации предусматривается двухсторонняя. С Земли передаются необходимые команды управления, а обратно – информация об их исполнении.

Космический комплекс — совокупность функционально взаимосвязанных КА и наземных технических средств, предназначенных для самостоятельного решения задач в космосе и из космоса или для обеспечения таких задач в составе космической системы; включает ракету-носитель, КА, технический комплекс, стартовый комплекс, средства измерительного комплекса космодрома и наземный комплекс управления КА.

Космический корабль (КК) — пилотируемый космический аппарат. Отличительная особенность пилотируемых КК - наличие герметической кабины с системой жизнеобеспечения для космонавтов. КК для полёта по геоцентрическим орбитам называют кораблями-спутниками, а для полёта к др. небесным телам — межпланетными (экспедиционными) КК. Созданы и эксплуатируются транспортные КК многократного использования для доставки людей и грузов с Земли на низкую геоцентрическую орбиту и обратно, например, для связи с долговременной орбитальной станцией, обслуживания ИСЗ, проведения в космосе монтажных работ. Транспортировка людей и грузов с низкой геоцентрической орбиты на более высокую орбиту, вплоть до стационарной, и обратно предусматривается с помощью межорбитальных буксиров

Космический летательный аппарат — термин, используемый иногда вместо термина космический аппарат.

Для конкретизации предмета обсуждения выясним смысл термина «эксплуатация». Этот термин происходит от французского «exploitation», что значит использование, извлечение выгоды. Не затрагивая социальные стороны этого термина, возможно (как обычно это делается в технических энциклопедиях) трактовать данный термин как использование для каких либо целей природных богатств, зданий, средств транспорта, машин, приборов и т. п. применительно к технике, термин эксплуатация следует трактовать, как использование некоторого технического комплекса для достижения поставленной цели, т. е. некоторого положительного результата. Такая трактовка применима к любой технической системе. Особенностью ракетно-космических систем в этом плане будет только отличие в среде, где реализуется поставленная задача.

Задачи, выполняемые космическими аппаратами, реализуются в основном в космическом пространстве, а так же в атмосферах либо на поверхности различных космических объектов, а вернее небесных тел таких как: планеты, их спутники, кометы и т. п.

Космический тело – это объект, находящийся в космическом пространстве. К естественным космическим объектам (КО) относятся звёзды, планеты, астероиды, кометы и т. д.; к искусственным космическим объектам — космические аппараты, последние ступени ракет-носителей и их части. В международном космическом праве термин - «космический объект» используется только для обозначения объектов искусств, происхождения. Естественные КО в космическом праве называются небесными телами.

Для успешного использования летательных аппаратов необходимо большое количество агрегатов, машин, сооружений, систем, коммуникаций, обеспечивающих применение летательных аппаратов по назначению, контроль их технического состояния, управление полетом, техническое обслуживание, диагностику и устранение неисправностей.

Определенное количество летательных аппаратов, а также агрегаты, машины, сооружения, системы, коммуникации, создаваемые для их эксплуатации, образуют довольно сложный и дорогостоящий летательный комплекс (ЛК).

Совокупность ЛК, эксплуатируемых коллективами людей, составляет сложную, большую организационную систему. Поэтому совершенствование управления такой системой связано с работой крупного хорошо подготовленного коллектива специалистов и требует огромных материальных средств.

Развитие вычислительной техники, ее элементной базы и математического обеспечения, средств и систем сбора, передачи и обработки информации является одной из важных проблем в области естественных и технических наук. Решение этой проблемы обеспечивает внедрение эффективных систем управления.

Разработка и создание АСУ эксплуатацией ЛК — важная народнохозяйственная проблема. Для ее решения необходимо, в первую очередь, дальнейшее развитие теории эксплуатации ЛК, на базе которой с использованием общей теории систем и системного анализа могут быть формализованы эксплуатационные процессы, проведены моделирование и анализ основных свойств, а затем и синтез оптимальной системы эксплуатации ЛК.

Полученные таким путем результаты могут быть положены в основу специального математического обеспечения АСУ машинными алгоритмами подготовки программ эксплуатации ЛК, разработки вариантов управляющих воздействий или решений, обеспечивающих эффективное функционирование ЛК. В связи с созданием в последние десятилетия большого количества сложных систем наблюдается быстрое развитие теории их эксплуатации, в том числе и теории эксплуатации ЛК, о чем свидетельствует появление ряда работ, в которых раскрываются различные аспекты этой многогранной области знаний.

Далее рассматриваются вопросы теории управления эксплуатацией ЛК в основном применительно к беспилотным управляемым летательным аппаратам, однако значительная часть предлагаемых постановок задач и методов их решений носит общий характер и может быть использована при анализе и синтезе широкого класса сложных технических и организационных систем. При этом предполагается, что читатель знаком с основами теории вероятностей, математической статистики, с методами анализа сложных систем и их оптимизации в объеме курсов, читаемых в технических вузах.

Из широкого круга вопросов, разрабатываемых теорией эксплуатации Л К, излагаются только те, которые позволяют вести научно обоснованную разработку системы эксплуатации создаваемого летательного комплекса или совокупности таких ЛК. При этом задачи разработки технологии и обеспечения безопасности эксплуатационных процессов не изучаются: эти данные предполагаются известными при решении задач управления системой в целом. В связи с этим не нашли отражения некоторые традиционные методы, широко представленные в литературе, в частности построения сетевых моделей эксплуатационных процессов, календарного планирования работ и т. п.

Понятие «летательный аппарат» объединяет весьма широкий класс технических объектов, способных перемещаться над поверхностью Земли. Летательные аппараты могут:

быть легче воздуха (дирижабли, воздушные шары, аэростаты) или тяжелее его (вертолеты, самолеты, ракеты, космические аппараты);

иметь на борту двигатели различного типа или не иметь таковых (например, планеры);

быть управляемыми или неуправляемыми;

пилотируемыми или беспилотными;

двигаться в атмосфере Земли или в космическом пространстве;

иметь определенный тип траектории движения или свободно изменять в любой момент полета направление движения.

Признаки, по которым классифицируют ЛА, можно продолжить.

Ряд положений далее излагается применительно к практике эксплуатации беспилотных управляемых летательных аппаратов с реактивными двигателями, которые далее для краткости будем называть просто летательными аппаратами (ЛА).

Для подготовки и проведения пусков такого типа ЛА создается стартовая позиция с пусковым устройством (установкой) и комплектом необходимого оборудования. Далее стартовую позицию с комплектом оборудования и пусковым устройством (установкой), в котором помещен ЛА, будем называть пусковой установкой (ПУ). Несколько пусковых установок с ЛА в них, соединенных каналами связи и энергоснабжения с пунктом контроля (ПК) за техническим состоянием ЛА и управления пуском, образуют единичный летательный комплекс (ЕЛК).

Для обслуживания группы ЕЛК создают центр или базу с диагностической аппаратурой, ремонтными органами, складами. Совокупность нескольких ЕЛК с коммуникациями, каналами связи, системой энергоснабжения, помещениями для обучения персонала, обеспечивающего функционирование, образуют летательный комплекс (ЛК). Вся совокупность однотипных ЕЛК или ЛК, а также связывающие их коммуникации, ремонтные органы, базы, хранилища, центры подготовки персонала и другие элементы составляют систему летательных комплексов. Обычно в понятие ЛК не включают персонал, работающий на технике и осуществляющий руководство.

Приведенная выше структура, включающая ПУ, ЕЛК, ЛК, позволяет выделить некоторые эксплуатационные функции в системе ЛК. Так, ПУ является элементом, обеспечивающим применение ЛК по назначению. ЕЛК выполняются функции контроля за техническим состоянием ПУ. ЛК включает в себя элементы, позволяющие на базе контроля вести восстановительные работы и ремонт неисправных ПУ. Система ЛК содержит элементы, позволяющие выполнять все эксплуатационные функции в полном объеме.

Летательный комплекс как основное звено системы делят на составные части, основные, составляющие и комплектующие элементы.

К составным частям относят один или несколько ЛА, технологическое оборудование, технические системы, системы энергоснабжения, управления и связи, системы охраны и др. Каждая составная часть включает в себя несколько основных элементов. Например, ЛА делят на двигательную установку, корпус, систему управления ЛА и т. д. Основные элементы представляют собой агрегаты и системы составных частей. Составляющие элементы — это узлы, приборы, стойки и т. п., формирующие основные элементы. Например, двигательная установка включает в себя камеры сгорания, системы подачи топлива, запуска, регулирования и т. д. К комплектующим элементам относят детали и сборки, входящие в составляющие элементы.

Применительно к сложным системам, к которым относят как ЛК, так и систему ЛК, часто используют понятие жизненного цикла системы. Введение этого понятия, по-видимому, связано с тем, что сложная система претерпевает большие изменения от момента возникновения ее замысла до прекращения функционирования и демонтажа. Она зарождается, растет, развивается, стареет и отмирает, что напоминает жизненный путь человека. Изменения и совершенствования сложной системы связаны с длительностью и трудностью ее проектирования, опытной отработки и эксплуатации, а также существенным изменением целей и задач, решаемых системой, и постоянным расширением технических возможностей ее совершенствования за счет научно-технического прогресса.

Жизненный цикл ЛК и системы ЛК обычно делят на стадии: исследования и обоснования разработки, разработку, производство, эксплуатацию и капитальные ремонты, если они предусмотрены.

Эксплуатация ЛК включает в себя процессы: ввода в эксплуатацию, приведения в готовность к применению, поддержания в готовности, использования по назначению, хранения, транспортирования, снятия с эксплуатации и списания.

Основу эксплуатации ЛК или системы ЛК составляют три главных технологических эксплуатационных процесса: приведение в готовность к применению, поддержание готовности к применению, применение по назначению.

Таким образом, эксплуатация ЛК определяется четырьмя компонентами:

эксплуатационными свойствами техники;

технологическими эксплуатационными процессами, которые необходимо вести на этой технике;

коллективами людей, осуществляющих эти процессы на технике;

внешними условиями (средой), в которых эксплуатируют технику.

В проблеме эксплуатации ЛК можно условно выделить две важные задачи: разработка и производство таких ЛК, которые были бы не только пригодны для выполнения заданных функций, но и были бы приспособлены к проведению необходимых для успешного функционирования технологических эксплуатационных процессов; разработка и проведение этих процессов коллективами людей, эксплуатирующими Л К.

Естественно, что эти задачи могут быть успешно решены лишь при использовании методов, разрабатываемых теорией эксплуатации ЛК, которая в последние десятилетия достаточно быстро развивается на базе современных научных достижений.

Деление любой теории на составные части или направления — трудная задача. В особенности это сложно сделать в теории эксплуатации ЛК, которая находится в стадии становления и активного развития. Однако сложившаяся практика исследований проблем эксплуатации ЛК позволяет с некоторой долей условности выделить в ней следующие основные направления: разработку технологических процессов эксплуатации ЛК; управление эксплуатацией ЛК; обеспечение безопасности эксплуатации ЛК.

Существует много непротиворечивых определений управления. Например, Н. Винер понимал управление как посылку сообщений, эффективно влияющих на поведение их получателя. В дальнейшем под управлением будем понимать осуществление совокупности воздействий, выбранных из множества возможных на основании определенной информации и направленных на поддержание или улучшение функционирования управляемого объекта в соответствии с имеющейся программой или целью управления. Из определения видно, что в понятие управления не входят такие аспекты, как организация и воспитание коллективов, социальные, моральные, правовые и другие вопросы, которые возникают при работе с людьми. Эти факторы обычно включают в более широкое понятие «руководство», содержащее в себе и управление системами. Теория управления эксплуатацией ЛК как часть теории эксплуатации ЛК базируется на методах и положениях теории сложных (больших) систем или просто теории систем. Это вызвано тем, что предмет теории управления эксплуатацией ЛК, т. е. анализ и синтез целенаправленной деятельности коллективов людей по проведению технологических эксплуатационных процессов, обеспечивающих успешное применение ЛК в условиях воздействия на них внешней среды,— является частью или, точнее, частным случаем предмета теории сложных систем — анализа и синтеза целенаправленной деятельности коллективов людей и функционирования техники, управляемой людьми, а также взаимодействия людей и техники с внешней средой.