

## **«Управление полетом автоматических и пилотируемых космических аппаратов» — новая специализация в МГТУ им. Н.Э. Баумана**

© В.А. Соловьев

Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королева,  
г. Королев Московской обл., 141070, Россия

*В рамках становления новой специализации подготовки кадров для космической отрасли кратко рассмотрена технология управления полетом космических аппаратов, представляющего собой достаточно сложный процесс, методы и средства выполнения которого непрерывно развиваются в соответствии с усложнением космических аппаратов и задач их полета. Освещена история становления преподавания указанной дисциплины в МГТУ им. Н.Э. Баумана.*

**Ключевые слова:** управление полетом, космический аппарат, аномальная ситуация, целевая программа, полетная операция.

Кафедра СМ-3 «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов», входящая в состав факультета «Специальное машиностроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана, в настоящее время осуществляет обучение студентов по трем специализациям: «Управление полетом автоматических и пилотируемых космических аппаратов», «Проектная баллистика ракет и космических систем», «Аэродинамика ракет и космических транспортных систем».

Первая из указанных специализаций в существующем виде сформировалась в связи с необходимостью удовлетворения постоянно возрастающих потребностей космической отрасли в специалистах такого профиля и официально утверждена с 2008 г.

Следует отметить, что названные специализации, подготовка по которым ведется на кафедре СМ-3, достаточно тесно увязаны между собой и дополняют друг друга. Действительно, управление полетом космических аппаратов (КА) включает управление их движением в гравитационных полях и в атмосфере Земли и планет, а также существенно зависит от результатов соответствующих баллистических и аэродинамических расчетов.

Методология, организация и техническое обеспечение управления космическими полетами, теоретические основы и пути практической реализации которых преподаются студентам в процессе их подготовки на кафедре СМ-3, охватывают все виды КА и выполняемых ими прог-

рамм. Следует отметить, что ранее такой курс не читался в полном объеме ни в одном вузе страны.

Это направление представляет собой исключительно динамично развивающийся раздел космической науки, который требует от специалиста не только знания достигнутого ею уровня, но и понимания сути проблем в данной области — как существующих, так и связанных с дальнейшим развитием и усложнением космической техники. Для эффективного участия в решении этих проблем необходим творческий подход к их анализу и поиск путей преодоления.

Полет КА представляет собой весьма сложный процесс, включающий не только собственно перемещение КА в пространстве, но и выполнение им целого ряда полетных операций, обеспечивающих в конечном счете реализацию целевого назначения аппарата, т. е. того, для чего он создан и совершает свою текущую миссию.

Для того чтобы КА достиг поставленной цели, его полетом, естественно, необходимо оперативно управлять. В число задач, решаемых при этом, входят:

- обеспечение надежного выполнения КА последовательности операций, требуемой для достижения цели его полета;
- обеспечение движения КА по требуемой траектории;
- обеспечение безопасности экипажа, его здоровья и работоспособности;
- поддержание работоспособности КА;
- обеспечение выполнения целевой программы;
- обнаружение и парирование аномальных ситуаций, вызываемых влиянием внешних и внутренних возмущающих воздействий и препятствующих решению перечисленных выше задач.

Процедура оперативного управления космическим полетом, как и любым другим сложным процессом, включает несколько компонентов, выполняемых в следующей логической последовательности. Прежде всего осуществляется планирование полета, гарантирующее наиболее эффективное для текущего состояния КА решение им целевых задач. Планирование проводится на основе цели полета, тактико-технических требований, определяемых назначением КА, текущих и прогнозируемых параметров его движения, а также сведений о реальном состоянии бортовых систем и аппаратуры. Разработанный план представляет собой описание последовательности операций и работ, выполняемых в определенные периоды бортовыми системами и экипажем КА (если он пилотируемый). Он составляется исходя из условия обеспечения максимально возможной эффективности полета при соблюдении ограничений, установленных тактико-техническими требованиями и проектными возможностями КА.

С целью реализации запланированных операций и работ определяются, формируются и выдаются в необходимые моменты времени команды и программы управления системами КА и задания его экипажу, т. е. реализуется функция так называемого командно-программного управления аппаратом и руководства действиями космонавтов.

В ходе полета КА осуществляется контроль работоспособности бортовых систем КА и возможности выполнения им поставленной задачи (так называемое контрольно-диагностическое обеспечение полета).

В случае если в состоянии контролируемых параметров обнаруживаются отклонения от нормы (аномалии), выполняется диагностика (т. е. определяются причины, вызвавшие аномалии, и их влияние на функциональные возможности КА), оценивается возникшая при этом ситуация и время на ее ликвидацию. Подготавливается, принимается и выполняется решение о действиях по выходу из аномальной ситуации. В результате возникновения и устранения подобных ситуаций может потребоваться внесение изменений в план полета — от незначительных до кардинальных (в серьезных случаях).

В процессе полета также постоянно проводится комплекс измерений, расчетов и операций, обеспечивающих управление движением КА с целью формирования его траектории и ориентации в пространстве, необходимых для выполнения им целевых задач (так называемое баллистико-навигационное обеспечение полета).

В числе многих других элементов процесса управления полетом КА следует отметить контроль бортового времени, привязку его к системе единого времени и учет при планировании работы бортовых систем КА и формирование управляющих воздействий.

Решение указанных задач осуществляется системой управления полетом, которая инициирует и координирует необходимую для этого работу бортовых систем КА и деятельность космонавтов. Система управления полетом представляет собой совокупность определенных наземных и бортовых программно-технических средств, наземного персонала управления полетом и экипажа пилотируемого КА.

Наземный комплекс управления (НКУ) включает в свой состав Центр управления полетом (ЦУП), сеть наземных командно-измерительных пунктов (станций слежения), систему связи и передачи данных, соединяющую все элементы НКУ друг с другом, спутниковую систему контроля и управления с несколькими спутниками-ретрансляторами, объединяющими ЦУП и КА в единый информационный контур, а также комплекс моделирующих средств. ЦУП информационно связан с рядом внешних организаций, привлекаемых при необходимости к решению отдельных задач обеспечения полета.

Бортовой комплекс автоматического управления (БКАУ) состоит из бортовой вычислительной сети, различных коммутационных устройств, устройств согласования цифровых каналов с аналоговыми и релейными, а также отдельных приборов автоматического управления, встроженных в бортовые системы КА.

Экипаж КА в качестве звена системы управления полетом при необходимой подготовке и оснащении средствами поддержки (ПЭВМ с соответствующим программно-математическим обеспечением, пульта управления, средства отображения информации, навигационные средства) способен выполнять все функции управления.

В ходе управления полетом КА все три указанных звена (НКУ, БКАУ и экипаж) должны работать согласованно, в соответствии с принятым для конкретного КА и конкретного полета распределением функций между ними.

Для непрерывного процесса развития космонавтики характерны все возрастающие расширение и усложнение стоящих перед нею задач и, соответственно, усложнение как создаваемых космических аппаратов, так и технологии выполнения их полетов. Следовательно, усложняется и управление полетом КА.

В качестве основных объективных показателей, отражающих уровень сложности управления полетом, в настоящее время принято рассматривать количество операций, выполняемых КА, количество его контролируемых параметров и выдаваемых на аппарат управляющих воздействий, а также сложность организационной структуры процесса управления. Если представить картину эволюции этих характеристик от первых российских пилотируемых КА (ПКА) (корабли «Восток») до существующих (российский сегмент международной космической станции — РС МКС), то нетрудно определить тенденцию, требующую достаточно энергичного изыскания мер, которые позволят справиться с трудностями, вызываемыми все возрастающими темпами роста указанных показателей, о чем свидетельствуют данные приводимой ниже таблицы.

Близкое к этой картине состояние дел, касающееся усложнения задач управления полетом беспилотных КА (БКА), с учетом перспектив развития программ автоматической космической техники, очевидно, также потребует приложения значительных усилий к поиску решений по совершенствованию методологии и средств управления их полетом.

Таким образом, сложность проблемы обеспечения высокой эффективности управления полетами КА обусловила необходимость подготовки в МГТУ им. Н.Э. Баумана специалистов нужной квалификации, способных участвовать в ее решении.

**Усложнение процесса управления полетом  
пилотируемых космических аппаратов**

ПКА	Количество			Особенности управления полетом
	операций	управляющих воздействий	телеметрических параметров	
«Восток» (1961)	5	48	400	«Сеансное» управление одиночным объектом
«Союз» (1967)	30	256	1000	Управление «разовыми» и числовыми командами; с 1979 г. — цифровой и аналоговый контуры управления
«Мир» (1986)	500	4100	14 000	«Суточное» управление различными объектами
РС МКС (1998)	5000	> 8000 Многоуровневые и многовариантные программы	30 000	Распределенное управление из ЦУП-М и ЦУП-Х
РС МКС (2010)	94 000	> 12 000 Многоуровневые и многовариантные программы	> 50 000	Распределенное управление из нескольких центров

Преподавание специализации «Управление полетом автоматических и пилотируемых космических аппаратов» в МГТУ им. Н.Э. Баумана складывалось и развивалось следующим образом.

В 1980-х годах на факультете «Специальное машиностроение» было начато обучение студентов по направлению подготовки «Управление космическими полетами». Для постановки соответствующих курсов удалось привлечь многих известных ученых-практиков. В то время активное участие в учебном процессе в МГТУ им. Н.Э. Баумана (тогда еще именовавшемся МВТУ) принял ряд крупных специалистов, которые работали в различных организациях и непосредственно занимались или были тесно связаны с обеспечением управления полетами пилотируемых и автоматических КА. Однако в течение достаточно длительного времени не был сформирован центральный курс специализации «Планирование и оперативное управление пилотируемыми полетами», обобщающий различные аспекты этой тематики.

Попытка постановки близкого по содержанию курса предпринималась в МВТУ на кафедре СМ-1 «Проектирование ракет-носителей и крупногабаритных космических конструкций». Исполнителями, привлечавшимися в разные годы к созданию этого курса, были сотрудники НПО «Энергия» — участники проработки общей концепции и непосредственного управления космическими полетами большинства орбитальных кораблей, аппаратов и станций, созданных в НПО. Содержание курса в некоторой степени соответствовало материалам, опубликованным в написанной ими монографии «Основы управления космическими полетами» и отражавшим главным образом сложившуюся на тот период практику управления полетами. Возможно, это было достаточным для специалистов-проектировщиков и конструкторов ракетно-космической техники, но не отвечало на многие вопросы, возникающие перед специалистами-управленцами. Тем не менее в течение нескольких лет усилиями специалистов, привлеченных к этой работе уже на кафедре СМ-3, которая стала ведущей в данном направлении, в процессе постановки и чтения курса лекций по указанной тематике был подготовлен значительный объем материалов, посвященных отдельным фрагментам названной учебной дисциплины. Однако потребовалось более десятка лет, чтобы наработать достаточный материал, частично опубликованный в статьях, а также нашедший отражение в защищенных докторских и кандидатских диссертациях, который позволил подойти к решению задачи написания единой работы, удовлетворяющей по содержанию требованиям, предъявляемым к подготовке квалифицированных специалистов по управлению космическими полетами. Такой работой явилось изданное в МГТУ в 2009 и 2010 гг. (две части) учебное пособие «Управление космическими полетами», авторами которого являются сотрудники кафедры СМ-3.

При подготовке учебного пособия авторы использовали по возможности все наиболее существенное, что было получено ими лично и изложено их коллегами в ранее выполненных ими работах. Материалы пособия базируются в основном на использовании опыта управления полетами пилотируемых и беспилотных аппаратов в околоземном космическом пространстве и на изложении существующей в данной области технологии. Тем не менее значительное внимание уделено и вопросам специфики управления полетом перспективных КА, в том числе пилотируемых межпланетных космических кораблей. Рассмотрены имеющиеся проблемы в этой области и перспективы их решения. Издание такого учебного пособия было весьма актуальным в связи с началом планомерной подготовки на кафедре СМ-3 специалистов по направлению, соответствующему названию и содержанию данной работы.

По специализации «Управление полетом автоматических и пилотируемых космических аппаратов» на кафедре СМ-3 в настоящее время преподаются следующие основные дисциплины:

- основы управления космическими полетами;
- планирование полетов космических аппаратов;
- командно-программное управление космическими аппаратами;
- контроль полета и его телеметрическое обеспечение;
- баллистико-навигационное обеспечение космических полетов;
- математическое моделирование в управлении космическими полетами;
- управление полетом космических аппаратов дистанционного зондирования Земли, навигации и связи;
- современные системы обмена информацией с космическими аппаратами;
- управление полетом и принятие решений в аномальных ситуациях;
- перспективы развития методов и средств управления пилотируемыми и автоматическими космическими аппаратами.

Достаточная полнота и высокое качество подготовки выпускников кафедры СМ-3 подтверждается результатами их работы в организациях, осуществляющих управление космическими полетами.

Статья поступила в редакцию 21.05.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

В.А. Соловьев. «Управление полетом автоматических и пилотируемых космических аппаратов» — новая специализация в МГТУ им. Н.Э. Баумана. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 3. URL: <http://engjournal.ru/catalog/pedagogika/hidden/620.html>

**Соловьев Владимир Алексеевич** родился в 1946 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1970 г. Д-р техн. наук, проф., чл.-кор. РАН, первый заместитель Генерального конструктора РКК «Энергия» им. С.П. Королева, зав. 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@rscf.ru](mailto:vladimir.soloviev@rscf.ru)