

УДК: 629.78 (470)

# ПИЛОТИРУЕМАЯ КОСМОНАВТИКА – СФЕРА РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ

**Е.А. Микрин**

*Публичное акционерное общество «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева  
(РКК «Энергия»)  
Россия, 141070, г. Королев, Московская область, ул. Ленина, д. 4-а  
E-mail: [eugeny.mikrin@rsce.ru](mailto:eugeny.mikrin@rsce.ru)*

**М.Ю. Беляев**

*Публичное акционерное общество «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева  
(РКК «Энергия»)  
Россия, 141070, г. Королев, Московская область, ул. Ленина, д. 4-а  
E-mail: [mikhail.belyaev@rsce.ru](mailto:mikhail.belyaev@rsce.ru)*

**Ключевые слова:** пилотируемая космонавтика, орбитальные станции, управление, космические эксперименты

**Аннотация:** В пилотируемой космонавтике сконцентрирован широкий спектр задач управления, она дает возможность их решения, тщательной отработки и применения в натуральных условиях. В докладе отмечены основные задачи управления, решенные в процессе подготовки и осуществления космических полетов. Подробно рассмотрены проблемы управления, возникающие при проведении экспериментов и исследований на орбитальных станциях. Кратко указаны полученные результаты и описаны новые перспективные задачи управления для реализации исследовательских программ пилотируемой космонавтики.

## 1. Введение

Более 60 лет назад на орбиту вокруг Земли был выведен первый искусственный спутник, открывший космическую эру. Вслед за ним последовали полеты первых космонавтов, запуски спутников различного назначения, исследования Луны и других планет автоматическими станциями [1]. Но все же среди самых великих достижений пилотируемая космонавтика занимает особое место. Она всегда привлекает внимание широких масс и, надо признать, что именно в этой области наша страна достигла наибольших достижений [1], [2].

Развитие отечественной космонавтики тесно связано с решением многих задач управления. На начальном этапе освоения космического пространства были решены задачи управления движением космических аппаратов (КА), ориентации, управляемого спуска, сближения и стыковки КА и многие другие, широко описанные в научной литературе. Дальнейшее развитие задач управления в пилотируемой космонавтике связано с проведением экспериментов и исследований, выполнением лунной программы, созданием орбитальных комплексов [3-8].

Рассмотрим некоторые задачи управления, возникающие при проведении космических экспериментов (КЭ) на пилотируемых орбитальных станциях (ОС).

## **2. Технология проведения экспериментов на орбитальных станциях**

### **2.1. Управление экспериментами на ОС «Салют» и «Мир»**

Специфические черты орбитальных станций связаны с наличием на борту экипажа и большого количества научной аппаратуры различных направлений: медицина, биология, геофизика, дистанционное зондирование Земли, астрофизика, изучение микрогравитации и др. [3]. Выполнение исследований на многоцелевых орбитальных станциях дает потенциальную возможность существенно расширить программу экспериментов за счет рационального использования установленной на ней аппаратуры [3-4]. Известно, что непрерывная эксплуатация какого-либо одного прибора затруднена из-за наличия ограничений на возможность проведения эксперимента: реально научные эксперименты выполняются лишь в определенных «окнах» [3]. Поэтому на специализированных КА целевые наблюдения проводятся лишь часть полетного времени. Рациональное планирование экспериментов на многоцелевой орбитальной станции позволяет расширить, по сравнению со специализированными КА, реализуемую на борту научную программу. Условия проведения различных экспериментов меняются в течение полета в зависимости от ряда факторов и, прежде всего, от прецессии орбиты (орбита космической станции прецессирует с угловой скоростью  $\sim 4...5^\circ/\text{сутки}$ ).

В процессе подготовки и реализации программ исследований на орбитальных станциях «Салют» и «Мир» была создана специальная технология проведения экспериментов [3,4,9-15].

Технология проведения экспериментов на орбитальной космической станции (ОКС) предусматривает решение следующих задач:

планирование экспериментов; математическое моделирование; оптимизация программы исследований; реализация принятого плана; контроль функционирования аппаратуры и экспресс-анализ получаемых данных; получение информации для интерпретации результатов экспериментов [3].

Созданная технология проведения экспериментов позволила эффективно выполнить обширную программу исследований на ОС серии «Салют» в течение длительного времени [3].

В отличие от ОС «Салют» на орбитальном комплексе (ОК) «Мир» в качестве исполнительных органов системы управления движением применялись гиросиловые стабилизаторы (гиродины) [15-16]. Данная система управления позволяла обеспечить постоянно ориентированный полет ОК, требуемый для выполнения реализуемой на ОК программы экспериментов. Такой режим полета ОК «Мир» потребовал учета новых условий и ограничений при управлении [12-15], которые обусловлены, во-первых, «насыщением» гиродинов и необходимостью их «разгрузки»; во-вторых, тем, что при постоянно ориентированном полете и постоянно работающей научной аппаратуре на ОК возникал дефицит электроэнергии; в-третьих, необходимостью поддержания непрерывной радиосвязи с ОК через спутник-ретранслятор (СР) для передачи телеметрической, телевизионной и другой информации во время проведения некоторых экспериментов. Следовательно, в процессе полета необходимо было поддерживать ориентацию, при которой реализуется «благоприятный» режим функционирования гиродинов, обеспечивается достаточная освещенность солнечных батарей (СБ) солнечным светом

и возможность непрерывной связи с СР. При этом также должна была решаться главная задача – наведение жестко закрепленной на корпусе ОК научной аппаратуры на исследуемый объект и поддержание этой ориентации в течение заданного времени.

Для решения данных задач обеспечения полета ОК «Мир» был разработан и реализован на персональных компьютерах специальный пакет программ, который с момента введения в состав ОК научного модуля «Квант» ежедневно использовался для оперативного обеспечения полета ОК «Мир» [12-15].

Разработанное математическое обеспечение (МО) решало задачи предварительного планирования и составления динамических схем проведения экспериментов и полетных операций; прогноза функционирования систем ОК, влияющих на выполнение исследований: гиросиловых стабилизаторов, системы электропитания и т.д.; оптимизации программы исследований исходя из различных критериев; расчета управляющей информации для работы бортовой служебной и научной аппаратуры. Кроме того, в рамках данного МО были разработаны пакеты программ, позволяющие определять угловое положение ОК по телеметрическим измерениям, рассчитывать информацию, необходимую для интерпретации результатов научных экспериментов, вычислять юстировочные поправки для используемой научной аппаратуры и приборов ориентации ОК, и решать некоторые другие задачи, возникающие в процессе проведения космических экспериментов [3,12-15]. Это позволило выполнить беспрецедентную программу исследований на ОК «Мир», в том числе с помощью рентгеновской аппаратуры, установленной на модуле «Квант».

## **2.2. Решение проблем управления при проведении экспериментов на МКС**

Выполнение программ исследований было продолжено на Международной космической станции (МКС). С начала полета МКС на ней были организованы и проводились технические эксперименты «Тензор», «Среда-МКС», «Изгиб», «Вектор-Т» и др. для уточнения физических условий и характеристик станции, а также для отработки новых методов управления при проведении исследований [4,17-20]. Для эффективного выполнения исследований на МКС и ее управления в рамках технических экспериментов были уточнены характеристики станции, уровень возникающих микроускорений, динамические характеристики, магнитные помехи и т.д. Были разработаны новые методы управления ориентацией, прогнозирования движения станции с учетом ее изменяющихся значительных размеров и т.д. Для ряда КЭ РС МКС имеет существенные ограничения. Поэтому в рамках программы технических экспериментов разрабатывались технологии использования транспортных грузовых кораблей (ТГК) «Прогресс» для проведения экспериментов [21].

Вследствие больших размеров и массы МКС, а также недостаточной величины располагаемого кинетического момента гиродинов американского сегмента, имеются трудности выполнения ориентации станции для наведения научной аппаратуры на изучаемые объекты. Поэтому для наведения на исследуемые объекты на земной поверхности в эксперименте «Ураган» на МКС использовалось ручное оборудование – фотоаппаратура и спектрометры [22]. Их использование подтвердило высокие характеристики ручных методов наведения и позволило получить большое количество информации о различных процессах и явлениях на земной поверхности [23-24].

Вместе с тем, следует отметить, что на МКС существуют ограничения по привлечению космонавтов для выполнения целевых исследовательских программ, например, в период сна экипажа. Для устранения данной проблемы в настоящее время на станции установлены и разрабатываются дополнительные специальные подвижные платформы (ПП) [25]. Использование ПП позволяет значительно расширить возможности МКС по

исследованию Земли и небесной сферы. Для выполнения наблюдений заданных объектов в этом случае могут использоваться разработанные методы оптимального планирования программы научных экспериментов [3,4,9,11]. Кроме того, следует заметить, что орбитальные станции обладают уникальными возможностями для обеспечения наблюдений исследуемых объектов даже без выполнения разворотов станции или аппаратуры. Одновременно с подъемом высоты орбиты возможно обеспечивать прохождение станции над требуемыми исследуемыми объектами. Учет в программе выполнения коррекций орбиты такой методики позволяет не только поддержать полет станции на требуемой высоте, но и обеспечит возможность наблюдения с нее заданных объектов на земной поверхности и небесной сфере аппаратурой, жестко закрепленной на корпусе станции [4].

### 3. Заключение

За годы развития пилотируемой космонавтики были решены многие важнейшие задачи управления. Одно из направлений работ по созданию новых технологий управления связано с проведением научных экспериментов. Успешная реализация разработанных методов этого направления, позволила выполнить обширные программы исследований на отечественных орбитальных станциях «Салют», «Мир» и повысить эффективность исследований на МКС, в том числе и в интересах планируемой лунной программы [7, 8, 26].

### Список литературы

1. Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева. Королев: РКК «Энергия», 1996. 670 с.
2. Микрин Е.А. Перспективы развития отечественной пилотируемой космонавтики // Космическая техника и технология. 2017. № 1 (16). С. 5-11.
3. Беляев М.Ю. Научные эксперименты на космических кораблях и орбитальных станциях. М.: Машиностроение, 1984. 264 с.
4. Проблемы и задачи повышения эффективности программ исследований на космических кораблях и орбитальных станциях // Сборник статей под редакцией В.П. Легостаева, М.Ю.Беляева. Ракетно-космическая техника. 2011. Серия XII. Вып. 1-2. РКК «Энергия» им. С.П.Королева. г. Королев. 294 с.
5. Микрин Е.А., Беляев М.Ю. Пилотируемая космонавтика-основа для развития ракетно-космической техники // Труды LI Научных чтений К.Э.Циолковского. Секция «Проблемы ракетной и космической техники». Калуга, 20-22 сентября 2016 г. Казань, 2017. С. 5-15.
6. Микрин Е.А., Беляев М.Ю. Управление при наведении исследовательской аппаратуры орбитальной станции на изучаемые объекты // Материалы 10-й Всероссийской мультikonференции. Том 2. 11-16 сентября 2017 г. Дивноморское, Геленджик, Ростов на Дону–Таганрог: Издательство Южного федерального университета. С.172-174.
7. Микрин Е.А., Беляев М.Ю., Боровихин П.А., Караваев Д.Ю. Отработка на МКС технологии автономной навигации с помощью съемок экипажа для задачи облета Луны // Юбилейная XXV Санкт-Петербургская Международная конференция по интегрированным навигационным системам. АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург, 28-30 мая 2018 г. С. 7-13.
8. Микрин Е.А., Беляев М.Ю. Использование МКС для подготовки пилотируемого освоения Луны // Труды LII Чтений К.Э. Циолковского. Секция «Проблемы ракетной и космической техники». Казань: Издательство Казан. Ун-та, 2018. С. 5-9.
9. Беляев М.Ю. Оперативное планирование научных экспериментов, проводимых с помощью КА // Космические исследования. 1980. №2. С. 235-241.
10. Беляев М.Ю. Основные задачи и принципы построения наземно-бортового комплекса управления экспериментами, проводимыми с помощью космических аппаратов // Управляющие системы и машины. 1980. № 4. С. 103-108.

11. Беляев М.Ю., Рулев Д.Н.. Оптимизация программы экспериментов при оперативном планировании исследований, выполняемых с КА // *Космические исследования*. № 1. 1987. С. 30-36.
12. Беляев М.Ю., Зыков С.Г., Манжелей А.И., Рулев Д.Н., Стажков В.М., Тесленко В.П. Математическое обеспечение автоматизированного планирования исследований на орбитальном комплексе «Мир» // *Космические исследования*. 1988. Т. 27, Вып. 1. С. 126-134.
13. Математическое обеспечение экспериментов, выполняемых на орбитальных комплексах «Мир», «Салют-7» и научных модулях: Сборник под ред. В.В.Рюмина и М.Ю.Беляева. РКТ. Сер. XII. Вып. 2. М., 1991. 176 с. (ЦНТИ «Поиск». ГОНТИ-4).
14. Ryumin V.V., Beliaev M.Yu. Problems of control arisen during the implementation of scientific research program onboard the multipurpose orbital station // *Acta Astronautica*. Vol 15. September. 1987. P. 739-746.
15. Математическое моделирование – основа создания и эксплуатации сложных орбитальных комплексов. Сборник статей под редакцией Н.А.Брюханова, М.Ю.Беляева. Ракетно-космическая техника. 2008. Серия XII. Вып. 1. РКК «Энергия» им. С.П.Королева. г. Королев. 191 с..
16. Кульба В.В., Микрин Е.А., Павлов Б.В. Платонов В.Н. Теоретические основы проектирования информационно-управляющих систем космических аппаратов. М.: Наука, 2006. 579 с.
17. Банит Ю.Р., Беляев М.Ю., Добринская Т.А., Ефимов Н.И., Сазонов В.В., Стажков В.М. Определение тензора инерции МКС по телеметрической информации // *Космические исследования*. 2005. Т. 43, № 2. С. 135-146.
18. Беляев М.Ю., Бабкин Е.В., Рябуха С.Б., Рязанцев В.В. Микроускорения на Международной космической станции при физических упражнениях экипажа // *Космические исследования*. 2011. Т. 49, № 2. С. 167-181.
19. Беляев М.Ю., Волков О.Н., Рябуха С.Б. Микровозмущения на Международной космической станции // *Научно-технический журнал «Космическая техника и технологии»*. «РКК «Энергия», г. Королев. 2013. № 3. С. 14-24.\
20. Алямовский С.Н., Беляев М.Ю., Рулев Д.Н., Сазонов В.В., Тарасова М.М. Сферические спутники – от начала космической эры до современных экспериментов // *Космическая техника и технологии*. 2017. № 4 (19). С. 5-14.
21. Беляев М.Ю., Карасев Д.В., Матвеева Т.В., Рулев Д.Н. Грузовые корабли «Прогресс» в программах орбитальных станций // *Космическая техника и технологии*. 2018. № 1 (20). С. 85-101.
22. Беляев М.Ю., Десинов Л.В. Караваев Д.Ю. Сармин Э.Э. Юрина О.А. Аппаратура и программно-математическое обеспечение для изучения земной поверхности с борта российского сегмента Международной космической станции по программе «Ураган» // *Космонавтика и ракетостроение*. 2015. № 1. С.63-70.
23. Беляев М.Ю., Виноградов П.В., Десинов Л.В., Кумакшев С.К., Секерж-Зенькович С.Я. Идентификация источника океанских кольцевых волн около острова Дарвин по фотоснимкам из космоса // *Изв. РАН. Теория и системы управления*. 2011. № 1. С. 70-81.
24. Беляев М.Ю., Десинов Л.В., Караваев Д.Ю., Легостаев В.П. Использование съемки земной поверхности с МКС в интересах топливно-энергетического комплекса // *Известия РАН. Энергетика*. 2013. № 4. С. 75-90.
25. Беляев М.Ю., Боровихин П.А., Караваев Д.Ю., Рулев Д.Н. Управление подвижными платформами при наведении научной аппаратуры на изучаемые объекты в эксперименте «Ураган» на Международной космической станции // *XXIV Санкт-Петербургская Международная конференция по интегрированным навигационным системам*. 29-31 мая 2017 г. С. 44-47.
26. Микрин Е.А., Беляев М.Ю., Боровихин П.А., Караваев Д.Ю. Определение орбиты по выполняемым космонавтами снимкам поверхности Земли и Луны // *Космическая техника и технологии*. № 4 (23). 2018. С. 77-88.