

УДК 629.786.2

МКС ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ

О.М. Алифанов

МАИ, секция КНТС «Космическое образование»
Россия, 125993, Москва, Волоколамское шоссе, 4
E-mail: o.alifanov@yandex.ru

М.Ю. Беляев

ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королева»
Россия, 141070, Королев, Ленина ул., 4А
E-mail: Mikhail.Belyaev@rsce.ru

Ключевые слова: космическое образование, международная космическая станция, эксперименты, подготовка специалистов управления.

Аннотация: Рассмотрены возможности и некоторые результаты использования выполняемых на МКС экспериментов в интересах подготовки специалистов, решающих задачи управления.

1. Введение

Космическое образование включает две основные компоненты – образование для успешной космической деятельности и использование возможностей космических научных и технических достижений в интересах самого образования [1-6]. Космическая деятельность и космическое образование являются определяющими факторами обеспечения национальной безопасности и упрочнения экономики страны. Именно достижению этих целей была посвящена работа, сначала по формированию Концепции космического образования России, а затем на этой основе по проекту Национальной программы космического образования (НПКО) России. Эта работа выполнялась в рамках секции «Космическое образование» НТС Российского космического агентства при Правительстве РФ. Заключительная редакция НПКО [7] была утверждена 29 июня 1999 года на заседании секции и одобрена руководством агентства.

Важнейшее направление в космическом образовании студентов и школьников связано с проведением экспериментов и образовательных мероприятий на орбитальных станциях. Рассматривая это направление более подробно, остановимся на возможностях использования МКС в интересах подготовки специалистов, решающих задачи управления.

2. Эксперименты на МКС и образовательные процессы

Орбитальная станция (ОС) - неиссякаемый источник новых ярких идей и задач, и уникальная лаборатория для отработки и демонстрации их решения. Покажем, как это реализуется для школьников, студентов, аспирантов, как участие в экспериментах помогает преподавателям и ученым в образовательных процессах.

Успехи отечественной космонавтики в большой степени были обусловлены созданием знаменитой боевой ракеты Р-7 [8]. Создание этой ракеты позволило вывести

на орбиту первый ИСЗ, осуществить первый полет человека в космическое пространство, впервые сфотографировать обратную сторону Луны и обеспечить многие другие достижения, среди которых первые полеты к планетам, выход человека в космическое пространство и т.д. [8]. Напоминание об этих выдающихся достижениях тех лет, когда длительность реализации сложнейших проектов измерялась неделями или месяцами [8], важно и для молодежи, и для современных руководителей. В канун 50-летия полета Ю.А.Гагарина более 12 лет назад на российском сегменте (РС) МКС был организован космический эксперимент (КЭ) «Great start» («Великое начало»). В рамках КЭ «Великое начало» секции «Космическое образование» организован проект «Взгляд с орбиты». На портале «Планета Королева» <http://gagarin.energia.ru> данному проекту посвящен отдельный раздел. В рамках этого проекта космонавты фотографируют объекты на земной поверхности по заявкам участников. Студенты и школьники под руководством опытных наставников планируют сеансы космических съёмок, обрабатывают полученные данные, то есть осваивают задачи управления при проведении космических экспериментов [9].

Несмотря на большой опыт работы с ОС, эксплуатация МКС и её использование для выполнения экспериментов потребовали решения ряда новых задач управления [10-23]. Это связано, прежде всего, с большими размерами и массой этой станции, причем в течение полета характеристики станции меняются и их надо уточнять для целей управления. Один из экспериментов – «Среда МКС» направлен на решение этих задач [10-12]. В эксперименте определяются динамические характеристики станции, магнитные помехи и т.д. Знание динамических характеристик (тензора инерции, массы, положения центра масс) важно для управления КА. Эти задачи используются и в образовательном процессе студентов, аспирантов. Важно, что данные задачи не просто методические, они связаны с реальным изделием на орбите, и когда студенты или аспиранты планируют эксперимент на МКС и получают реальные измерения – это способствует образовательному процессу, т.к. они теперь сопричастны самому крупному космическому проекту, 25-летие начала работы на орбите которого было отмечено в конце 2023 года. Очень важно, чтобы результаты КЭ использовались не только в интересах станции, но и для решения других практических задач (иначе – станция «работает сама на себя»). В процессе эксплуатации спутников связи «Ямал-200», например, возникали участки полёта продолжительностью до 4 часов, проблемные для управления ориентацией. Для космического спутника связи это серьёзная ситуация – можно потерять клиентов, так как конкуренция на этом рынке очень большая. Технологии уточнения тензора инерции КА, прогноза движения КА вокруг центра масс, разработанные в рамках исследований на ОС, были применены для управления спутниками «Ямал» по прогнозу [12]. Благодаря этому, «Ямал-202» работает на орбите уже более 20 лет. Это один из примеров, показывающих и научный, и образовательный, и прикладной результаты КЭ на МКС.

В КЭ «Среда МКС» уточняются и другие динамические характеристики МКС: положение центра масс, масса станции и др. Уточняются также магнитные помехи, возникающие на станции в полете от магнитно-твердых, магнитно-мягких материалов и токовых контуров. Вследствие изменения конфигурации станции они меняются в полете и постоянно уточняются. В рамках КЭ «Среда МКС» определяются также смещения элементов корпуса МКС, например, из-за перепада температур в полете. Разработан и используется, в том числе, и новый способ, основанный на применении фото- и видеорегистрации элементов корпуса станции через иллюминатор станции [13]. Определяются смещения размера 0.1 мм.

В начале создания МКС была провозглашена, прежде всего, исследовательской лабораторией для изучения различных процессов в области микрогравитации, хотя

потом области исследования, конечно, расширились. Микрогравитационная обстановка на станции постоянно контролировалась и изучалась [10, 11, 14, 15]. В настоящее время для этих целей с участием аспирантов создается новое оборудование и новые методы обработки.

Результаты КЭ по изучению МКС широко используются в учебном процессе, на лекциях, в качестве лабораторных работ, домашних заданий. Магистры, аспиранты проводят исследования по темам космических экспериментов.

Изучение МКС в КЭ «Среда-МКС» показало, что для ряда КЭ имеются ограничения. Поэтому был организован КЭ «Изгиб», в котором с участием молодых ученых и специалистов обрабатывались технологии использования транспортных грузовых кораблей (ТГК) «Прогресс» для проведения экспериментов. ТГК «Прогресс» после выполнения своих основных функций и отстыковки от МКС может еще поработать до нескольких месяцев и послужить платформой для проведения КЭ. Весьма перспективным ожидается использование ТГК, например, для КЭ в области микрогравитации. Один из таких КЭ направлен на изучение конвекции с использованием научной аппаратуры (НА) «Дакон-П». КЭ с этой НА уже проводились на станции в рамках КЭ «Изгиб». Использование ТГК «Прогресс» предоставляет исследователям большие возможности, так как на ТГК можно обеспечить минимальный уровень микроускорений ($10^{-6}g$), либо заданный (калиброванный) уровень микроускорений [16]. Для обеспечения этих условий потребовалось создание специальных методов управления, т.е. специальных технологий, разработанных с активным участием аспирантов. Грузовые корабли «Прогресс» позволяют также выполнить много других уникальных исследований и экспериментов, реализация которых основана на решениях некоторых новых задач механики и управления [16-19]. В рамках КЭ «Изгиб», например, было предложено создание НА «Космический трал», которая должна размещаться в отделяемой на тресе от ТГК «Прогресс» капсуле. С помощью НА «Космический трал» возможно исследовать верхние слои атмосферы. Впервые в мире будет выполнено контактное изучение верхних слоев атмосферы над всей территорией земного шара. Полет капсулы на высоте порядка 100 – 120 км позволит выполнять наблюдение объектов на Земле с недостижимым ранее разрешением. С помощью ТГК «Прогресс» возможна также отработка перспективных электродвигателей, работающих на низких высотах, и предложенной учеными МАИ технологии спуска с орбиты с помощью надувных конструкций.

Методы высокоточного прогнозирования движения станции обрабатываются в КЭ «Вектор-Т». Эта задача возникла в связи с особенностями МКС, прежде всего, с её размерами. На движение станции большое влияние оказывает сопротивление атмосферы. В рамках КЭ «Вектор-Т» со станции запускаются тестовые спутники, по движению которых уточняются параметры атмосферы [20]. Было также предложено запускать спутники внутри корпуса станции, т.е. создать спутник, «свободный от сноса» атмосферой. По движению тестового спутника относительно конструкции станции можно определить влияние атмосферы на МКС и уточнить ее плотность. Можно также проводить калибровку акселерометров. Хорошие перспективы и для демонстрации образовательных задач небесной механики (действие на МКС атмосферы, «парадокс спутника» и т.д.), которые решаются на космическом факультете МГТУ им. Баумана.

В ряде КЭ на МКС обрабатываются и технологии для будущих полетов к Луне и к Марсу. Например, отработка решения навигационной задачи по снимкам планеты [21]. Сегодня этот метод позволяет определять орбиту с точностью сотни метров. Для орбитальных полетов – это резервный метод определения движения, для лунных полетов он может быть основным. Использование этого подхода для определения

орбит несет и ценную образовательную составляющую – студенты учатся обрабатывать снимки, решать навигационные задачи, аспиранты проводят исследования в рамках диссертационных работ и т. д.

Результаты технических экспериментов на РС МКС «Среда-МКС», «Изгиб» и др. удостоены Премий Правительства РФ для молодых учёных за 2009 и 2021 г.

Выполнению экспериментов, например, съёмкам Земли, мешает периодическая занятость экипажа. Для устранения этой помехи в рамках КЭ «Ураган» созданы платформы наведения (ПН) «СОВА». Они позволяют автоматически наводить фото- и спектрометрическую аппаратуру на исследуемые объекты [10].

Использование ПН на МКС позволяет выполнять оптимизацию программ наблюдения. Возникла новая задача построения программы наблюдения заданных объектов с помощью нескольких ПН. Если ранее, в простейшем случае, задача оптимального наблюдения с КА заданной группы объектов на небесной сфере сводилась к известной задаче о коммивояжере, то теперь имеем задачу «о нескольких коммивояжерах». Для использования в практических целях возникает, конечно, много различных постановок задач. Использование оптимизационных задач позволяет существенно повысить информативность программ исследований. Важно, что данные задачи построения оптимальных программ и результаты их решения регулярно применяются в практических целях. Это важно также и для учебных процессов. Были разработаны учебные пособия для студентов МГТУ, которые ежегодно используются в процессе выполнения студентами домашних заданий и контрольных работ.

Предполагается использование НА с ПН и в режиме телеуправления с Земли. Впервые для ОС это было сделано на ОК «Мир» – управление ПН выполнялось по спутниковому каналу с компьютера, установленного в ЦУПе или даже в Европе. Сейчас для РС МКС также введена в эксплуатацию широкополосная система связи. С ее помощью ПН «СОВА» с фото- и спектрометрической аппаратурой может наводиться на исследуемые районы с Земли. Предполагается предоставление возможностей управления ПН научным и учебным институтам, а также руководителям различного уровня.

3. Заключение

Таким образом, реализация на МКС образовательных программ и участие в выполнении на МКС космических экспериментов школьников, студентов, аспирантов, преподавателей университетов эффективно способствует и решению важнейших для страны образовательных задач в области управления [22, 23].

Список литературы

1. Rhyzhov Yu., Alifanov O. USSR and Stanley Sadin // Paul Coleman, USA. Cosmos, an International Center for Advanced Studies. IAF-90-507. 41st Congress of the IAF. October 6-12, 1990. Dresden, GDR.
2. Alifanov O. Space and Education // International Issues Panel Discussion. The First International Design for Extreme Environments Assembly. University of Houston Hotel. November 12-15, 1991.
3. Koptev Yu.N., Alifanov O.M. Space and Education: Vision of the Aviation and Space Agency, Bringing Space into Education. IAF, Strasburg, France, April 2000.
4. Alifanov O.M. Aerospace Engineering Education in Respect of Cooperation between MAI and MIT. The II Cycle of Meetings on Cooperation of MAI with the Leading Aerospace Universities of the USA. Cambridge, MIT, June 12-23, 1989.
5. Rhyzhov Yu.A., Alifanov O. Problems of Aerospace Education in the Light of International Cooperation. The First Soviet-European Space Conference. Moscow, The International Trade Center. 9-13 May 1990.

6. Alifanov O.M. Moscow Aviation Institute, USSR and Stanley R. Sadin of Universities Space Research Association, USA. Concepts for Interdisciplinary Education and International Cooperation Aspects, IAF-89-542. 40th Congress of the IAF, October 7-12, 1989. Beijing, China.
7. Алифанов О.М., Бодин Б.В., Сенкевич В.П., Усюкин В.И., Хохулин В.С. Цели и задачи национальной программы космического образования России // ПОЛЕТ. 2000. № 3, С. 45-54.
8. Ракетно-космическая кооперация «Энергия» имени С.П.Королева. Королев: РКК «Энергия», 1996. 670 с.
9. Беляев М.Ю. Научная аппаратура и методы изучения Земли в космическом эксперименте «Ураган» на Международной космической станции // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18, № 3. С. 92-107.
10. Беляев М.Ю. Изучение возможностей выполнения исследований на орбитальных станциях и перспективы их научного применения // XVI Всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2023). Материалы мультиконференции. В 4-х томах. Редколлегия: И.А. Каляев, В.Г. Пешехонов, С.Ю. Желтов и др. Волгоград, 2023. С. 131-135.
11. Беляев М.Ю. Определение динамических характеристик МКС и изучение физических условий и явлений, возникающих на ее борту в полете // Сборник статей «Современные проблемы ракетной и космической техники». Казань: РАН, 2023. С. 5-61.
12. Севастьянов Д.Н., Банит Ю.Р., Беляев М.Ю. // Уточнение динамических характеристик космических аппаратов в экспериментах на МКС и применение данной технологии при управлении полетом КА «Ямал-200». Космическая техника и технологии. № 4 (43)/2023. С. 100-114.
13. Беляев М.Ю., Волков О.Н., Монахов В.В. // Способ определения деформации корпуса космического аппарата в полёте // Патент на изобретение № 2605232 от 25.11.2016 Заявка на изобретение № 2015122901 от 15.06.2015.
14. Беляев М.Ю., Волков О.Н., Рябуха С.Б. Микровозмущения на Международной космической станции при динамических операциях // Космические исследования. 2013. Т. 51, № 4. С. 303-307.
15. Завалишин Д.А., Беляев М.Ю., Сазонов В.В. Исследование вибрационных микроускорений на борту Международной космической станции // Космические исследования. 2013. Т. 51, № 4. С. 294-302.
16. Matveeva T.V., Belyaev M.Yu., Tsvetkov V.V. Challenges and Perspectives of Transport Cargo Vehicles Utilization for Performing Research in Free Flight // Acta Astronautica. 2014. Vol. 94. P. 139-144.
17. Беляев М.Ю., Матвеева Т.В. Способ определения тензора инерции космического аппарата в полете. Патент на изобретение № 2587764 № заявки 2014129427 от 18.07.2014.
18. Беляев М.Ю., Матвеева Т.В. Способ зондирования верхней атмосферы. Патент на изобретение № 2567998. № заявки 2014112734 от 01.04.2014.
19. Беляев М.Ю. Способ зондирования верхней атмосферы. Патент на изобретение RU 2655645 С1, 29.05.2018.
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 (к 60-летию запуска первого в мире спутника Земли) // Космическая техника и технологии. 2027. № 4. С. 5-14.
21. 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. 2018. № 4 (23). С. 57-67.
22. Алифанов О.М., Беляев М.Ю. МКС для образования // Первая Международная конференция по космическому образованию «Дорога в космос». ИКИ, 2021. С. 15-20.
23. Беляев М.Ю. Проблемы управления при проведении экспериментов на российском сегменте МКС и участие МФ МГТУ им. Н.Э.Баумана в их решении // Лесной вестник. 2019, № 4. С. 5-11.