

Особенности реализации процесса планирования для обеспечения целевого использования системы оптических телескопов на борту российского сегмента Международной космической станции

© А.Г. Топорков, А.М. Беляев

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

Рассмотрен процесс планирования работы системы оптических телескопов, установленной на борту российского сегмента Международной космической станции. Представлены принципы и особенности разработки программного комплекса для планирования проведения фото- и видеосъемки с использованием системы оптических телескопов. Описаны принятые технические решения, позволяющие сократить время разработки полетного задания, повысить качество и надежность работы оператора. Показано, что использование разработанного программного комплекса дает возможность максимально эффективно распределять ресурсы системы оптических телескопов для обеспечения оперативного мониторинга земной поверхности и учитывать ограничения, связанные с особенностями реализации программы полета российского сегмента Международной космической станции. Разработанный программный комплекс является адаптивным, а его функциональные возможности могут быть расширены с учетом новых требований, задач и ограничений.

Ключевые слова: Международная космическая станция, космические эксперименты, система оптических телескопов, планирование полета, дистанционное зондирование Земли

Введение. За многие годы функционирования и эксплуатации орбитальных комплексов «Салют» и «Мир» они стали настоящими лабораториями [1], где можно проводить космические эксперименты, в том числе и съемки поверхности Земли [2, 3]. Полученные фото- и видеоматериалы, а также результаты отработки аппаратуры наблюдения и методики ее управления служат фундаментальной основой для проведения наблюдений и перспективных космических экспериментов, намеченных к реализации на борту российского сегмента Международной космической станции (РС МКС).

Обоснованную популярность приобретают автоматические системы, обеспечивающие осуществление различных космических экспериментов, в том числе в рамках дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Использование автоматических съемочных систем ДЗЗ, монтируемых на борту орбитальной станции, очень актуально, поскольку членам экипажа не придется самим периодически проводить съемки. Следовательно, не будет нарушаться режим труда и отдыха экипажа,

а также у космонавтов освободится время на выполнение дополнительных служебных, бытовых и целевых полетных операций. Факт размещения аппаратуры на внешней поверхности РС МКС не ограничивает габариты оптической системы, что позволяет повысить разрешающую способность получаемых снимков и сэкономить полезное пространство внутри герметичного объема для других научных экспериментов. Проводить эксперименты с подобными съемочными системами очень важно, во-первых, для популяризации использования результатов космической деятельности для широкого круга потребителей, а во-вторых, для отработки подобных технологий ДЗЗ, которые могут быть использованы для мониторинга поверхности в режиме реального времени. Для планирования эффективной эксплуатации таких автоматических съемочных систем необходимы специальные программно-математические комплексы.

Надежное и рациональное планирование особенно актуально для космических аппаратов, которые вследствие очень высокой стоимости, единичного выпуска и уникального научного потенциала должны использоваться по целевому назначению максимально эффективно. Для большинства космических объектов процесс планирования работы формализован, поэтому его осуществляют с помощью специальных программно-математических комплексов.

Цель работы — представить особенности и эффективность практического применения специального программно-математического комплекса для реализации процесса управления научной аппаратурой в рамках космического эксперимента «Напор-миниРСА» при проведении фото- и видеосъемки с борта РС МКС.

Примеры использования специальных систем планирования для космических проектов различного назначения представлены в табл. 1.

Таблица 1

Специальные системы планирования

Система планирования	Проект	Возможности системы
SPIKE [4]	Hubble Space Telescope	Планирование съемок для телескопа Хаббл. Обеспечение надежного и оптимального функционирования бортовой аппаратуры телескопа
Multi-Remote Sensing Satellite Mission Planning System	FORMOSAT-2	Планирование для функционирования мультиспектральной системы ДЗЗ
Plan-IT, Plan-IT-2 [5]	ROSAT	Автоматизация процесса оптимизации планирования и управления КА
MISPLAN	Система низко-орбитальных КА	Оперативное планирование съемки земных объектов

Система планирования	Проект	Возможности системы
SaVoir Multi-Satellite Swath Planner [6]	Спутники ДЗЗ	Планирование работы оптических и радиолокационных спутников (более 75 КА) и их полезных нагрузок, включая Radarsats, RapidEyes, DMC, TerraSAR-X, SPOT, Kompsat, Formosat, NOAA, Landsat, Aqua, Terra и др.
Mission planning system [7]	Telematics International Mission (TIM) nanosatellite remote sensing constellation	Обеспечение совместного и централизованного планирования. Получение запросов пользователей на наблюдение и формирование согласованного графика этих наблюдений и сеансов передачи целевой информации на земные станции
Автоматизированная система планирования РС МКС [8]	РС МКС	Обеспечение скоординированного планирования работы всех членов экипажа и функционирования систем наземного и бортового комплекса управления МКС. Планирование полета транспортных КА
Планировщик [9]	Спутники ДЗЗ	Решение задачи оперативного планирования и анализа эффективности функционирования отдельных спутников и спутниковых систем наблюдения с различной комплектацией бортовой аппаратуры

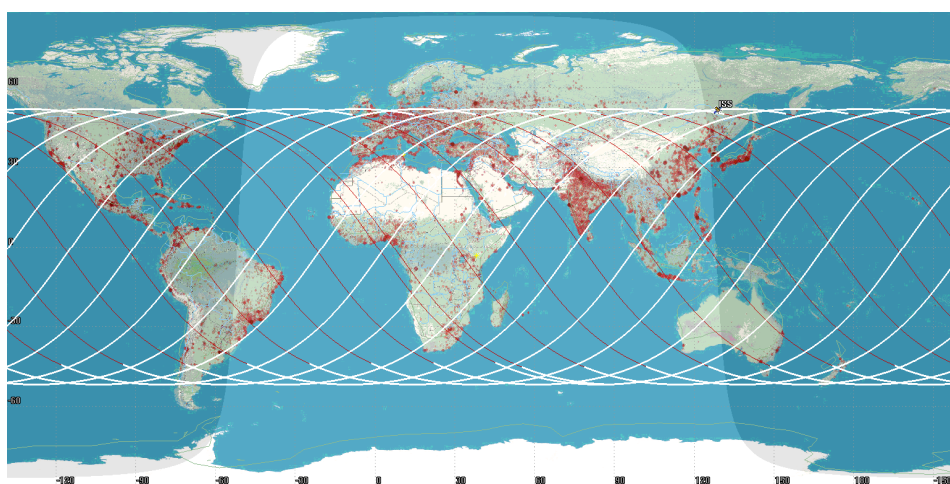


Рис. 1. Трасса полета МКС

Следует отметить, что трасса полета МКС находится в широтном диапазоне ($\pm 51,6^\circ$), в котором проживает примерно 80 % всего населения Земли (рис. 1). Оперативный мониторинг этих районов из космоса представляется актуальным, поскольку позволяет спрогнозировать возникновение различных чрезвычайных ситуаций (природных катаклизмов, техногенных аварий и др.), а своевременное прогнозирование обеспечивает сокращение затрат на ликвидацию или минимизацию последствий.

Международная космическая станция представляет собой лабораторию для проведения научных экспериментов, распределенных по конкретным направлениям. На борту РС МКС в рамках дистанционного зондирования Земли реализованы следующие космические эксперименты: «Ураган» [10, 11], «Русалка», «Дубрава», «Альбеда», «Сценарий», «Напор-миниРСА» и др. В данной статье рассмотрены особенности реализации космического эксперимента «Напор-миниРСА».

Основные сведения. Для выполнения космического эксперимента «Напор-миниРСА» в январе 2014 г. во время проведения внекорабельной деятельности российские космонавты установили на внешней поверхности служебного модуля (СМ) РС МКС систему оптических телескопов (СОТ). С этого момента началась отработка системы оптических телескопов для получения и передачи с борта служебного модуля через радиотехническую систему передачи информации (РСПИ) на наземные приемные станции фото- и видеоизображений подстилающей поверхности Земли (в том числе получение изображений тестовых участков, синхронных с радиолокационными) для обеспечения выполнения запросов от различных потребителей [12]. Успешная реализация данного космического эксперимента стала возможна благодаря эффективному и плодотворному сотрудничеству Госкорпорации «Роскосмос» и зарубежных партнеров [13–15]. Цель проведения космического эксперимента «Напор-миниРСА» заключается в экспериментальной отработке технологии малогабаритного радиолокатора с синтезированной апертурой на основе микрополосковых активных фазированных антенных решеток в интересах решения задач природопользования, экологического контроля и мониторинга чрезвычайных ситуаций [16].

Система оптических телескопов состоит из двух моноблоков (рис. 2): камеры среднего разрешения (MRC, Medium-Resolution Camera) и камеры высокого разрешения (HRC, High-Resolution Camera) [17].

Взаимное расположение моноблоков MRC и HRC на внешней поверхности служебного модуля РС МКС представлено на рис. 3 [18].

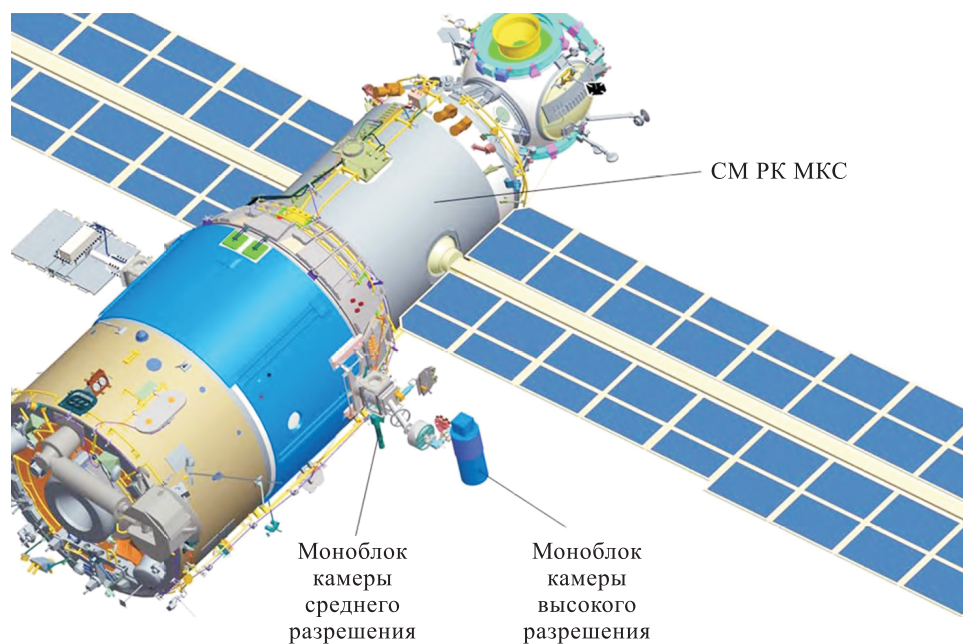


Рис. 2. Расположение камер на внешней поверхности служебного модуля РК МКС

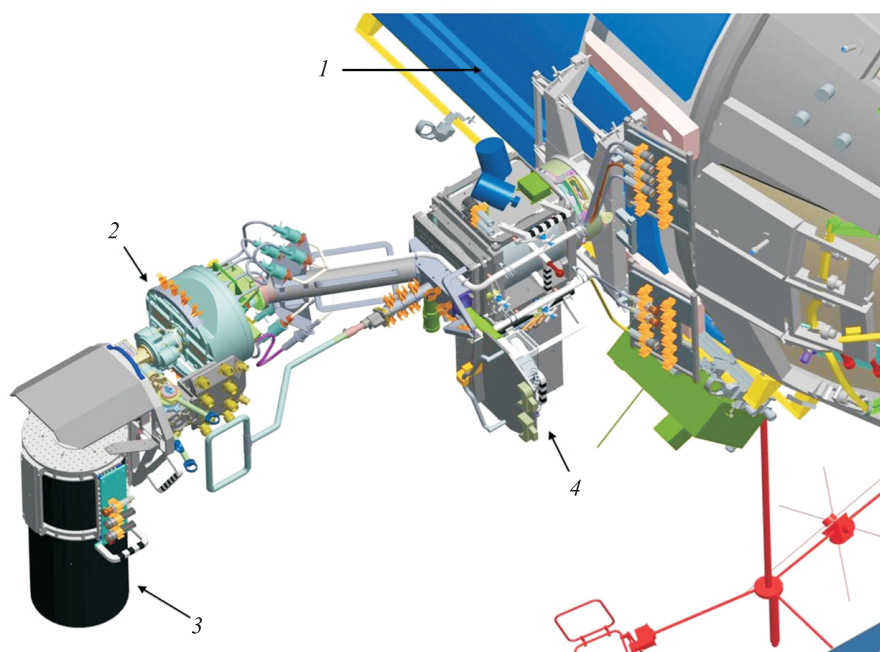


Рис. 3. Взаимное расположение камер на внешней поверхности СМ РК МКС:
1 — служебный модуль РК МКС; 2 — двухосная платформа наведения;
3 — камера высокого разрешения; 4 — камера среднего разрешения

Моноблок камеры среднего разрешения представляет собой четырехканальную мультиспектральную камеру с полосой захвата шириной около 50 км. Камера с пространственным разрешением 5 м жестко закреплена по отношению к корпусу СМ РС МКС и всегда направлена в надир в сторону Земли.

Моноблок камеры высокого разрешения может вести съемку полноцветного видео продолжительностью до 60 с. Камера имеет полосу захвата шириной около 5 км, ее пространственное разрешение составляет 1 м. Камера НРС (рис. 4) [13] установлена на двухосной платформе наведения (ДПН), которая обеспечивает наведение и сопровождение заданного объекта на Земле в процессе съемки по двум углам. Диапазон углов вращения ДПН по каждой оси лежит в диапазоне от -175° до $+175^\circ$, а рабочий диапазон угловых скоростей вращения приводов ДПН составляет от 1 угл. с/с до 3 град/с [19].

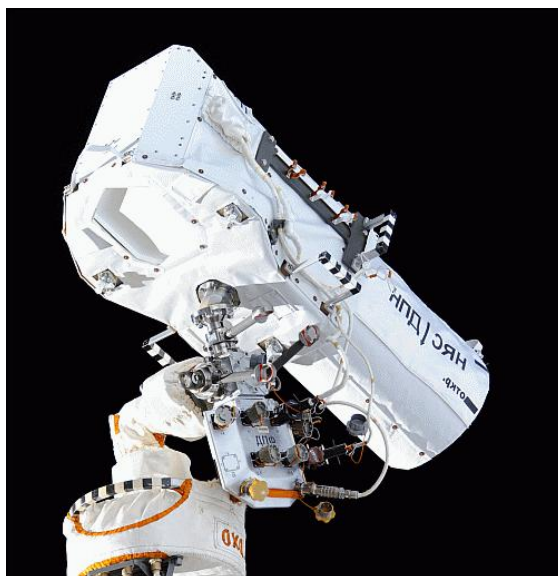


Рис. 4. Общий вид камеры НРС

Наводить камеру НРС на заданный объект достаточно сложно, поскольку необходимо минимизировать амплитуду низкочастотных колебаний конструкции ДПН совместно с амплитудой моноблока камеры НРС.

Концептуальная особенность и одновременно преимущество использования подобных съемочных систем на борту орбитальной станции заключается в том, что съемка земной поверхности происходит без непосредственного участия экипажа РС МКС, а значит, результат не зависит от индивидуальных особенностей космонавтов и распорядка их рабочего дня.

Принципы планирования работы научной аппаратуры СОТ.

В соответствии с основными принципами планирования полета РС МКС [20, 21] разработана циклограмма планирования и реализации работ для СОТ (рис. 5) в рамках проведения космического эксперимента «Напор-миниРСА».



Рис. 5. Циклограмма планирования и реализации космического эксперимента «Напор-миниРСА» с СОТ:

N — день проведения сеанса съемки; P — день передачи и приема целевой информации на земную станцию; ОСФ — Operational Command File (командный файл); МЦИ — массивы цифровой управляющей информации; ДПП — детальный план полета; КЭ — космический эксперимент

В рамках реализации космического эксперимента «Напор-миниРСА» с СОР сформированы следующие этапы планирования:

- подготовительное планирование (за $N - 7$ суток);
- предварительное планирование (за $N - 5$ суток);
- уточненное планирование (за $N - 2$ суток);
- финальное планирование (за $N - 1$ суток).

На каждом этапе решается многокритериальная задача оптимизации планирования, в рамках которой формируется оптимальная последовательность съемки подстилающей поверхности Земли и передачи целевой информации на земную станцию.

Принципы управления научной аппаратурой СОР. Концептуально управление (рис. 6) научной аппаратурой (НА) СОР осуществляется с использованием командной радиолинии, по которой из наземного комплекса управления (НКУ) в бортовой комплекс автоматического управления (БКАУ) передаются массивы цифровой управляющей информации (МЦИ) [22]. Эти массивы закладываются в управляющий компьютер — ТВМ1-Н (терминальная вычислительная машина 1 — наука) служебного модуля. ТВМ1-Н СМ входит в информационно-управляющую систему РС МКС [23–25]. В свою очередь, экипаж РС МКС может проводить ремонтно-восстановительные работы аппаратуры СОР.

Для парирования нештатных ситуаций предусмотрена возможность управления НА в реальном масштабе времени посредством выдачи управляющих воздействий (УВ) в ТВМ1-Н СМ.

Непосредственное управление НА СОР осуществляется посредством исполнения полетного задания, которое поступает в ТВМ1-Н СМ в виде командного файла (OCF, Operational Command File). Файл OCF представляет собой временную последовательность выполнения запланированных команд:

- подача и снятие питания с приборов БЗУ-М, камеры HRC, камеры MRC и ДПН;
- начало и окончание съемки для камер MRC и HRC;
- задание параметров съемки и настройка камеры MRC;
- задание параметров съемки, настройка и задание координат целей для камеры HRC;
- обновление программного обеспечения для HRC, MRC, ДПН и БЗУ-М;
- диагностика и запрос log-файлов БЗУ-М.

Файл OCF можно представить в виде последовательно выполняемых типовых сеансов работы камер MRC и HRC и сеансов передачи целевой информации на Землю (рис. 7):

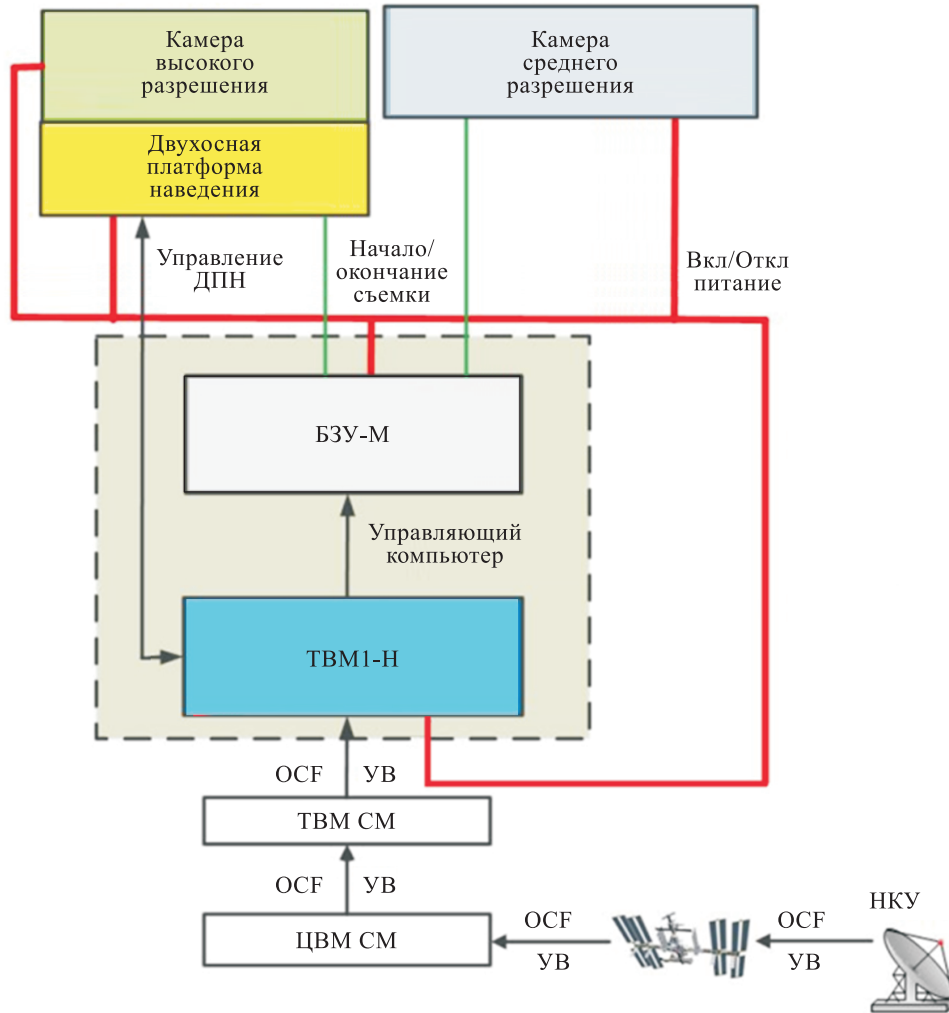


Рис. 6. Блок-схема процесса управления научной аппаратурой COT

- $T_{ин_OCF}$ — инициализация файла OCF в ТВМ1-Н СМ;
- $T_{вкл_БЗУ}$ — включение питания и приведение в состояние готовности прибора БЗУ-М;
- $T_{i(MRC)}$ — выполнение i -го сеанса съемки камерой MRC;
- $T_{i(HRC)}$ — выполнение i -го сеанса съемки камерой HRC;
- $T_{i(сброс)}$ — проведение i -го сеанса передачи целевой информации на Землю;
- $T_{выкл_БЗУ}$ — завершение работы и выключение питания БЗУ-М.

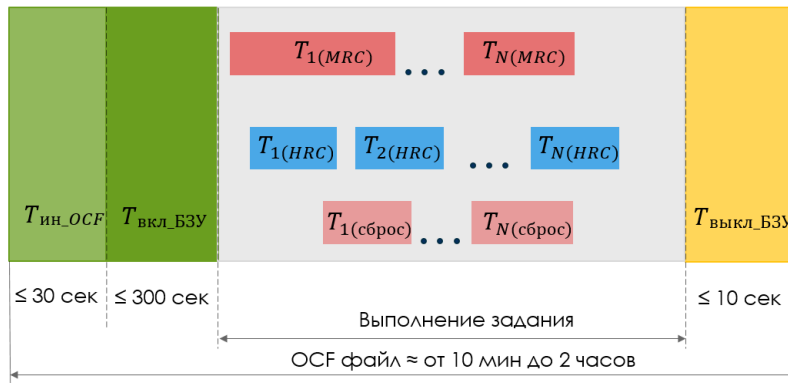


Рис. 7. Пример OCF-файла

Типовой сеанс работы камеры MRC можно представить следующим образом (рис. 8):

- $t_{вкл_MRC}$ — включение питания камеры MRC;
- $t_{гот_MRC}$ — время приведения камеры MRC в состояние готовности;
- $t_{iвс(MRC)}$ — время выполнения i -й сессии съемки;
- $t_{выкл_MRC}$ — завершение работы и выключение питания камеры MRC.

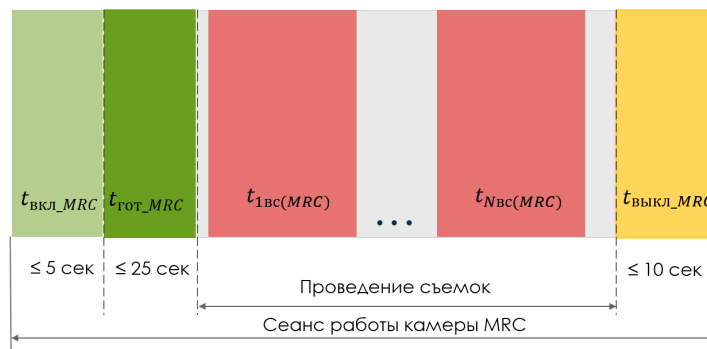


Рис. 8. Пример типowego сеанса работы камеры среднего разрешения

Типовой сеанс работы камеры HRC можно представить следующим образом (рис. 9):

- $t_{вкл_HRC}$ — включение питания камеры HRC;
- $t_{вкл_ДПН}$ — включение питания двухосной платформы наведения;
- $t_{гот_HRC}$ — время приведения камеры HRC и ДПН в состояние готовности;

$t_{\text{ивс}}(\text{HRC})$ — время выполнения i -й сессии видеосъемки;
 $t_{\text{выкл_ДПН}}$ — завершение работы и выключение питания ДПН;
 $t_{\text{выкл_HRC}}$ — завершение работы и выключение питания камеры HRC.

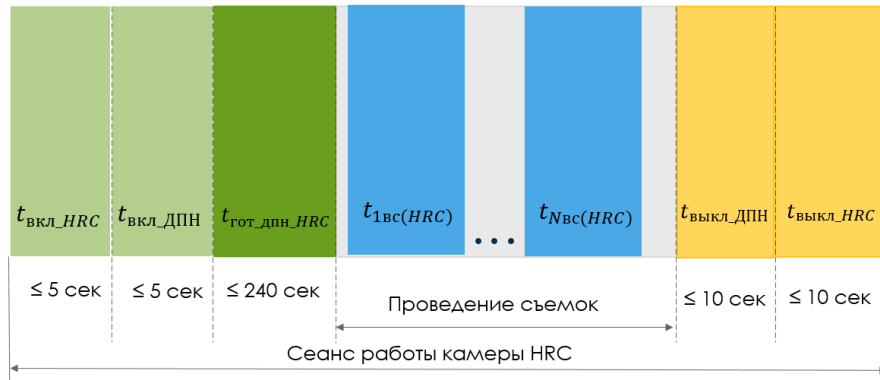


Рис. 9. Пример типового сеанса работы камеры высокого разрешения

В рамках одного сеанса работы камеры MRC или HRC может быть запланировано неограниченное количество сессий съемок, которое регламентируется исходными данными, режимами работы камер MRC или HRC и бортовых систем РС МКС в день реализации. Одна сессия — это одно фото- или видеоизображение.

В свою очередь, в одном полетном задании возможно проведение нескольких сеансов работы камер MRC и HRC. Полетное задание формируется в автоматизированном режиме с использованием системы контроля и планирования (СКП) для СОТ. Эта система представляет собой программный комплекс, где исходными данными являются режимы функционирования СОТ, светотеневая обстановка на поверхности Земли, погодные условия, времена сбросов целевой информации на наземные станции и ее объемы, баллистические условия полета МКС.

Программный комплекс планирования. Для того чтобы обеспечить процесс планирования и работы НА СОТ, специалистами компании UrtheCast и ПАО «РКК «Энергия» был разработан, протестирован и введен в эксплуатацию специальный программный комплекс [26] на базе среды математического моделирования AGI Systems Tool Kit (STK) [27] с использованием языков программирования Visual Basic for Applications и Python (рис. 10).

Файл данных погоды, содержащий информацию о проценте облачности на заданной территории, может быть сформирован с использованием онлайн-сервисов погоды [28, 29].

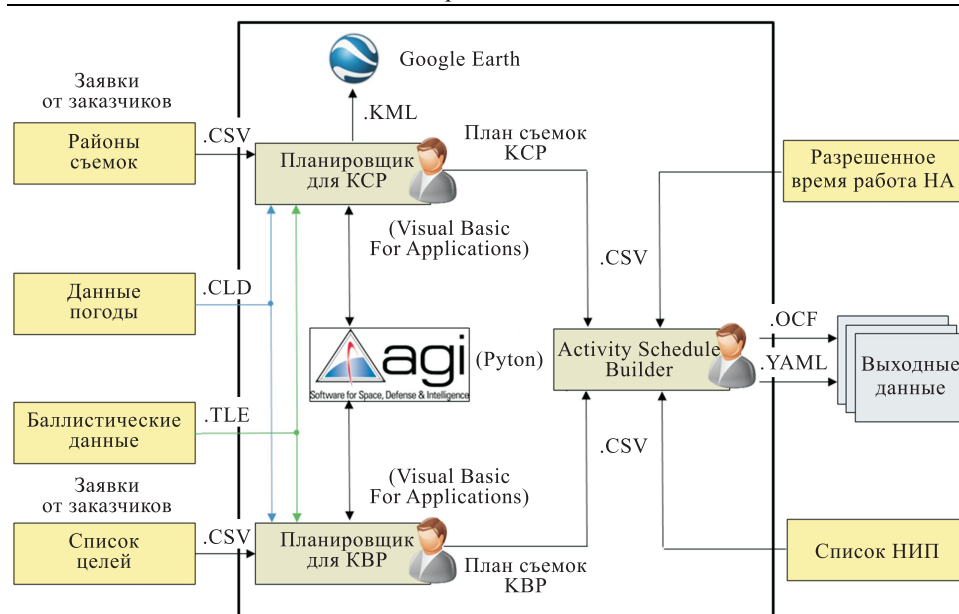


Рис. 10. Архитектура программного комплекса планирования для COT:
КСР — камера среднего разрешения; КВП — камера высокого разрешения

Программный комплекс планирования состоит из трех программных компонентов (см. рис. 10):

- «Планировщик для КВП»;
- «Планировщик для КСР»;
- Activity Schedule Builder.

Концепция работы программных компонентов «Планировщик для КВП» и «Планировщик для КСР» включает в себя четыре этапа (рис. 11).

Этап моделирования проводится на базе программной среды AGI Systems Tool Kit (STK) [26, 27]. Одной из основных задач на данном этапе является прогнозирование орбитального движения МКС, которое в рамках рассматриваемого программного комплекса осуществляется с использованием модели SGP [30].

Кроме того, необходимо отметить, что в процессе планирования можно формировать список объектов и районов по следующим критериям:

- приоритет съемки;
- приоритет передачи целевой информации на пункты приема;
- необходимость хранения или удаления целевой информации из бортового запоминающего устройства после ее передачи на пункты приема информации.
- непосредственная передача или запись целевой информации в БЗУ-М.

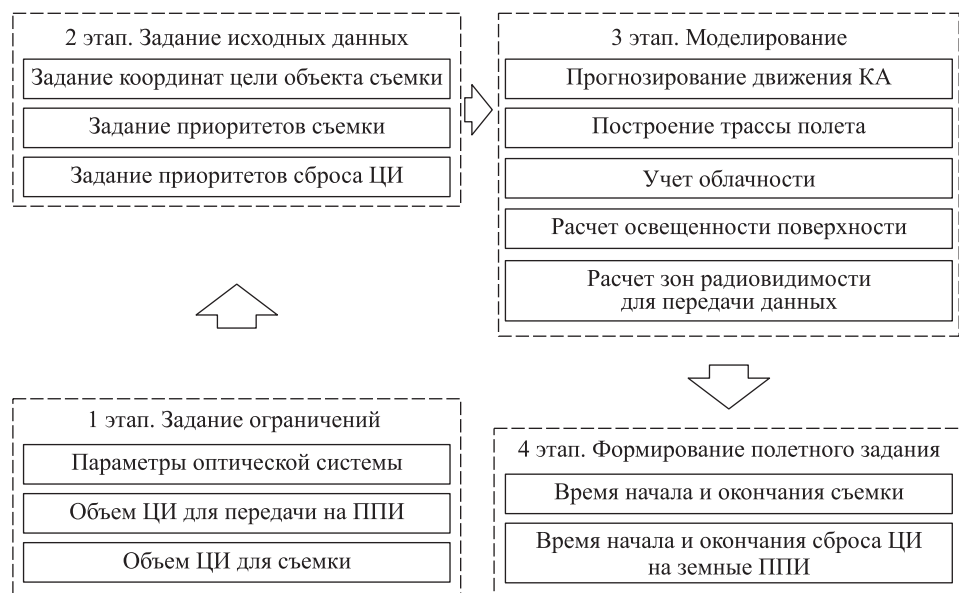


Рис. 11. Алгоритм формирования плана съемок для КВР и КСР

Концепция работы программного компонента Activity Schedule Builder представлена на рис. 12. Результатом работы этого компонента являются сформированные бинарные OCF-файлы и структурированные YAML-файлы (*англ.* Yet Another Markup Language). В дальнейшем эти файлы используются для формирования массивов цифровой информации и передаются на борт РС СМ МКС в управляющий компьютер ТВМ1-Н СМ.

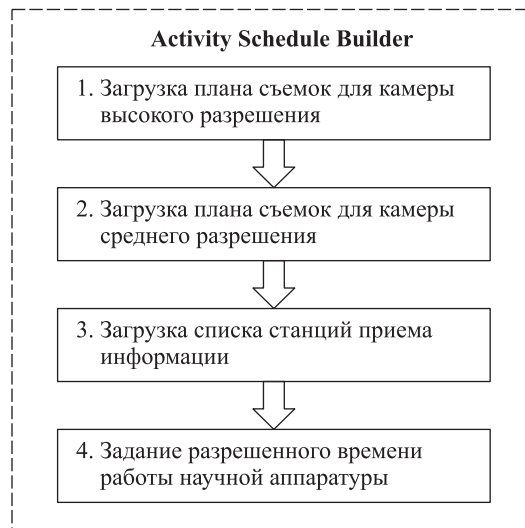


Рис. 12. Последовательность работы программного компонента Activity Schedule Builder

Заключение. Представленный в данной статье процесс планирования работы системы оптических телескопов позволяет эффективно решать задачу наблюдения поверхности Земли в автоматическом режиме с борта международной космической станции.

В ходе реализации космического эксперимента «Напор-миниРСА» установлено, что использование данных об облачности позволяет повысить объем пригодной к практическому использованию целевой информации. Так, в результате работы СКП до середины 2015 г. (без учета прогнозируемой облачности) количество пригодных к обработке изображений поверхности Земли составляло 45...50 %. После модернизации СКП удалось увеличить этот объем до 80 %.

Полетное задание формируется в процессе решения многокритериальной итерационной задачи, в рамках которой поэтапно проверяются все заданные ограничения, исходные данные, приоритеты съемки и передачи целевой информации. Данный подход позволяет минимизировать затраты ресурсов бортовых систем РС МКС и целевой аппаратуры, а также обеспечить оперативную и своевременную передачу требуемых фото- и видеоизображений потребителям целевой информации.

Разработанный программный комплекс обеспечивает:

- планирование проведения качественных фото- и видеосеансов съемки заданных районов поверхности Земли;
- планирование проведения сеансов передачи целевой информации с максимально возможным объемом;
- повышение качества и надежности работы оператора-планировщика;
- соблюдение правил и ограничений при проведении космических экспериментов на борту РС МКС;
- соблюдение требуемых и располагаемых ресурсов, планов пусков и стыковок, состояния бортовых систем РС МКС.

Все это позволяет повысить эффективность проведения космического эксперимента на борту РС МКС.

Программный комплекс является гибким с точки зрения доработки функциональных возможностей, а опыт разработки применения подобных систем планирования может быть использован в будущем при реализации других подобных космических экспериментов на борту РС МКС.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Никольская Е.Б., Сорокин И.В. Оптимизация состава аппаратуры ДЗЗ на орбитальных станциях. *Циолковские чтения*.
URL: <https://readings.gmik.ru/lecture/2005-OPTIMIZATSIYA-SOSTAVA-APPARATURI-DZZ-NA-ORBITALNIH-STANTSIIYAH> (дата обращения 20.07.2021).

- [2] Бондур В.Г., Калери А.Ю., Лазарев А.И. *Наблюдение Земли из космоса. Орбитальная станция «Мир»*. Санкт-Петербург, Гидрометеоиздат, 1997, 92 с.
- [3] Беляев М.Ю. *Научные эксперименты на космических кораблях и орбитальных станциях*. Москва, Машиностроение, 1984, 264 с.
- [4] SPIKE: Intelligent Scheduling of Hubble Space Telescope Observations. *Semantic Scholar*. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/S-PIKE-%3A-Intelligent-Scheduling-of-Hubble-Space-Johnston-Miller/bd35919ba6e6b4a23c29b2b2c4ca022178a9071d> (дата обращения 20.07.2021).
- [5] *Research and Technology: Annual Report of the Goddard Space Flight Center. Goddard Space Flight Center*. The Center Publ., 1992, 256 p.
- [6] SaVoir Multi-Satellite Swath Planner. *Taitus Software Italia Srl*. URL: <https://www.taitussoftware.com/products/applications/savoir/> (дата обращения 20.07.2021).
- [7] Kleinschrodt A., Nogueira T., Reed N., Schilling K. Mission Planning for the TIM Nanosatellite Remote Sensing Constellation. *Conference Paper of 69th International Astronautical Congress (IAC)*. Bremen, Germany, 2018, pp. 1–12.
- [8] Станиловская В.И., Беляев А.М., Потоцкий С.И., Козлечков А.Г. Автоматизированная система планирования полета российского сегмента международной космической станции. *Программные продукты и системы*, 2013, № 3, с. 48–54.
- [9] Малышев В.В., Красильщиков М.Н., Бобронников В.Т., Нестеренко О.П., Федоров А.В. *Спутниковые системы мониторинга. Анализ, синтез и управление*. Москва, МАИ, 2000, 568 с.
- [10] Беляев Б.И., Беляев М.Ю., Боровихин П.А., Голубев Ю.В. Система автоматической ориентации научной аппаратуры в эксперименте «Ураган» на международной космической станции. *Космическая техника и технологии*, 2018, № 4 (23), с. 70–80.
- [11] 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. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-92-107
- [12] Степанов Ю.А., Мясникова И.В., Кормилицын В.В. *Комплекс ДЗЗ на РС МКС. Космический эксперимент «Напор-миниРСА». Эффект от использования МКС для России*. 2017, с. 34–35. URL: <http://tsniimash.ru/upload/iblock/aa4/%D0%91%D1%80%D0%BE%D1%88%D1%8E%D1%80%D0%B0%202017,%20%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BA%D0%B8%202019.pdf> (дата обращения 20.07.2021).
- [13] ISS Utilization: UrtheCast cameras and instruments on the ISS. *Earth Observation portal*. URL: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/i/iss-urthecast> (дата обращения 20.07.2021).
- [14] Waltham N., Larson S., Morris N., Tosh I., Middleton K., Tye G., Alonso C. UrtheCast: changing our view of Earth. *63th International Astronautical Congress*. URL: <http://iafastro.directory/iac/paper/id/15106/abstract-pdf/IAC-12,E6,2,11,x15106.brief.pdf?2012-04-19.09:56:59> (дата обращения 20.07.2021).
- [15] International Space Station Benefits for Humanity. *NASA*. URL: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/benefits-for-humanity_tagged.pdf (дата обращения 20.07.2021).
- [16] Исследование Земли и Космоса — Эксперимент «Напор-миниРСА». *РКК «Энергия»*. URL: <https://www.energia.ru/ru/iss/researches/study/11.html> (дата обращения 20.07.2021).

- [17] Реализация на СМ МКС космического эксперимента «Напор-мини РСА» с системой оптических телескопов. *ЦНИИМаи*. URL: https://www.tsniimash.ru/upload/iblock/ae3/Бродский%20И.Э._рус..pdf (дата обращения 20.07.2021).
- [18] UrtheCast Hi-Res Camera Still Not Working but Solution (and More Cameras) are on the Way. *The commercial space blog*. URL: <http://acuriousguy.blogspot.com/2014/07/urthecast-hi-res-camera-still-not.html> (дата обращения 20.07.2021).
- [19] Сумароков А.В. О наведении камеры высокого разрешения, установленной на борту МКС, посредством двухосной поворотной платформы. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2016, № 4, с. 85–97. DOI: 10.18698/0236-3933-2016-4-85-97.
- [20] Станиловская В.И. *Автоматизация планирования полетов долговременных орбитальных комплексов. Дис. ... канд. техн. наук*. Королёв, 2008, 193 с.
- [21] Беляев А.М. Основные принципы построения автоматизированной системы планирования полета Российского сегмента МКС. *Космическая техника и технологии*, 2016, № 3 (14), с. 91–99.
- [22] Брега А.Н., Коваленко А.А. Командно-программное управление полетом российского сегмента МКС. *Космическая техника и технологии*, 2016, № 2 (13), с. 90–104.
- [23] Воронин Ф.А., Дунаева И.В. Информационно-управляющая система для проведения научных экспериментов на международной космической станции. *Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение*, 2017, т. 16, № 1, с. 20–30.
- [24] Пахмутов П.А., Скороход С.А., Воронин Ф.А. Проектирование и реализация средствами информационно-управляющей системы РС МКС эксперимента по дистанционному зондированию Земли с помощью системы оптических телескопов. *Материалы XXXVII Академических чтений по космонавтике*. Москва, Комиссия РАН по разработке научного наследия пионеров освоения космического пространства, 2013, с. 471–472.
- [25] Воронин Ф.А., Карташев С.В., Назаренко Е.А. Проведение испытаний информационно-управляющей системы служебного модуля РС МКС в части системы оптических телескопов на наземном комплексе отработки. *Молодежный научно-технический вестник*, 2014, № 7, 26 с. URL: <http://ainsnt.ru/doc/724789.html> (дата обращения 20.07.2021).
- [26] Беляев А.М., Топорков А.Г., Рязанов С.П., Баранов А.А. Особенности разработки программного комплекса на базе среды математического моделирования STK. *Материалы XXXIX Академических чтений по космонавтике, посвященных памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых-пионеров освоения космического пространства*. Москва, 2015, с. 328. URL: http://www.korolevspace.ru/sites/default/files/uploads/328_Beliaev%20А.М..pdf (дата обращения 20.07.2021).
- [27] STK Tutorial Using the Object Model. *AGI Product Help Center*. URL: <http://help.agi.com/stk/LinkedDocuments/STKTutorial.pdf> (дата обращения 20.07.2021).
- [28] Map 2d. *Dark Sky maps*. URL: https://maps.darksky.net/@cloud_cover (дата обращения 20.07.2021).
- [29] Overcast. *Dark Sky maps*. URL: <https://darksky.net/forecast/40.7127,-74.0059/si12/en> (дата обращения 20.07.2021).
- [30] Norad. *CELESTRACK*. URL: <https://www.celestrak.com/NORAD/documentation/spacetrk.pdf> (дата обращения 17.02.2022).

Статья поступила в редакцию 19.01.2022

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Топорков А.Г., Беляев А.М. Особенности реализации процесса планирования для обеспечения целевого использования системы оптических телескопов на борту российского сегмента Международной космической станции. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2022, вып. 3.

<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2022-3-2165>

Топорков Алексей Геннадьевич — инженер-исследователь 1-й категории ПАО «РКК «Энергия». e-mail: aleksey.toporkov@rsce.ru

Беляев Андрей Михайлович — заместитель начальника отдела ПАО «РКК «Энергия». e-mail: andrey.belyaev@rsce.ru.

Planning process to ensure the intended use of the optical telescopes system on board the Russian segment of the International Space Station: implementation features

© A.G. Toporkov, A.M. Belyaev

S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia,
Korolyov, 141070, Russia

The paper focuses on the process of planning the operation of the optical telescopes system on board the Russian segment of the International Space Station. It introduces the principles and features of developing a software package for planning photo and video shooting using the system, and describes adopted technical solutions, which allow cutting the time for the flight task development and improving the quality and reliability of the operator's work. The study shows that the use of the software package makes it possible to distribute the resources of the system as efficiently as possible for real-time monitoring of the earth's surface and take into account the limitations associated with the specifics of implementing the flight program of the Russian segment of the ISS. The software package is adaptive, and the functionality can be expanded with account for new requirements, tasks and restrictions.

Keywords: International Space Station, space experiments, optical telescopes system, flight planning, Earth remote sensing

REFERENCES

- [1] Nikolskaya E.B., Sorokin I.V. Optimizatsiya sostava apparatury DZZ na orbitalnykh stantsiyakh [Optimization of the composition of remote sensing equipment at orbital stations]. *Tsiolkovskie Chteniya* [Tsiolkovskiy Readings]. Available at: <https://readings.gmik.ru/lecture/2005-OPTIMIZATSIYA-SOSTAVA-APPARATURI-DZZ-NA-ORBITALNIH-STANTSIIAH> (accessed July 20, 2021).
- [2] Bondur V.G., Kaleri A.Yu., Lazarev A.I. *Nablyudeniye Zemli iz kosmosa. Orbitalnaya stantsiya «Mir»* [Observing the Earth from space. Orbital station "Mir"]. St. Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 1997, 92 p.
- [3] Belyaev M.Yu. *Nauchnyye eksperimenty na kosmicheskikh korablyakh i orbitalnykh stantsiyakh* [Scientific experiments on spaceships and orbital stations]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1984, 264 p.
- [4] SPIKE: Intelligent Scheduling of Hubble Space Telescope Observations. *Semantic Scholar*. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/S-PIKE-%3A-Intelligent-Scheduling-of-Hubble-Space-Johnston-Miller/bd35919ba6e6b4a23c29b2b2c4ca022178a9071d> (accessed July 20, 2021).
- [5] Research and Technology: Annual Report of the Goddard Space Flight Center. Goddard Space Flight Center. *Google Play*. Available at: <https://play.google.com/store/books/details?id=Aqn8pUzv8jkC&rdid=book-Aqn8pUzv8jkC&rdot=1> (accessed July 20, 2021).
- [6] SaVoir Multi-Satellite Swath Planner. *Taitus Software Italia Srl*. Available at: <https://www.taitussoftware.com/products/applications/savoir/> (accessed July 20, 2021).
- [7] Kleinschrodt A., Nogueira T., Reed N., Schilling K. Mission Planning for the TIM Nanosatellite Remote Sensing Constellation. *Researchgate*. Available at:

- https://www.researchgate.net/publication/328334288_Mission_Planning_for_the_TIM_Nanosatellite_Remote_Sensing_Constellation (accessed July 20, 2021).
- [8] Stanilovskaya V.I., Belyaev A.M., Pototsky S.I., Kozlechkov A.G. *Programmnye produkty i sistemy — Software & Systems*, 2013, no. 3, pp. 48–54.
- [9] Malyshev V.V., Krasilschikov M.N., Bobronnikov V.T., Nesterenko O.P., Fedorov A.V. *Sputnikovyie sistemy monitoringa. Analiz, sintez i upravleniye* [Satellite monitoring systems. Analysis, synthesis and control]. Moscow, MAI Publ., 2000, 568 p.
- [10] Belyaev B.I., Belyaev M.Yu., Borovikhin P.A., Golubev Yu.V. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii — Space Engineering and Technology*, 2018, no. 4 (23), pp. 70–80.
- [11] Belyaev M.Yu. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa — Current problems in remote sensing of the Earth from space*, 2021, vol. 18, no. 3, pp. 92–107. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-92-107
- [12] Stepanov Yu.A., Myasnikova I.V., Kormilitsyn V.V. *Kompleks DZZ na RS MKS. Kosmicheskii eksperiment «Napor-miniRSA». Effekt ot ispolzovaniya MKS dlya Rossii* [Earth remote sensing complex on the ISS RS. Space experiment “Head-miniRSA”. The effect of using the ISS for Russia], 2017, pp. 34–35. Available at: <http://tsniimash.ru/upload/iblock/aa4/%D0%91%D1%80%D0%BE%D1%88%D1%8E%D1%80%D0%B0%202017,%20%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BA%D0%B8%202019.pdf> (accessed July 20, 2021).
- [13] ISS Utilization: UrtheCast cameras and instruments on the ISS. *Earth Observation portal*. Available at: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/i/iss-urthecast> (accessed July 20, 2021).
- [14] Waltham N., Larson S., Morris N., Tosh I., Middleton K., Tyc G., Alonso C. UrtheCast: changing our view of Earth. *63th International Astronautical Congress*. Available at: <http://iafastro.directory/iac/paper/id/15106/abstract-pdf/IAC-12,E6,2,11,x15106.brief.pdf?2012-04-19.09:56:59> (accessed July 20, 2021).
- [15] International Space Station Benefits for Humanity. *NASA*. Available at: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/benefits-for-humanity_tagged.pdf (accessed July 20, 2021).
- [16] Issledovaniye Zemli i Kosmosa – Eksperiment “Napor-mini RSA”. *RSC Energia*. Available at: <https://www.energia.ru/ru/iss/researches/study/11.html> (accessed July 20, 2021).
- [17] Realizatsiya na SM MKS kosmicheskogo eksperimenta “Napor-mini RSA” s sistemoy opticheskikh teleskopov. *TsNIIMash*. Available at: https://www.tsniimash.ru/upload/iblock/ae3/Бродский%20И.Э._рус_.pdf (accessed July 20, 2021).
- [18] UrtheCast Hi-Res Camera Still Not Working but Solution (and More Cameras) are on the Way. *The Commercial Space Blog*. Available at: <http://acuriousguy.blogspot.com/2014/07/urthecast-hi-res-camera-still-not.html> (accessed July 20, 2021).
- [19] Sumarokov A.V. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Priborostroenie — Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument Engineering*, 2016, no. 4, pp. 85–97. DOI: 10.18698/0236-3933-2016-4-85-97
- [20] Stanilovskaya V.I. *Avtomatizatsiya planirovaniya poletov dolgovremennykh orbitalnykh kompleksov. Diss. kand. tekhn. nauk* [Flight planning automation for long-term orbital complexes. Cand. eng. sc. diss.]. Korolyov, 2008, 193 p.
- [21] Belyaev A.M. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii — Space Engineering and Technology*, 2016, no. 3 (14), pp. 91–99.
- [22] Brega A.N., Kovalenko A.A. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii — Space Engineering and Technology*, 2016, no. 2 (13), pp. 90–104.

- [23] Voronin F.A., Dunaeva I.V. *Vestnik Samarskogo universiteta. Aerokosmicheskaya tekhnika, tekhnologii i mashinostroenie — Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*, 2017, vol. 16, no. 1, pp. 20-30.
- [24] Pakhmutov P.A., Skorokhod S.A., Voronin F.A. Proyektirovaniye i realizatsiya sredstvami informatsionno-upravlyayushchey sistemy RS MKS eksperimenta po distantsionnomu zondirovaniyu Zemli s pomoschyu sistemy opticheskikh teleskopov [Design and implementation of the Earth remote sensing experiment by means of the ISS RS information control system using a system of optical telescopes]. *Materialy XXXIX Akademicheskikh chteniy po kosmonavtike, posvyaschennykh pamyati akademika S.P. Koroleva i drugikh vydayuschikhsya otechestvennykh uchenykh — pionerov osvoyeniya kosmicheskogo prostranstva* [Materials of XXXIX Academic Readings on Cosmonautics dedicated to the memory of Academician S.P. Korolev and other prominent Russian scientists — pioneers of space exploration]. Moscow, 2013, pp. 471–472.
- [25] Voronin F.A., Kartashev S.V., Nazarenko E.A. *Molodezhny nauchno-tekhnicheskiy vestnik* (Youth scientific and technical bulletin), 2014, no. 7, 26 p. Available at: <http://ainsnt.ru/doc/724789.html> (accessed July 20, 2021).
- [26] Belyaev A.M., Toporkov A.G., Ryazanov S.P., Baranov A.A. Osobennosti razrabotki programmnoy kompleksa na baze sredy matematicheskogo modelirovaniya STK [Features of the developing a software package based on the STK mathematical modeling environment]. *Materialy XXXIX Akademicheskikh chteniy po kosmonavtike, posvyaschennykh pamyati akademika S.P. Koroleva i drugikh vydayuschikhsya otechestvennykh uchenykh — pionerov osvoyeniya kosmicheskogo prostranstva* [Materials of XXXIX Academic Readings on Cosmonautics dedicated to the memory of Academician S.P. Korolev and other prominent Russian scientists — pioneers of space exploration]. Moscow, 2015, pp. 328. Available at: http://www.korolevspace.ru/sites/default/files/uploads/328_Beliaev%20A.M..pdf (accessed July 20, 2021).
- [27] STK Tutorial Using the Object Model. *AGI Product Help Center*. Available at: <http://help.agi.com/stk/LinkedDocuments/STKTutorial.pdf> (accessed July 20, 2021).
- [28] Map 2d. *Dark Sky maps*. Available at: https://maps.darksky.net/@cloud_cover (accessed July 20, 2021).
- [29] Overcast. *Dark Sky maps*. Available at: <https://darksky.net/forecast/40.7127,-74.0059/si12/en> (accessed July 20, 2021).
- [30] Norad. *CELESTRACK*. Available at: <https://www.celestrak.com/NORAD/documentation/spacetrk.pdf> (accessed February 17, 2022).

Toporkov A.G., 1st category spacecraft test engineer, S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia. e-mail: aleksey.toporkov@rsce.ru

Belyaev A.M., deputy head of department, S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia. e-mail: andrey.belyaev@rsce.ru