

Публичное акционерное общество «Ракетно-космическая корпорация
«Энергия» им. С.П. Королёва»

РЕФЕРАТ - ПРЕЗЕНТАЦИЯ

«Разработка технологии проведения экспериментальных
исследований с помощью транспортного грузового корабля
«Прогресс»

№	Ф.И.О. авторов, ученые степени и звания, должности по основному месту работы
1	Матвеева Татьяна Владимировна, заместитель начальника отдела-начальник сектора отдела планирования полетных операций космических кораблей, автоматических аппаратов и средств выведения ПАО «РКК «Энергия» (руководитель работы)
2	Аюкаева Диана Маратовна, ведущий инженер отдела обеспечения космических экспериментов и математического моделирования ПАО «РКК «Энергия»
3	Гурьев Дмитрий Николаевич, ведущий конструктор отдела по транспортно-техническому обеспечению МКС на базе космических кораблей «Союз» и «Прогресс» ПАО «РКК «Энергия»
4	Олейник Алексей Сергеевич, инженер-математик I категории отдела динамики и программного обеспечения систем управления движением и навигации ПАО «РКК «Энергия»
5	Сметанин Петр Станиславович, младший научный сотрудник оптико-физического отдела Института космических исследований Российской академии наук

Транспортные грузовые корабли (ТГК) «Прогресс» используются в программах полета орбитальных станций с 1978 года. ТГК «Прогресс» позволили не только доставлять на станции расходные материалы, новое оборудование и топливо, но и наращивать во время полета возможности станции по проведению научных экспериментов путем доставки новой исследовательской аппаратуры. Кроме того, ТГК «Прогресс» оказался перспективной платформой для проведения космических экспериментов как в составе орбитальной станции, так и в автономном полете. После выполнения своих основных задач в составе орбитальной станции ТГК «Прогресс» и отстыковки от нее ТГК нередко обладает остаточными ресурсами, позволяющими ему продолжить автономный полет, что можно использовать для решения различных экспериментальных задач. Целесообразность использования ТГК «Прогресс» для выполнения космических экспериментов (КЭ) в программе Международной космической станции (МКС) существенно возросла. Это связано с особенностями МКС, которая не обеспечивает всего спектра возможностей многоцелевой орбитальной лаборатории для проведения исследований и экспериментов. Кроме того, в силу международного характера проекта МКС и большого количества его участников многие вопросы проведения экспериментов на этой станции решаются более сложно, чем при их выполнении в автономном полете национальных космических аппаратов.

Реализация возможностей использования ТГК, особенно в условиях его автономного полета и на базе остаточных ресурсов, потребовала разработки специальных технологий.

В работе предложены технологии использования ТГК «Прогресс» в ходе его автономного полета для отработки новой аппаратуры, новых схем полета и методов проведения экспериментальных исследований в области микрогравитации, ДЗЗ, исследования атмосферы, запуска спутников и др.

Предложенные в работе технологии базируются на большом практическом опыте выполнения совместных полетов ТГК «Прогресс» с

МКС, новых оригинальных идеях использования ТГК для выполнения экспериментов и исследований, а также на проведенном анализе реализованных авторами предложений.

Для использования разработанных технологий потребовалось создание специальных методов и практических методик осуществления полетов ТГК «Прогресс» для выполнения экспериментальных работ и исследований.

В результате выполненных работ и исследований:

1. Созданы и реализованы технологии использования ТГК «Прогресс» для проведения экспериментальных работ и исследований, особенно в его автономном полете.

2. Разработаны методики планирования КЭ и их реализации в полете, моделирования условий движения ТГК «Прогресс», учета нештатных ситуаций при управлении ТГК в программе орбитальной станции, позволившие осуществить большое количество экспериментальных работ и исследований с помощью ТГК «Прогресс». Решение проблем управления ТГК на этом этапе потребовало разработки новых операций и режимов для проведения исследований с дополнительными требованиями и ограничениями, которые необходимо рассмотреть и учесть при управлении (привязка к заданным зонам видимости, формирование заданной орбиты, поддержание заданной ориентации и т.д.); решения задач оптимизации программы полета при проведении различных исследований (например, при планировании наблюдений), контроля состояния ТГК с учетом работы научной аппаратуры (НА), корректировки проведения КЭ по результатам проведенных сеансов КЭ, управления несколькими транспортными кораблями одновременно, поскольку другие транспортные корабли продолжают работать по программе МКС и т.д.

Разработанные подходы и методики позволили успешно выполнить отработку на ТГК «Прогресс» новой аппаратуры, новых схем сближения и стыковки, что позволило затем внедрить их в программу космического

корабля «Союз», провести различные КЭ по программе полета ТГК «Прогресс».

3. Разработаны новые способы проведения экспериментов и исследований в автономном полете ТГК, позволяющие надежно выводить на высокие орбиты спутники сложной конфигурации, осуществлять отработку на ТГК новых схем и технологий, исследовать верхние слои атмосферы с помощью тросовых систем, эффективно изучать земную поверхность, обеспечивать благоприятные условия для экспериментов в области микрогравитации и решать другие важные задачи, в том числе и для обороноспособности страны.

В предложенных способах спутники сложной конфигурации доставляются на МКС в виде нескольких частей: корпус, панели солнечных батарей, антенны. Перед отстыковкой ТГК они монтируются на поверхности ТГК во время выхода космонавтов в открытый космос. После этого осуществляется проверка работоспособности систем спутника. После отстыковки ТГК вместе со спутником переходит на требуемую орбиту, где и происходит отделение спутника.

Для изучения верхних слоев атмосферы на ТГК размещается капсула с исследовательской аппаратурой, связанная с ТГК тросовой системой. ТГК опускается до высоты ~180-200 км, ориентируется нужным образом и капсула выпускается в сторону Земли. Управление разворачиванием троса осуществляется с помощью аэродинамических сил и управляющих двигателей. Данная технология позволяет осуществить полет капсулы на высоте ~100-130 км.

При изучении земной поверхности с помощью ТГК маневры на спуск корабля выполняются таким образом, чтобы обеспечить прохождение ТГК над максимальным количеством исследуемых земных объектов.

4. Разработаны методы определения параметров вращательного движения ТГК «Прогресс» и уточнения параметров математической модели возмущений по телеметрической информации, учитывающие логику

функционирования бортовых систем ТГК, позволившие повысить устойчивость пассивных режимов ориентации ТГК при выполнении КЭ и определить его угловое движение и действующие квазистатические микроперегрузки в процессе проведения экспериментов.

5. Создана технология управления ТГК при проведении экспериментов в автономном полете, обеспечивающая минимальный или требуемый уровень микроускорений и достаточный энергоприход ТГК, внедренная и отработанная в полетах ТГК «Прогресс».

Созданная технология реализуется следующим образом. На ТГК «Прогресс», после выполнения им своих основных задач и функций, размещается НА для выполнения КЭ в области микрогравитации. После отстыковки от МКС ТГК корабль переводится в режим гравитационной ориентации. В работе предложены специальные режимы одноосной гравитационной ориентации, обеспечивающие достаточный энергоприход от Солнца и минимальный уровень микроускорений (обеспечивается $10^{-6}g$). Для реализации заданного уровня микроускорений выполняются специальные закрутки ТГК. Предварительно, для обеспечения устойчивого движения ТГК, уточняется тензор инерции корабля, который изменился вследствие перекачки топлива в МКС и замены размещаемых в ТГК грузов. С этой целью используются предложенные в работе способы определения тензора инерции космического аппарата.

С помощью созданной технологии обеспечивается минимальный или требуемый заданный уровень микроускорений, что важно, например, при изучении процессов конвекции с НА «Дакон-П», создаваемой в рамках КЭ «Изгиб».

6. Разработаны технические задания и документация для создания целого комплекса новой научной аппаратуры для экспериментов и исследований на ТГК «Прогресс». Решены вопросы интеграции научной аппаратуры в состав ТГК.

7. Разработанные технологии и методы использовались в Центре управления полетами Российского сегмента МКС (ЦУП РС МКС) в полетах 35 транспортных грузовых кораблей «Прогресс».

Интеграция выполненных исследований проводилась руководителем данной работы, который возглавляет группу планирования полета транспортных пилотируемых и грузовых кораблей в Главной оперативной группе управления в ЦУП РС МКС.

В ходе полетов грузовых кораблей с помощью разработанных технологий и методик проводились КЭ «Плазма-Прогресс», «Радар-Прогресс», «Изгиб», «Фазопереход», запуск спутника «Чиби́с-М» и др. Выполнены отработки двух новых модификаций ТГК и старта на новой модификации ракеты-носителя, отработки новой аппаратуры «Курс-НА», аппаратуры спутниковой навигации корабля «Прогресс», новых схем сближения и стыковки с МКС и др., что позволило затем успешно ввести их в программу полетов пилотируемых кораблей "Союз". Это обеспечивает большой экономический и социальный эффект от внедрения новых технологий. Кроме того, созданные технологии экспериментальных исследований применяются на остаточных ресурсах ТГК «Прогресс» после выполнения основных функций в программе МКС, что дает большой экономический выигрыш.

8. По результатам работы авторами опубликовано более 100 научных работ, в том числе в изданиях, индексируемых в Scopus, WoS. Оформлено 19 изобретений, получено 17 патентов, из которых используются 14 и по использованию 12 патентов оформлены акты внедрения.

По результатам работы авторы выступали на многих семинарах, конференциях и других научных форумах, в том числе и зарубежных.