

МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ МИКРОГРАВИТАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА БОРТУ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Одним из важнейших условий проведения экспериментов в области физики невесомости, космического материаловедения и биотехнологии на борту космических аппаратов (КА) является микрогравитация.

Предварительно проведенные расчетно-теоретические исследования по определению уровня остаточных микроускорений, достаточного для проведения большинства из планируемых микрогравитационных экспериментов, получили оформление в виде официального документа SSP41000D [1]. Кроме того существует обоснованное мнение о необходимости ужесточения требований к микрогравитационной обстановке на борту КА по сравнению с требованиями SSP41000D [2, 3, 4]. Перспективные требования отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Требования, предъявляемые к КА направлениями текущих и перспективных экспериментов, использующих состояние микрогравитации

№ п/п	Направление экспериментов	Необходимый уровень микроускорений	Время проведения	Энергопотребление
1.	Биотехнология	$10^{-4}g$	До 4-х недель	от 8 до 200 Вт [5]
2.	Физика жидкости	$10^{-7}-10^{-8}g$	До 30 суток, типично 1-2 часа	от 15 до 400 Вт [5]
3.	Космическое материаловедение	$10^{-7}g_0$	До 3-х месяцев	от 0,2 до 5 кВт [5]

Анализ перспективных требований, выдвигаемых постановщиками микрогравитационных экспериментов, а также анализ пилотируемых и автоматических КА, на которых могут проводиться микрогравитационные исследования («Space Shuttle», МКС, «Фотон-М», «Прогресс-М», «ОКА-Т»), показывает, что ни один из существующих КА в той или иной степени не удовлетворяет вышеприведенным требованиям. Причем на автоматических КА микрогравитационная обстановка лучше, чем на пилотируемых.

Таблица 2 – Основные характеристики отечественных КА, на которых могут проводиться эксперименты, использующие микрогравитацию

№ п/п	КА	Уровень микроускорений	Время автономного полета	Мощность выделяемая под Н
1.	РС МКС	$10^{-3}-10^{-4}g$ [6, 7]	до 15 лет	2,8 кВт*
2.	«Фотон-М»	$5 \cdot 10^{-6}-10^{-6}g$ [8]	14-16 суток [8]	800 Вт
3.	«Прогресс-М»	$10^{-6}g$	до 30 суток	200 Вт
4.	«ОКА-Т»	$10^{-5}-10^{-6}g$ [10]	до 180 суток [9]	2,5 кВт [9]

* Имеется в виду мощность, выделяемая под всю научную аппаратуру, а не только «микрогравитационную»

Из таблицы 2 видно, что в лучшей степени требованиям, предъявляемым к КА удовлетворяет разрабатываемый в настоящее время и обслуживаемый в инфраструктуре МКС автоматический КА «ОКА-Т». Однако, анализ прогнозируемой микрогравитационной обстановки на борту данного КА показал [10], что и на нем не удовлетворяются перспективные требования по микрогравитационной обстановке со стороны экспериментов по физике жидкости и космическому материаловедению ($10^{-7}-10^{-8}g$). Наибольший вклад в ухудшение микрогравитационной обстановки на борту «ОКА-Т» внесит работа системы управления движением (СУД) КА, которая должна вести непрерывно и параллельно с проведением технологических экспериментов (с целью поддержания постоянной солнечной ориентации КА для обеспечения максимального токасьема с панелей солнечных батарей и соответствующего обеспечения энергоснабжения экспериментальной аппаратуры) [10]. Существенный вклад в ухудшение микрогравитационной обстановки будет вносить и сила аэродинамического торможения, обусловленная большой площадью панелей солнечных батарей (СБ).

Для улучшения уровня микрогравитационной обстановки на борту «ОКА-Т» предлагается провести ряд мероприятий. Во-первых, во время проведения экспериментов по физике жидкости и космическому материаловедению использовать режим пассивной трехосной гравитационной стабилизации. При проведении серии экспериментов по измерению уровня микрогравитационной обстановки на ТК «Прогресс-М1» 24.05.2004 г. по 01.06.2004 г. было выявлено, что в режиме трехосной гравитационной стабилизации уровень микрогравитационной обстановки принимает более низкие значения, по сравнению с другими режимами стабилизации (от $3,01 \cdot 10^{-6}g$ до $0,6 \cdot 10^{-7}g$ в среднем $1,45 \cdot 10^{-6}g$) [11,12].

Во-вторых, энергетическое обеспечение «ОКА-Т» целесообразно построить на базе электрохимических генераторов (ЭХГ) с водород-кислородными топливными элементами (ТЭ), поскольку они обладают самыми низкими из существующих энергоустановок (ЭУ) вибрационными и акустическими характеристиками и подтвердили сво

высокую надежность работы в космических ЭУ («Джемини», «Аполло», «Спейс Шаттл», «Буран»). Дополнительным преимуществом этих установок является то, что наличие водорода и кислорода позволяет также получить высокопотенциальное тепло в каталитических нагревателях (~ 120 мДж/кг, температура ~ 2000 °С), которое можно использовать при проведении различного рода плавов на борту КА.

Хотя вибрационные и акустические характеристики ЭУ с ЭХГ в настоящее время довольно хороши, требование предельно низких значений микрогравитации на борту КА приводит к необходимости внимательного анализа возможных источников микроускорений служебных систем. Основными источниками возможных вибраций и связанных с ними микроускорений являются насосы, компрессоры, регулирующие устройства в редукторах, служебных системах и, в первую очередь, в системах терморегулирования, подачи водорода и кислорода, удаления продукта реакции – воды. В перспективных ЭУ необходимо будет отказаться от использования движущихся частей либо свести их число к минимуму.

Тепло электрохимической реакции может отводиться в окружающую среду с помощью тепловых труб – аналогично тому, как это сделано в никель-водородных аккумуляторных батареях спутника связи «Ямал-100» [13]. Воду необходимо отводить с помощью водопроводных фитилей, аналогично тому, как это было сделано в ЭУ с ТЭ космического аппарата «Джемини» [14].

Существует еще один источник возмущений – периодические продувки ТЭ избыточным количеством компонентов со сбросом компонентов и инертных примесей, всегда присутствующих в рабочих газах, в окружающее пространство. Такие продувки приведут к возникновению реактивной составляющей и, следовательно, к возмущениям КА. В этом случае дополнительная очистка газов перед подачей в топливный элемент позволяет резко увеличить время между продувками ЭХГ, а использование для сброса газов безмоментных сопел обеспечивает минимальные реактивные составляющие возмущений.

Особенностью ЭХГ является однократное использование исходных химических компонентов. Предлагается два варианта многократного использования H_2 и O_2 в ЭХГ.

Первый вариант предусматривает создание КА «ОКА-Т» с СБ, ЭХГ и электролизером с так называемой регенеративной ЭУ. При этом цикл работы «ОКА-Т» будет проходить в два этапа: на первом этапе – с помощью электрического тока, получаемого от СБ, вода будет разлагаться на H_2 и O_2 , а на втором этапе эти компоненты будут использоваться в ЭХГ с целью получения электроэнергии. На первом этапе возможно

проведение экспериментов, не требующих высокого уровня микрогравитации, например, экспериментов по биотехнологии или молекулярно-лучевой эпитахии. На втором этапе будет целесообразно перевести КА в режим пассивной трехосной гравитационной стабилизации. При этом СБ будут находиться в сложенном состоянии или развернуты в плоскости орбиты ребром к набегающему потоку, а СУД после окончания построения ориентации КА будет отключена. Таким образом, будут созданы условия для проведения экспериментов по физике невесомости и космическому материаловедению. На борту «ОКА-Т» наиболее целесообразно использовать электролизер щелочного матричного типа высокого давления со статической подачей воды. H_2 и O_2 для ЭХГ могут храниться либо в газообразном, либо в криогенном состоянии. Анализ показал, что наиболее перспективным является газобаллонное хранение реагентов с прямой «перекачкой» водорода и кислорода из электролизной установки в блоки хранения. Использование газобаллонного хранения реагентов ЭУ способствуют наличие опыта разработки конструкции композиционных баллонов с намоткой из высокопрочных нитей. Такие баллоны имеют хорошие массогабаритные характеристики и удобны при монтаже секций баллонов. Уровень их рабочего давления достигает 700 атм [15].

Второй вариант предусматривает создание космического комплекса «ОКА-Т» состоящего из двух КА – технологического КА с ЭХГ и научной аппаратурой и космической энергетической платформы (КЭП) с СБ и электролизером. На КЭП будет проходить электролитическое разложение воды на H_2 и O_2 , которые будут скапливаться в специальных емкостях, а на технологическом КА будут проводиться эксперименты с использованием электроэнергии, получаемой от ЭХГ. В процессе периодических стыковок КЭП и технологического КА с КЭП на КА будут перекачиваться H_2 и O_2 , а с КЭП на КЭП – вода. Таким образом, на технологическом КА будут созданы условия для проведения микрогравитационных экспериментов всех направлений. Достоинством данного варианта является то, что комплекс «ОКА-Т» может создаваться на базе разрабатываемой транспортной грузовой системы «Паром», включающей два КА: «межорбитальный буксир» и «грузовой контейнер». При соответствующих доработках «межорбитальный буксир» может использоваться как КЭП, а «грузовой контейнер» как технологический КА.

Библиографический список

1. Allen Karchmer "Microgravity Requirements for Baseline Scientific Research on the International Space Station" – MGMG #16, May 1997.

2. Земсков В.С., Белокурова И.Н., Раухман М.Р., Шалимов В.П. Неоднородность распределения компонентов в поперечных сечениях кристаллов, выращенных методом Бриджмена в космическом полете – результат гравитационной чувствительности расплава (обзор работ ИМЕТ РАН). // Тезисы. VII Симпозиум «Механика невесомости. Итоги и перспективы фундаментальных исследований гравитационно-чувствительных систем». 11-14 апреля 2000, М.: Изд. ИПМех. С.70-72.
3. Земсков В.С. Концепция космической системы для высоких технологий в условиях предельно низкой гравитации. // Тезисы II Российской конф. по космическому материаловедению (КМ-2003), Калуга: НИЦ Космического материаловедения, июнь 2003, С.56.
4. Жариков Е.В., Сенченков А.С., Егоров А.В. Низко-энергетические методы управления процессами массопереноса при получении материалов в космосе // Тезисы II Российской конф. по космическому материаловедению (КМ-2003), Калуга: НИЦ Космического материаловедения, июнь 2003, С.26.
5. Лукьященко В.И., Успенский Г.Р., Семенченко В.В., Елкин К.С., Левтов В.Л., Миронов В.И., Мухоян М.З., Бабкина Г.П., Прудкогляд В.О., Романов В.В., Цыбулин А.А. Научно-технический отчет № 851-0706/04-09-45-11/2005 «Разработка предложений в программу развития микрогравитационных исследований на период до 2020 года на базе использования запланированных ФКП России космических комплексов технологического назначения. Разработка и актуализация презентационных материалов по направлениям космической деятельности российской федерации в части космической технологии». ФГУП «ЦНИИ Машиностроения», г. Королев, 2005 г., С. 19-33, 37-46, 48-49.
6. Бабкин Е.В., Беляев М.Ю., Ефимов Н.И., Обыденников С.С., Сазонов В.В., Стажков В.М. Первые результаты определения микроускорений на российском сегменте Международной космической станции. Препринт ИПМ им.Келдыша РАН №83 за 2001 год.
7. Сазонов В.В., Беляев М.Ю., Стажков В.М., Ефимов Н.И., Бабкин Е.В. НТО «Анализ ожидаемой динамической обстановки на РС МКС в зоне размещения аппаратуры для исследования гравитационно-чувствительных процессов», ИПМ им. Келдыша – РКК «Энергия», сентябрь 2001 года.
8. Абрашкин В.И. Методы и средства повышения эффективности низкоорбитальной космической микрогравитационной платформы.// Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. ГНПРКЦ «ДСКБ-Прогресс», Самара, 2004 г., С. 23-24, 26.

9. Семенченко В.В., Елжин К.С., Прудкогляд В.О. Перспективный космический комплекс «ОКА-Т-МКС»// «Российский КОСМОС». 2006, № 7. С. 62-64.
10. НТО по разделу «ОКАТ-МФ», ЦНИИмаш, инв. №45-79, 2002 г.
11. Брюханов Н.А., Цветков В.В., Беляев М.Ю., Бабкин Е.В., Матвеева Т.В., Саза нов В.В. Экспериментальное исследование режимов неуправляемого вращательного движения КА «Прогресс», Препринт №43 за 2004 г., ИПИМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва.
12. Брюханов Н.А., Цветков В.В., Беляев М.Ю., Бабкин Е.В., Матвеева Т.В., Саза нов В.В. Эксперименты с неуправляемым вращательным движением КА «Прогресс», Препринт №83 за 2005 г., ИПИМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва.
13. Челябин В.Ф., Никитин В.А., Матрёнин В.И.. Батарея с металлогазовыми элементами. Патент РФ № 2118873 от 24.10.96.
14. Якименко Л.М., Модылевская И.Д., Ткачек З.А. «Электролиз воды», изд. «Химия», Москва, 1970г.
15. FY2002 Progress Report Hydrogen, Fuel Cells, and Infrastructure Technologies.