

Управление движением и навигация летательных аппаратов

УДК 681.51.012:531.5

Акулов В.А.

УПРАВЛЯЕМАЯ ГИПОГРАВИТАЦИЯ В ЗАДАЧАХ ПЕРСПЕКТИВНОЙ КОСМОНАВТИКИ

Введение

В мировой пилотируемой космонавтике появился новый термин «Дальний Космос». Под этим понимается комплекс проблем, связанных с переходом от орбитальных полётов на Международной космической станции (МКС) к межпланетным экспедициям. Для их осуществления требуется коренная модернизация процесса подготовки космонавтов, учитывающая существенное изменение профиля полёта и появление новых факторов [1-6]. Некоторые из [1-6], имеющие отношение к тематике статьи, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Фрагмент отличий условий на МКС и поверхности планетах

Наименование фактора	МКС	Луна (Марс)
1. Гипогравитация	Отсутствует	Присутствует
2. Пребывание в скафандре	Эпизодически	Ежедневное и длительное
3. Гистерезис отклика организма на переход через гипогравитацию	Отсутствует	Не исследован

Как следует из таблицы, к числу новых факторов, отсутствующих как на Земле, так и на МКС, относится сочетание многодневного пребывания людей в условиях гипогравитации (ускорение свободного падения на Луне в шесть раз ниже земного) и в скафандре. Что касается второго фактора, важно учесть следующие обстоятельства. Во-первых, давление в скафандре, газовый состав и ряд других показателей существенно отличаются от земных. Во-вторых, различаются атмосферы российского и американского скафандров, что внесёт определённые коррективы в процедуры подготовки экипажей. В-третьих, скафандр обладает определённой жёсткостью, которая необходима для минимизации его деформации в условиях глубокого вакуума, но которая препятствует любому движению конечностей человека, включая простейшее по земным меркам сгибание пальцев рук.

Таким образом, существует множество задач, которые необходимо решить на ранних этапах, предшествующих подготовке экипажей к освоению Дальнего космоса [4], [5], [7], [8]. В связи с этим особую актуальность приобретает проблема создания нового поколения тренажёров, обеспечивающих как выполнение сложных научных

экспериментов, так и тренировки экипажей в условиях, максимально приближённых к реальным. Речь идёт о системах «человек – тренажёр», адекватных системам «человек – поверхность планет (Луна/Марс)». Возможны два методических подхода к решению проблемы: разработка новых тренажёров и модернизация существующих. Очевидно, что второй подход предпочтительнее по ряду соображений, в числе которых сроки проектирования, изготовления и внедрения, а также общая стоимость и трудоёмкость. С указанных позиций целесообразно исследовать разновидность модернизации существующих тренажёров, не затрагивающую коренную реконструкцию их основных, наиболее сложных и дорогостоящих подсистем, а ограничиться выявлением и применением резервов. Такой подход далее разработан и назван «параметрической модернизацией» (ПМ).

В настоящее время основным тренажёром, предназначенным для решения гравитационных проблем космонавтов и пилотов скоростной авиации, являются центрифуги. В зависимости от конструкции ротора различают центрифуги короткого, среднего и большого радиуса [5], [7-9]. Главным достоинством последних является минимальная неоднородность поля центростремительных ускорений, что обеспечивает более полную адекватность модельного поля по отношению к моделируемому (Луна, Марс). К числу наиболее совершенных машин этого класса относится центрифуга ЦФ-18 Центра подготовки космонавтов (ЦПК) имени Ю.А. Гагарина [3-5], [7], [8]. Это обстоятельство, а также высокий профессионализм сотрудников Центра и имеющийся опыт совместных работ послужили основанием для выбора ЦФ-18 в качестве объекта исследования и следующей постановки задачи.

Целью исследования является теоретическая и экспериментальная оценка технического потенциала и экономической целесообразности параметрической модернизации длиннорADIUSНОЙ центрифуги ЦФ-18 под задачи освоения дальнего космоса.

Перечислим задачи исследования:

1. Разработка концептуальных основ параметрической модернизации ЦФ-18.
2. Теоретическая и экспериментальная оценка достижимости поставленной цели.
3. Определение направлений дальнейших исследований.

1. Концептуальные основы параметрической модернизации центрифуги ЦФ-

18

Концептуальную основу методологии ПМ составляют шесть принципов.

1. В качестве объекта исследований, выполняющего функцию генератора управляемой искусственной силы тяжести и обеспечивающего минимальную неоднородность силового поля, выбрана центрифуга большого радиуса ЦФ-18.

2. В качестве основного метода достижения цели выбрана ПМ, заключающаяся в обеспечении адекватности систем «человек – ЦФ-18» и «человек – поверхность планет (Луна/Марс)» за счёт выявления и применения технических и информационно-технологических резервов центрифуги.

3. Полностью исключаются какие-либо масштабные изменения конструкции ротора, силового привода, системы управления и других основных систем и узлов. Подобный подход обусловлен техническим совершенством ЦФ-18, высоким уровнем преемственности ранее отлаженных технологий, а также экономической целесообразностью.

4. Впервые предлагается одновременное пребывание во вращающейся среде ЦФ-18 двух человек в двух составах: два испытателя (космонавта); врач космической медицины и испытатель. Предлагаемое решение обеспечивает ускорение процесса подготовки экипажей, детальное исследование состояния человека в условиях, максимально приближенных к натурным (поверхность Луны и Марса) и наземную отработку методов и устройств, предназначенных для компенсации неблагоприятных факторов дальнего космоса.

5. Одновременно с имитацией гипогравитации предлагается воспроизведение атмосферы российского и американского скафандров, что отражает специфику освоения дальнего космоса (таблица 1).

6. Предлагается расширение номенклатуры измерительных устройств за счёт информационно-аналитической системы, разработанной и успешно апробированной самарскими специалистами. Система обеспечивает исследование динамики системы кровообращения с выявлением скрытых закономерностей методом распределённых четырёхполюсников, показавшим высокую эффективность в гидромеханике, акустике и сетевой электротехнике.

Обобщая изложенное, отметим два принципиально важных момента. Во-первых, в случае реализации перечисленных предложений ЦФ-18 преобразуется в прототип тренажёров экипажей межпланетных экспедиций, не имеющих ближайших аналогов. Во-вторых, особую значимость приобретает задача по обоснованию реальности ПМ.

2. Теоретическая и экспериментальная оценка реальности поставленной цели

К числу первостепенных задач ПМ относится определение режимов вращения, обеспечивающих моделирование гипогравитации планет, а также реальности их воспроизведения на ЦФ-18 (пункт 1 раздела 1). В таблице 2 представлены результаты расчётов, выполненных автором совместно со специалистами ЦПК.

Таблица 2 – Расчётная оценка режимов вращения

Планета	W, м/с ²	Параметры ротора центрифуги ЦФ-18			
		ω , с ⁻¹	N, об/мин	V, м/с	V _{окр} , км/час
1	2	3	4	5	6
Луна	1,62	0,3	2,86	5,4	19,4
Марс	3,71	0,454	4,34	8,17	29,4
Земля	9,81	0,738	7,05	13,28	47,8

Условные обозначения: W – ускорение свободного падения на поверхности планет, ω – угловая скорость вращения ротора ЦФ-18, N – частота вращения ротора, V – окружная скорость вращения в центре кабины (расстояние от оси вращения 18 м).

Примечание. Режим имитации гравитации Земли предусмотрен для оценки адекватности модельной и естественной силы тяжести.

В результате проведённого анализа установлено, что ресурсы центрифуги достаточны для получения требуемых режимов вращения. Таким образом, подтверждена реальность одного из основных принципов ПМ.

Второй принципиально важной задачей ПМ является оценка неоднородности центробежного ускорения, как фактора, определяющего адекватность модельного и объектового силовых полей (пункт 2 раздела 1). Как показали расчётные оценки, при имитации гипогравитации Луны (таблица 2) неоднородность не превышает 10% (напряжённость поля в радиальном направлении кабины находится в диапазоне [1,56 м/с², 1,72 м/с²]). Для сравнения на неоднородность значительно выше и достигает 100%. Полученный результат также свидетельствует о целесообразности предлагаемой модернизации (пункты 1-3 раздела 1).

К числу инновационных предложений ПМ (пункт 4 раздела 1) относится переход от одноместного варианта экипажа к двухместному, что предусмотрено конструкцией кабины, но ранее не применялось. В качестве подтверждения реальности предлагаемого решения была выполнена имитация процедуры подготовки испытуемых к экспериментам. Воспроизводилась одежда испытуемых, их размещение на ложементов, установка датчиков, транспортировка ложементов и их закрепление в кабине, размещение измерительной аппаратуры и т. п. Эксперимент прошёл успешно и показал, что требуется

некоторая несущественная корректировка штатной процедуры подготовки, обусловленная участием второго человека в сеансах вращения.

Важной задачей явилось обеспечение надлежащих условий профессиональной деятельности врача, как нового и активного участника экспериментов. Основные затруднения состоят в существенных отличиях кабины ЦФ-18 и медицинского кабинета: ограниченный объём, действие центробежного ускорения, дистанция с испытуемым, который тоже находится во вращении, размещение и закрепление аппаратуры и рядом других факторов. К большому сожалению, полноценная апробация процедуры не состоялась вследствие ремонта ЦФ-18, исключающего режимы вращения. Однако было найдено косвенное решение, заключающееся в применении автомобиля, совершающего круговое движение с воспроизведением линейной скорости и радиуса вращения ЦФ-18 (таблица 2). Как показал эксперимент, помехи, создаваемые вращением и ограниченным пространством, находятся в допустимых пределах.

К числу основных положений предлагаемой методологии относится воспроизведение газового состава скафандров (пункт 5 раздела 1). Именно сочетание атмосферы скафандров с имитацией гипогравитации планет создаёт реальные предпосылки по превращению ЦФ-18 в прототип перспективных тренажёров и устройств, обеспечивающих детальное исследование состояния космонавтов, находящихся на поверхности планет. Исследования, выполненные сотрудниками ЦПК, показали, что имеющиеся на ЦФ-18 устройства обеспечивают решение этой комплексной задачи.

Кроме коррекции режимов вращения потребовалось изменение пространственной ориентации кабины с таким расчётом, чтобы вектор центробежного ускорения, имитирующего гипогравитацию, действовал в направлении «голова – ноги», а не «грудь – спина», которая ранее применялась для имитации перегрузок, сопровождающих старт и спуск с орбиты космических аппаратов. Благодаря совершенству конструкции ЦФ-18 и опыту сотрудников ЦПК задача была решена простым разворотом кабины на угол 180 град относительно исходного положения. Важно отметить, что апробация процедуры, в значительной степени определяющей реальность предлагаемых решений, прошла успешно.

Таким образом, совместно с сотрудниками ЦПК имени Ю.А. Гагарина выполнен значительный объём теоретических и экспериментальных исследований, доказавший реальность превращения центрифуги ЦФ-18 в прототип нового поколения тренажёров, предназначенных для подготовки экипажей межпланетных экспедиций и выполнения

научных исследований. Поскольку часть исследований выполнить не удалось по причине ремонта ЦФ-18, сформулированы следующие перспективные направления.

- Уточнение режимов вращения с измерением распределения центробежного ускорения вдоль продольной оси кабины.
- Отладка процедуры подготовки экипажей к тренировкам и научным исследованиям с выполнением пробных сеансов вращения и апробацией модернизированной информационно-измерительной системы.
- Опытная эксплуатация модернизированной центрифуги с накоплением статистических данных о состоянии экипажей, находящихся в условиях, максимально приближенных к реальным (поверхность Луны и Марса).
- Техническая и технологическая оценка результатов испытаний и внесение необходимых корректив.
- Продолжение исследований по применению автомобилей в качестве моделей центрифуг сверхбольшого радиуса (десятки и сотни метров), как доступного и экономически целесообразного способа устранения неоднородности поля центробежных ускорений.

Заключение

1. Разработаны и апробированы основы инновационной технологии по превращению всемирно известной центрифуги ЦФ-18 (ЦПК имени Ю.А. Гагарина) в прототип тренажёра экипажей межпланетных экспедиций. Методологическую основу технологии составляет принцип параметрической модернизации, согласно которому для достижения поставленных целей выявляются и применяются скрытые технические и информационно-технологические резервы оборудования и исключаются масштабные доработки наиболее сложных и дорогостоящих узлов (ротор, силовой привод, система управления и т. п.).

2. Новизну предлагаемых решений составляют следующие положения:

- переход от моделирования перегрузок на ЦФ-18 к моделированию гипогравитации Луны и Марса с обеспечением минимальной неоднородности поля центростремительных ускорений;
- воспроизведение газового состава российского и американского скафандров, предназначенных для работы в открытом Космосе;
- одновременное участие в сеансах вращения двух человек с целью ускорения процессов подготовки экипажей и детальных исследований их состояний в

условиях, максимально приближенных к объектовым (многосуточное пребывание на поверхности Луны и Марса в скафандрах);

- оценка состояния испытуемых с применением аппаратуры, разработанной самарскими специалистами, в которой реализованы методы теории распределённых четырёхполюсников.

3. В результате теоретических и экспериментальных исследований установлено, что в случае реализации предлагаемых решений в полном объёме функциональные возможности центрифуги ЦФ-18 существенно расширяются, и она преобразуется в прототип нового поколения тренажёров, предназначенных для подготовки экипажей межпланетных экспедиций и выполнения уникальных научных исследований, не имеющих ближайших аналогов как в РФ, так и за рубежом.

4. Сформулированы направления дальнейших исследований, целью которых является апробация предлагаемой технологии и опытная эксплуатация модернизированной центрифуги с оценкой её эффективности как средства, предназначенного для решения задач перспективной космонавтики.

Библиографический список

1. Федеральная космическая программа России на 2016–2025 годы.
2. Курицын А.А., Чеботарев Ю.С. Анализ перспектив развития мировой пилотируемой космонавтики // Материалы XIII МНПК «Пилотируемые полёты в космос», Центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина. –2019. - С 11.
3. Хрипунов В.П. Основные направления и проблемы инновационного развития и создания ТСПК для перспективных пилотируемых программ / Хрипунов В.П., Наумов Б., Сосюрка Ю.Б. // Материалы XIII МНПК «Пилотируемые полёты в космос», Центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина. – 2019. - С 163.
4. Поляков А.В., Усов В.М., Крючков Б.И., Косачев В.Е., Михайлюк М.В., Мотиенко А.И. Компьютерное моделирование жизнеугрожающих ситуаций и проведения аварийно-спасательных, медицинских и эвакуационных мероприятий на лунной базе // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2019. – Т. 53. – № 3. – С. 13-19.
5. Долгов П.П. Направления исследований и задачи подготовки космонавтов на центрифугах в интересах перспективных космических программ. / Долгов П.П., Киршанов В.Н., Гаврик И.Н. // Материалы XIII МНПК «Пилотируемые полёты в космос», Центр подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина. –2019. - С 205.
6. Whiteley I., Bogatyreva O. Toolkit for a space psychologist to support astronauts in exploration missions to the Moon and Mars. 2018 / UK, 254.
7. Акулов В.А., Анализ и синтез систем медицинского назначения с управляемой искусственной силой тяжести // дисс. докт. наук, Самара: 2013, 252 с.

8. Козловская И.Б., Система профилактики в длительных космических полетах / И.Б. Козловская, И.Д. Пестов, А.Д. Егоров // Авиакосмическая и экологическая медицина – 2008. – Т. 42, № 6. – С. 66-73.

9. Котовская А.Р., Виль - И.Ф. Вильямс, Лукьянюк В.Ю. Проблема создания искусственной силы тяжести с помощью центрифуги короткого радиуса для медицинского обеспечения межпланетных пилотируемых полетов // Авиакосмическая и экологическая медицина. М: 2003. Т. 37, №5. С. 36-39.