



МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В.А. Акулов

ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ЦЕНТРИФУГАМИ В ЗАДАЧАХ ОСВОЕНИЯ ДАЛЬНОГО КОСМОСА

(Самарский государственный технический университет)

Постановка задачи «Федеральная космическая программа на 2016 – 2025 годы» предусматривает переход от орбитальных полётов человека на Международной космической станции (МКС) к освоению «дальнего космоса». Под этим понимаются длительные, продолжительностью до 20 – 30 суток, пребывания экипажей на поверхности Луны и Марса с выполнением значительного объёма научных и прикладных исследований. Аналогичные программы приняты в США, Китае и других странах.

Необходимо отметить, что переход от орбитальных полётов к освоению дальнего космоса сопровождается появлением нового качества. Прежде всего, существенно усложняется «профиль полётов» [1] – [4]. Под этим понимается формирование новых внешних факторов, отсутствующих на МКС, в числе которых – гипогравитация планет. Как известно, ускорение свободного падения на поверхности Луны в 6 раз меньше земного, а на поверхности Марса в 2,5 раза. При длительном пребывании людей в этих условиях неизбежны соответствующие отклики организма человека, которые изучены недостаточно. Прежде всего, гипогравитация, как аномальный фактор, снижает работоспособность человека. Кроме того, в отличие от МКС предстоит ежедневная многочасовая работа в скафандре на поверхности планет, которая сопряжена с приложением значительных усилий по преодолению его сопротивления («эффект волейбольного мяча»). Разрешение указанных противоречий требует существенной модернизации процесса подготовки космонавтов, разработки и применения новых тренажёров, имитирующих гипогравитацию и новых методик медицинского обеспечения полётов [1] – [4].

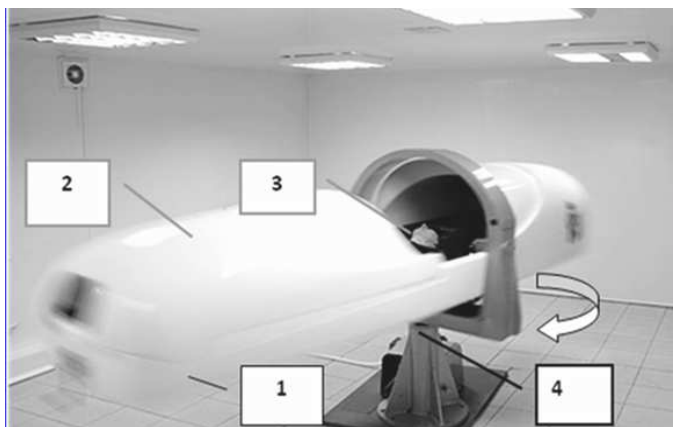


Рис. 1. Общий вид системы «человек – ЦКР».

Обозначения: 1. Ротор – горизонтальный стол. 2. Кабина пациента. 3. Пациент в позе «лёжа», ногами к периферии. 4. Ось вращения

В конечном счёте речь идёт о создании центробежного ускорения, эквивалентного по воздействию на человека со стороны ускорения свободного падения на поверхности планет (гипогравитации). В свою очередь, проблема имитации гипогравитации формирует ряд новых задач. Во-первых, необходимо создать внутри поля естественной силы тяжести (ЕСТ) Земли локальное поле искусственной силы тяжести (ИСТ), существенно (в 6 и 2,5 раза) меньшей напряжённости. Во-вторых, необходимо преодолеть неоднородность поля ИСТ, создаваемого ЦКР, которая следует из известной формулы

$$G_{цб} = \omega^2 r / g, \quad (1)$$

где $G_{цб}$ – перегрузка в радиальном направлении, обусловленная действием центробежного ускорения (индекс «цб»); ω – угловая скорость вращения ротора ЦКР; r – текущий радиус, g – ускорение свободного падения у поверхности Земли ($9,81 \text{ м/с}^2$).

Как следствие неоднородности ИСТ, при вычислении частоты вращения ЦКР из условия моделирования ЕСТ планет (Земля, Луна и Марс), возникают две неопределённости. Одна из них обусловлена местом приложения ИСТ, а другая – её величиной. Для преодоления создавшегося затруднения разработаны алгоритмы управления ЦКР, обеспечивающие адекватность ИСТ и ЕСТ, включая гипогравитацию [5]. Их основу составляет энергетический критерий адекватности δ , учитывающий значительное число параметров системы «человек – ЦКР» и имеющий вид

$$\delta = \left(\frac{\omega^2}{3\beta g} \frac{h^3 - r_1^2 (3h - 2r_1)}{(h - r_1)^2} - 1 \right) \cdot 100\%. \quad (2)$$

Здесь h – рост пациента, r_1 – расстояние от оси вращения до сердца, β – коэффициент, учитывающий уровень гипогравитации (для Земли $\beta = 1$, для Луны $\beta = 1/6$, для Марса $\beta = 0,4$).

Как следует из (2), если $\delta = 0$, ЦКР обеспечивает минимум отличий ИСТ и ЕСТ. Если $\delta > 0$, ЦКР создаёт повышенную нагрузку на человека по сравнению с ЕСТ. Если $\delta < 0$, ЦКР занижает нагрузку.

Следует отметить, что номенклатура устройств, генерирующих искусственную гипогравитацию в наземных условиях, ограничен. К их числу относятся короткорadiusные центрифуги (ЦКР). [1] - [5]. В результате формируется сложная система класса «человек – ЦКР» (рис. 1).



Значимость формулы (2) состоит в том, что она, в отличие от традиционных алгоритмов управления ЦКР, количественную основу которых составляет перегрузка на периферийном радиусе (+Gz) [2], обеспечивает выработку управляющей информации, необходимой для имитации гипогравитации Луны и Марса. Так как управляющая информация определяется теоретически (модель систем «человек – ЦКР»), возникает новая задача по оценке её достоверности. В связи с отсутствием в ближайшей и среднесрочной перспективе возможности прямых экспериментов на Луне и Марсе формируется следующая задача целеполагания.

Цель исследований. Разработка методики, предусматривающей косвенную оценку достоверности алгоритмов управления системами «человек – ЦКР» в задачах имитации факторов гипогравитации Луны и Марса в наземных условиях.

Методика и результаты исследований. Основу методики составляет оценка состояний человека (сходства и различий), полученных при ортостазе на Земле (эталон) и его имитации при вращении на ЦКР (модель). На рис. 2 представлены результаты экспериментальных исследований отклика организма группы испытуемых на воздействие со стороны ИСТ, создаваемой ЦКР. В качестве основного параметра, характеризующего состояние человека (системы кровообращения), выбран лодыжечно-плечевой индекс (ЛПИ). С точки зрения гидродинамики он характеризует перепад давления по схеме «рука – нога», т. е. в концевых сечениях периферической гемодинамики. Такой выбор определяет как медицинскую, так и техническую значимость ЛПИ.

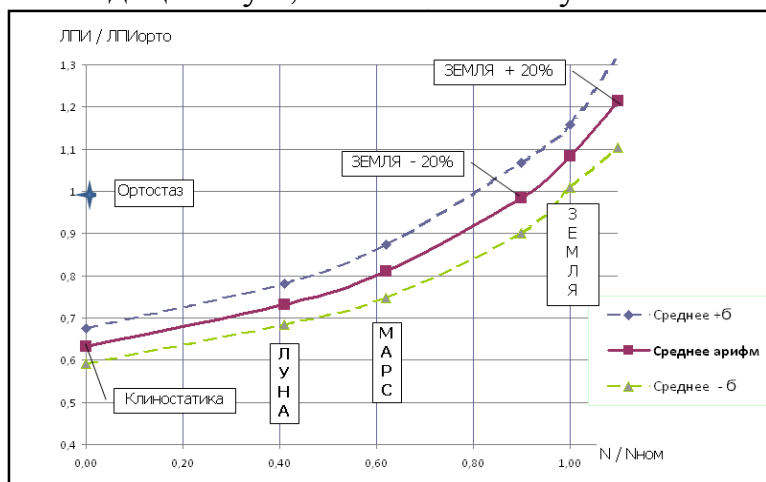


Рис. 2. Обобщённая зависимость относительно-го ЛПИ от относительной частоты вращения ротора ЦКР

Из рис. 2 следует ряд важных утверждений. Во-первых, состояние периферической гемодинамики в условиях гипогравитации (позиции «Луна», «Марс») близко к невесомости («клиностастика»). Во-вторых, получены данные, необходимые для оценки достоверности алгоритмов управления. Как следует из рис. 2, модельные данные (позиция «Земля») выше эталонных (точка «ортостаз» на вертикальной оси) примерно на 0,1. Это отличие вполне допустимо и

Расчёт управляющих воздействий (индивидуальная частота вращения пациентов) выполнен по формулам, следующим из (2). В целях обобщения результатов исследований применены безразмерные координаты, как по оси абсцисс (частота вращения), так и по оси ординат (безразмерный ЛПИ). За единицу принят ЛПИ в позе «ортостаз» (норма).



обусловлено нелинейностью инерционного давления, создаваемого центрифугой (гидромеханические подробности не приводим).

В целях повышения достоверности результатов, кроме режимов имитации ортостаза были предусмотрены два дополнительных режима «Земля - 20%», «Земля + 20%». Как следует из рис. 2, все, без исключения, исследуемые режимы, подчиняются единой закономерности (единая регрессия, которая показана сплошной линией). Так как режимы имитации факторов гравитации Земли и гипогравитации Луны и Марса рассчитаны по единой модели (2), есть все основания полагать, что подобные расхождения, составляющие порядка 10%, имеют место и при имитации гипогравитации Луны и Марса. Кроме того, следует учесть, что уровни ЛПИ в условиях гипогравитации существенно ниже, чем на Земле, а, следовательно, ниже и сами абсолютные значения отличий.

Заключение. Предлагаемая методология обеспечивает достаточную для практических целей, в числе которых тренировки экипажей и модернизация тренажёров для космонавтов, достоверность имитации факторов гипогравитации Луны и Марса.

Литература

[1] О. Г. Газенко, А. И., Григорьев, А. Д. Егоров. От 108 минут до 438 суток и далее... (к 40-летию полета Ю. А. Гагарина) // Авиакосмическая и экологическая медицина. М: 2001. Т. 35, №2. С. 10-11.

[2] А. Р. Котовская, И. Ф. Виль - Вильямс, В. Ю. Лукьянюк. 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.

[3]. П. П. Долгов, В. Н. Киршанов, А. П. Чудинов. Основные направления работ на центрифугах и их целевого применения // Материалы XI Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полёты в космос», посвященной 55- летию ФГБУ НИИЦПК имени Ю. А. Гагарина, 10 - 12 ноября 2015. С. 267 - 268.

[4] V. Zander, R. Anken. Short radius Centrifuge – A New approach for Life Science Experiments Under Hyper-g Conditions for Application in Space and Beyond /Recent Patents on Space Technology, 2013, 3. P 74-81.

[5]. В. А Акулов. Анализ и синтез систем медицинского назначения с управляемой искусственной силой тяжести // дисс. докт. наук, Самара: 2013, 252 с.