

В. А. АКУЛОВ, В. Л. БАЛАКИН

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, Самара

П. П. ДОЛГОВ

Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина,
Звёздный городок Московской области

КОНЦЕПЦИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ДЛИННОРАДИУСНОЙ ЦЕНТРИФУГИ ПОД ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДАЛЬНОГО КОСМОСА

Представлена расчётно-экспериментальная оценка потенциальных возможностей длиннорадиусной центрифуги ЦФ-18 ЦПК имени Ю. А. Гагарина) по моделированию гипогравитации Луны и Марса и созданию на её основе прототипа тренажёра для подготовки экипажей межпланетных экспедиций. В основу исследований положен принцип параметрической модернизации, состоящий в корректировке эксплуатационных параметров (режимы вращения, состав информационно-аналитической системы, пространственная ориентации кабины и её газовый состав) и не требующий дорогостоящих вмешательств в основные механические и энергетические системы

Введение. Как свидетельствует более, чем полувековой опыт пилотируемой космонавтики, её достижения в значительной степени определяются качеством наземной подготовки экипажей. Подготовка осуществляется в специализированных центрах (РФ, Китай, США) с применением тренажёров, создающих локальную среду, максимально приближённую по параметрам к космическим условиям. Примерами служат центрифуги (ЦФ) и специализированные водные бассейны. На ЦФ имитируются перегрузки, сопровождающие старт и приземление космических аппаратов, а бассейны служат для отработки навыков вне корабельной деятельности космонавтов.

В настоящее время возникла необходимость в создании нового поколения тренажёров, обеспечивающих подготовку экипажей межпланетных экспедиций (освоение Дальнего Космоса) [1]–[6]. Одним из подходов к решению названной проблемы является модернизация существующих тренажёров. В статье такой подход применён к всемирно известной центрифуге ЦФ-18 (ЦПК имени Ю. А. Гагарина).

Объект исследований. Мехатронная система «Человек – длиннорадиусная центрифуга ЦФ-18» (рис. 1, 2).



Рис. 1. Общий вид центрифуги ЦФ-18.
На переднем плане участники XII Международной конференции «Пилотируемые полёты в Космос»



Рис. 2. Общий вид двухместной кабины со стороны входа. Люки открыты

Выбор объекта обусловлен следующими факторами. Во-первых, ЦФ-18 является одним из наиболее совершенных тренажёров, применяемых в мировой космонавтике [3], [4]. Во-вторых, ЦФ-18 относится к категории длиннорадиусных центрифуг (радиус вращения 18 м), что обеспечивает минимальную неоднородность гравитационного поля по сравнению с ЦФ среднего (8–10 м) и короткого радиуса (2 м) [2], [5], [6]. В-третьих, кабина ЦФ-18 двухместная, что

существенно расширяет объём исследований (рис. 2). В-четвёртых, положение кабины в пространстве управляемое, что обеспечивает многообразие направлений воздействия со стороны искусственной силы тяжести. В-пятых, ЦФ оснащена системой регулирования газового состава кабины, что позволяет имитировать атмосферу скафандров, предназначенных для внекорабельной деятельности. В-шестых, обслуживающий персонал обладает высокой квалификацией и многолетним опытом работы с космонавтами.

Цель исследований. Расчётно-экспериментальные исследования потенциала длиннорадиусных центрифуг по созданию прототипа тренажёров, обеспечивающих длительную имитацию гипогравитацию Луны и Марса с воспроизведением газового состава российского, американского скафандров и выполнению научных исследований по космической медицине.

Задачи исследований. 1) Разработка технологической схемы испытаний системы «экипаж - длиннорадиусная центрифуга ЦФ-18», обеспечивающей исследование отклика организма человека на вариации гравитационной нагрузки в диапазоне «модельная невесомость – гипогравитация Луны – гравитация Земли».

2) Расчёт режимов вращения, имитирующих гипогравитацию Луны и Марса. Оценка их реализуемости существующей системой управления.

3) Расчётная оценка градиентов перегрузок в направлении «голова - ноги», возникающих при имитации гипогравитации Луны (однородность искусственной силы тяжести).

Методы исследований. Полноразмерные эксперименты с применением принципа параметрической модернизации, заключающегося в выявлении резервов объекта исследований, корректировке эксплуатационных параметров (режимы вращения, состав информационно-аналитической системы, пространственная ориентации кабины, её газовый состав и т. п.). При этом исключаются дорогостоящие доработки основных систем ЦФ (конструкция ротора, привода, системы управления и безопасности), что обеспечивает экономическую целесообразность и значительное сокращение сроков создания и отладки нового поколения тренажёров, предназначенных для подготовки космонавтов и выполнения научных экспериментов.

Результаты исследований. В результате исследований получены новые знания и решены следующие задачи.

1. Разработана и апробирована технологическая схема испытаний мехатронной системы «человек – ЦФ-18», обеспечивающая детальную оценку состояния человека с вариацией величины и направления воздействия со стороны гравитационной нагрузки в широких пределах, включая невесомость, гипогравитацию Луны и Марса, земную гравитацию.
2. Рассчитаны режимы вращения, обеспечивающие имитацию гипогравитации Луны и Марса. В частности, напряжённость гравитационного поля Луны имитируется при угловой скорости вращения ротора $\omega = 0,3 \text{ с}^{-1}$ (окружная скорость кабины $V = 5,4 \text{ м/с}$).
3. Установлено, что при имитации лунной гипогравитации неоднородность поля в пределах роста человека не превышает 10%, что важно с точки зрения адекватности модельного поля. Для сравнения: неоднородность поля короткорadiусных ЦФ, широко применяемых в космической медицине составляет 100% [2], [5], [6].
4. Апробирована процедура пространственной ориентации кабины, необходимая для создания воздействия по схеме «голова – ноги» (имитация вертикальной позы космонавтов на поверхности планет).
5. Установлено, что имеющегося на ЦФ-18 оборудования достаточно для одновременной имитации гипогравитации планет и газового состава скафандров. Такое сочетание факторов обеспечивает минимизацию отличий модельных и натуральных условий и, что немаловажно, не имеет ближайших аналогов.
6. Впервые предусматривается одновременное вращение двух испытуемых, причём при двух вариантах комплектования экипажа. Вариант 1: два космонавта (испытуемых) для ускоренной подготовки экипажей. Вариант 2: испытуемый и врач, осуществляющий диагностику состояний человека, находящегося в условиях, приближенных к реальным, причём, в темпе испытаний и с применением методов доплерографии.
7. Впервые во вращающейся среде применяется информационно-аналитическая система, построенная на основе теории четырёхполосников (распределение давления и скоростного потока в системе кровообращения), показавшая высокую эффективность по выявлению скрытых закономерностей периферической гемодинамики.

Заключение. Исследования, выполненные специалистами Самарского университета и Центра подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина, доказали целесообразность и перспективность предлагаемых решений, предназначенных для расширения функций центрифуги ЦФ-18 с последующим её превращением в прототип тренажёров экипажей межпланетных экспедиций, не имеющих ближайших аналогов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральная космическая программа
2. **Котовская А.Р., Виль-Вильямс И.Ф., 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.
3. **Падалка Г.И., Долгов П.П., Киришинов В.Н.** Задачи подготовки космонавтов на центрифугах по перспективным космическим программам // *Материалы «Космического форума 2011, посвященного 50-летию полета в космос Ю.А. Гагарина»*. ФГБУ НИИЦПК, 18–19 октября 2011.
4. **Долгов П.П., Киришинов В.Н., Чудинов А.П.** 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.
5. **Акулов В.А.** Анализ и синтез систем медицинского назначения с управляемой искусственной силой тяжести: Дис. ... докт. наук / Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва Самара. 2013, 252 с.
6. **Zander V., Anken R.** 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.

V. A. Akulov, V. L. Balakin (Samara University, Samara), P. P. Dolgov (Yu.A. Gagarin Research & Testing for Cosmonaut Training Center, Star City of the Moscow Region)

The Concept of Parametric Modernization of a Long-Radius Centrifuge for the Problem of Development of Far Space

The paper presents a computational and experimental assessment of the potential capabilities of the long-radius centrifuge CF-18 (GCTC named after Yu.A. Gagarin) for modeling the hypogravity of the Moon and Mars, and creating a prototype simulator for training interplanetary expedition crews on its basis. The research is based on the principle of parametric modernization, which consists in correcting operational parameters (rotation modes, the composition of the information and analytical system, the spatial orientation of the cabin and its gas composition) and does not require expensive interventions in the main systems.