

Динамическая имитация аэрокосмических полетов

В.А. Садовничий, В.В. Александров

Дается краткое описание математического обеспечения сквозного моделирования аэрокосмического полета, осуществленного впервые в мировой практике подготовки космонавтов.

Начиная с 1903 года, когда К.Э. Циолковский провел свои первые эксперименты на центрифуге, исследователи во многих странах пытались моделировать космический полет на динамических стендах. В 1977 году в этом направлении начала свою деятельность группа сотрудников Московского Государственного Университета им. М.В. Ломоносова (МГУ) и Центра подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина (ЦПК), состоящая из математиков, механиков, медиков, программистов и инженеров. В течение десяти лет было разработано математическое обеспечение сквозного моделирования всех трех этапов аэрокосмического полета на динамическом стенде, состоящем из центрифуги с управляемым кардановым подвесом, кабины с регулируемым креслом и полускафандром (рис. 1). Приоритет по полученным результатам был закреплен в 1987 году авторским свидетельством № 1400443 "Способ имитации перегрузок, действующих на организм человека в полете".

Даем краткое описание математического обеспечения процедуры динамической имитации всех трех этапов аэрокосмического полета: подъема на орбиту, орбитального полета и управляемого спуска с орбиты.

Имитация перегрузки при подъеме на орбиту осуществлялась ранее на центрифуге, представляющей собой консоль, на конце которой размещена кабина в свободной подвеске. Наличие управляемого карданова подвеса (рис. 1) позволило с помощью разработанных алгоритмов [1] улучшить качество динамической имитации вплоть до создания иллюзии "кувырка" на орбиту.

Имитация отдельных факторов орбитального полета — полета в условиях невесомости — известно давно. Это, например, тренировки космонавтов в гидробассейне и т.д. В группе МГУ — ЦПК была высказана гипотеза о возникновении на начальном участке орбитального полета сенсорного конфликта невесомости [2]. Затем было проведено математическое моделирование функционирования физиологических систем, ответственных за формирование этого конфликта, — системы кровообращения и вестибулярной

Динамический тренажерно-исследовательский комплекс на базе центрифуги ЦФ-18

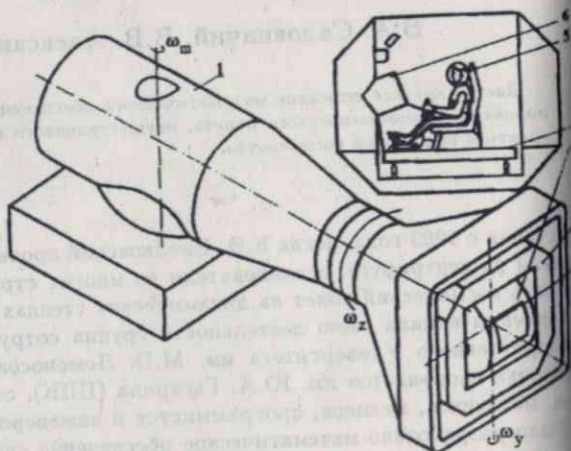


Рис. 1

Пояснения к рисунку 1.

- 1 — консоль центрифуги;
- ω_M — угловая скорость вращения консоли;
- ω_z — угловая скорость поворота внешнего кольца карданного подвеса;
- 2 — внутреннее кольцо карданова подвеса;
- ω_y — угловая скорость поворота внутреннего кольца;
- 3 — кабина;
- $\sqrt{\omega_z}$ — угловая скорость поворота кабины;
- 4 — подвижная платформа;
- 5 — подвижная спинка кресла;
- 6 — монитор для визуальной имитации полета

системы. Были разработаны конечномерные математические модели перераспределения масс циркулирующей крови в условиях перегрузок и невесомости и функционирования полукружных каналов и отолитовых органов вестибулярной системы [1]. Наличие этих моделей позволило провести сравнительный анализ различных функциональных схем динамических стендов и показать, что имитация сенсорного конфликта невесомости возможна на стенде, состоящем из: 1) центрифуги; 2) управляемого двухступенного карданова подвеса на конце консоли центрифуги; 3) кабины с регулируемым давлением воздуха внутри; 4) полускафандра для нижней части корпуса испытуемого. Был разработан алгоритм управления движением стенда с целью имитации сенсорного конфликта невесомости. Параметры алгоритма выбираются с учетом медицинских данных испытуемого. Контрольные эксперименты дали полное подтверждение правильности гипотезы: космонавты, ранее участвовавшие в реальных полетах, по объективным и субъективным показателям испытывали аналогичные ощущения и в эксперименте; и, наоборот, у кандидатов в космонавты, побывавших на орбите после контрольного эксперимента, реакции организма на сенсорный конфликт невесомости совпали. Таким образом, впервые в мировой практике космических исследований стала возможной последовательная имитация перегрузки при подъеме на орбиту и невесомости на начальном участке (порядка суток) орбитального полета.

Наибольшие трудности возникли при разработке математического обеспечения динамической имитации третьего этапа аэрокосмического полета — управляемого спуска с орбиты. Дело в том, что реальное движение летательного аппарата (ЛА) имитируется совершенно непохожим движением частей динамического стенда: 1) угловыми движениями консоли центрифуги, колец карданова подвеса и кабины; 2) малыми поступательными движениями кресла; 3) изменением давлений воздуха в кабине и полускафандре. Задача динамической имитации управляемого спуска формулируется как задача векторной оптимизации, где два скалярных функционала качества имеют физический смысл нормы разности траекторных перегрузок и нормы разности угловых ускорений. Алгоритм, реализующий приближенное решение этой задачи в ускоренном режиме времени интегрирует уравнения управляемого спуска по данным, поступающим с органов ручного управления, находящихся в кабине центрифуги. Затем осуществляется декомпозиция движения ЛА на траекторное движение и движение вокруг центра масс ЛА. По информации о траекторной перегрузке ЛА вырабатываются управляющие сигналы в режиме реального времени — командная угловая скорость вращения консоли для имитации модуля вектора перегрузки и частота поворотов колец карданова подвеса для имитации ориентации вектора перегрузки. Благодаря тому, что гравирецепторы человеческого организма имеют пороги чувствительности, появляется возможность в пределах этих порогов осуществлять дополнительные быстрые малые повороты консоли и кабины. Выбор этих малых угловых перемещений осуществляется в результате решения задачи минимизации второго функционала — нормы



Рис. 2

разности угловых ускорений. При этом используются все три степени карданова подвеса. Благодаря декомпозиции исходного движения ЛА, алгоритм динамической имитации управляемого спуска реализован в виде параллельно функционирующих программ построения одномерных имитирующих движений. Таким образом, этот алгоритм является композиционным и реализуется в рамках локальной сети мини-ЭВМ при наличии быстрой связи. Общая схема полного алгоритма динамической имитации всех трех этапов аэрокосмического полета [3] представлена на рис. 2.

С июня 1993 года разработанное группой МГУ-ШПК математическое обеспечение эксплуатируется в штатном режиме для тестирования, диагностики и тренировок кандидатов в космонавты России, стран СНГ и европейских стран — Франции, Испании, Германии и др.

Следует отметить, что благодаря разработанному математическому обеспечению динамической имитации всего аэрокосмического полета появилась принципиальная возможность разработки и создания различных динамических тренажеров на базе данного комплекса:

- 1) тренажера по управлению космическими манипуляторами в условиях имитации сенсорного конфликта невесомости;
- 2) тренажера по управлению относительным перемещением на орбите;
- 3) тренажеров групповых полетов в условиях перегрузок или невесомости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) Александров В.В., Садовничий В.А., Чугунов О.Д. Математические задачи динамической имитации полета. — Изд-во МГУ, 1986. — 180 с.
- 2) Воронин Л.И., Глазков Ю.Н., Каспранский Р.Д., Александров В.В., Садовничий В.А. Моделирование сенсорного конфликта невесомости // Международная научно-практическая конференция "Профессиональная деятельность космонавтов и пути повышения ее эффективности". — Тезисы докладов. — 6-7 октября 1993. — Звездный городок, Россия.
- 3) Alexandrov V.V., Voronin L.I., Mamasuev A.V., Sadovnich V.A. Through simulation of aerospace flight // Flight simulation-92. — International Conference Proceedings. — 11-16 August, 1992. — Zhukovski, Russia.