

Коррекция алгоритма имитации состояния невесомости на центрифуге**Научный руководитель – Бугрий Григорий Степанович****Макарова Анна Игоревна***Студент (специалист)*

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Факультет космических исследований, Москва, Россия

E-mail: annamakarova15@mail.ru

Выведение космического аппарата на орбиту сопровождается переходом к невесомости, что вызывает у космонавта сенсорный конфликт и нарушения гемодинамики (глазодвигательные нарушения, головокружение) [3, 5], снижая эффективность его деятельности. Тренировки на центрифуге направлены на повышение устойчивости организма к перегрузкам.

В работах В. В. Александрова [1, 6] был предложен алгоритм для имитации вестибуло-сенсорного конфликта с использованием центрифуги ЦФ-18 и полускафандра "Чибис". В алгоритме задается угловая скорость $\omega(t)$ и углы поворота подвеса – $\psi(t)$, $\gamma(t)$, формируя вектор перегрузки n в направлении "грудь-спина". Испытания в ФГБУ "НИИ ЦПК им. Ю. А. Гагарина" выявили отклонения вектора перегрузки от заданного направления [2].

В данной работе была построена линеаризованная модель системы с учетом аддитивных возмущений, представляющих собой сумму детерминированной кусочно-непрерывной ограниченной функции $q(t)$ и белого шума $\xi(t)$. Модель возмущений позволяет найти наилучшее для системы значение $q(t)$ с помощью решения экстремальной задачи [4]. Для коррекции алгоритма предложено дополнительное управление u , которое находится на основе решения стохастического уравнения Беллмана. Качество стабилизации оценивалось квадратичным функционалом качества:

$$J(u) = \mathbf{M} \left[\int_0^{t_k} (x^\top (G_1 + G_2)x + \Delta u^\top N \Delta u) dt + x^\top(t_k) S x(t_k) \right] \rightarrow \min_{\Delta u(\cdot)}$$

Матрицы G_1 , G_2 , N и S выбираются симметричными и положительно определенными, при этом матрицы G_1 и G_2 определяются как произведения градиентов перегрузок n_y и n_z по вектору состояния y соответственно, вычисленные на программной траектории y^* .

В результате коррекции алгоритма имитации значение функционала качества снизилось примерно на 44,64%. Это соответствует существенному улучшению точности: конус, в котором лежит результирующий вектор перегрузки, стал значительно уже: до коррекции вектор лежал в конусе с раствором 11,97°, после — в конусе с раствором 7,29°. Таким образом, выигрыш по точности воспроизведения перегрузки составляет примерно 39,11%.

Источники и литература

- 1) Александров В. В. и др. Математические задачи динамической имитации аэрокосмических полётов. М.: Изд-во МГУ, 1995. 160 с.
- 2) Александров В. В., Лемак С. С. Алгоритмы динамической имитации для стенда-тренажёра пилотируемых полетов на базе центрифуги с управляемым кардановым подвесом // *Фундаментальная и прикладная математика*. 2018. Т. 22, № 2. С. 19–32.
- 3) Газенко О., Лукьянчиков В., Корольков В. Физиологические проблемы невесомости. М.: Медицина, 1990. 288 с.

- 4) Крылов И. А., Черноусько Ф. Л., Алгоритм метода последовательных приближений для задач оптимального управления, *Ж. вычисл. матем. и матем. физ.*, 12:1 (1972), 14–34; *U.S.S.R. Comput. Math. Math. Phys.*, 12:1 (1972), 15–38
- 5) Привес М. Г., Лысенков Н. К., Бушкович В. И. *Анатомия человека*. 12-е изд. СПб.: СПбМАПО, 2003. 724 с.
- 6) Садовничий В. А., Александров В. В., Александрова Т. Б., Астахова Т. Г., Мамасуева Ю. О., Воронин Л. И., Мамасуев А. В. Математическое моделирование физиологических систем и динамическая имитация сенсорного конфликта невесомости // *Фундаментальная и прикладная математика*. 1997. Т. 3, № 1. С. 129–147.