

УДК 629.735.33.018.3.015

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ СИСТЕМ ПОДВИЖНОСТИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ПОЛЕТА

П.А. Десятник

Центральный аэрогидродинамический институт им. профессора Н.Е. Жуковского
Россия, 140180, Московская область, Жуковский, ул. Жуковского, 1
E-mail: desiatnik_pavel@mail.ru

Ю.А. Архангельский

Центральный аэрогидродинамический институт им. профессора Н.Е. Жуковского
Россия, 140180, Московская область, Жуковский, ул. Жуковского, 1
E-mail: flight15@tsagi.ru

С.А. Сорокин

Центральный аэрогидродинамический институт им. профессора Н.Е. Жуковского
Россия, 140180, Московская область, Жуковский, ул. Жуковского, 1
E-mail: sergey.a.sorokin@tsagi.ru

А.В. Ситников

Центральный аэрогидродинамический институт им. профессора Н.Е. Жуковского
Россия, 140180, Московская область, Жуковский, ул. Жуковского, 1
E-mail: a.sitnikov@tsagi.ru

Ключевые слова: система подвижности, платформа Стюарта, промышленный робот, качество моделирования, частотные характеристики, алгоритмы управления.

Аннотация: В данной работе представлены результаты исследования применимости промышленных роботов в качестве системы подвижности авиационных тренажеров и пилотажных стендов. На основе сравнения с подвижностью на базе платформы Стюарта рассмотрены преимущества и недостатки использования робота KUKA KR-1000 Titan в качестве системы подвижности. Представлены результаты исследования динамических характеристик Робота на соответствие требованиям, предъявляемым к системам подвижности авиационных тренажеров.

1. Введение

Как известно, системы подвижности авиационных тренажеров и исследовательских пилотажных стендов должны имитировать движение летательного аппарата в пространстве. Технические характеристики системы подвижности определяют возможности пилотажного стенда, а также влияют на качество воспроизведения ускорений.

Для задач подготовки летного состава применяются другие типы систем подвижности, а именно системы подвижности на базе платформы Стюарта (рис. 1а). Это шестистепенная система подвижности синергетического типа. Диапазоны

перемещения такой системы подвижности различны и зависят от длины отклонения штока привода.



Рис. 1. Пилотажный стенд (слева – а) с подвижной кабиной (ПСПК-102 ЦАГИ) на базе платформы Стюарта и тренажер пространственной дезориентации (справа – б) на базе промышленного робота KUKA KR 1000 Titan.

Несмотря на широкое применение систем подвижности на базе платформы Стюарта, их стоимость весьма высока. Одним из альтернативных и более дешевых вариантов является промышленный робот-манипулятор (рис. 1б), в котором, в отличие от системы синергетического типа, все звенья расположены последовательно. Последовательное расположение звеньев обеспечивает возможность независимого управления всеми степенями свободы, что может предоставить некоторые преимущества с точки зрения диапазона перемещений кабины.

В данной работе рассматриваются преимущества и недостатки использования промышленного робота в качестве системы подвижности пилотажного стенда.

2. Испытания робота на соответствие требований к устройствам имитации акселерационных эффектов

Промышленные роботы создаются как система точного позиционирования, а не как динамическая система для создания линейных и угловых ускорений. Поэтому крупные фирмы-производители роботов, такие как KUKA (Германия) или FANUC (Япония), не обладают сведениями по поводу динамических возможностей своих изделий. В связи с этим необходимо было провести испытания робота по:

- определению кинематических возможностей робота;
- определению динамических характеристик робота;
- оценке нелинейных искажений при воспроизведении ускорений;
- оценке качества работы алгоритмов управления движением кабины (АУДК).

Методика испытаний технических характеристик робота KUKA разработана в соответствии с требованиями, предъявляемыми к устройствам имитации акселерационных эффектов, изложенными в документах JAR и ICAO 9625 [1, 2].

Испытания робота на соответствие требованиям проводились для пяти различных конфигураций тестового груза, размещенного на фланце манипулятора. Рассматривались различные массовые характеристики груза в диапазоне от 130 до

430 кг. Получение таких данных необходимо для определения нагруженности приводов робота, чтобы избежать его разрушения в случае выхода из зоны эксплуатационных режимов.

2. Результаты испытаний

2.1. Кинематические характеристики

Более ранние исследования, проведенные в ЦАГИ [3], показали, что качество воспроизведения линейных низкочастотных перегрузок существенным образом зависит от пределов перемещения кабины стенда (рис. 2). Основным недостатком синергетической системы подвижности является одновременная работа всех 6 приводов для создания движения по изолированной степени свободы, что существенно ограничивает перемещения кабины в целом. Исследования показали, что робот-манипулятор с последовательно расположенными звеньями без кабины-капсулы и будучи установленным на постамент высотой 2 м имеет перемещения в вертикальном канале до 4 м, что обеспечивает гораздо большее качество моделирования по сравнению со стендом ПСПК-102.

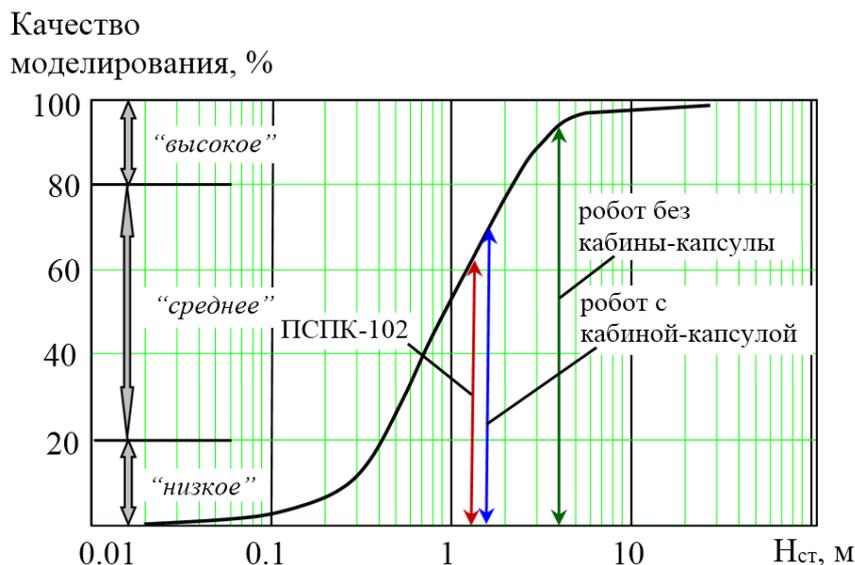


Рис. 2. Влияние располагаемого хода системы подвижности на качество имитации нормальной перегрузки.

Однако установка кабины-капсулы существенно ограничивает кинематические возможности робота и снижает качество воспроизведения нормальных перегрузок до значений, соответствующих синергетической системе подвижности (рис. 2).

2.2. Динамические характеристики

Целью динамических испытаний являлось продемонстрировать динамические характеристики механизма робота по всем степеням свободы в диапазоне частот от 0.1 до 3 Гц.

Таблица 1. Частотные характеристики промышленного робота KUKA с грузом.

	масса груза=130 кг		масса груза=430 кг	
	амплитуда,	фаза, град	амплитуда,	фаза, град

	$A_{\text{ВЫХ}}/A_{\text{ВХ}}$				$A_{\text{ВЫХ}}/A_{\text{ВХ}}$			
	от 0,1 до 1,0 Гц	от 1,1 до 3,0 Гц	от 0,1 до 1,0 Гц	от 1,1 до 3,0 Гц	от 0,1 до 1,0 Гц	от 1,1 до 3,0 Гц	от 0,1 до 1,0 Гц	от 1,1 до 3,0 Гц
X	1,016 ($\pm 1,3^*$)	1,14 ($\pm 1,6$)	-3,0 (-20)	-19,8 (-40)	1,040 ($\pm 1,3^*$)	1,35 ($\pm 1,6$)	-5,0 (-20)	-33,0 (-40)
Y	1,008 ($\pm 1,3$)	1,12 ($\pm 1,6$)	-1,2 (-20)	-18,0 (-40)	1,020 ($\pm 1,3$)	1,30 ($\pm 1,6$)	-2,0 (-20)	-30,0 (-40)
Z	1,018 ($\pm 1,3$)	1,16 ($\pm 1,6$)	-1,8 (-20)	-21,6 (-40)	1,040 ($\pm 1,3$)	1,40 ($\pm 1,6$)	-3,0 (-20)	-36,0 (-40)
Крен	1,012	1,052	-1,2	-10,8	1,030	1,130	-2,0	-18,0
Тангаж	1,012	1,060	-1,3	-12,0	1,030	1,150	-2,0	-20,0
Рыскание	1,016	1,170	-2,4	-23,4	1,040	1,400	-4,0	-39,0

* – нормативные критерии

Из таблицы 1 видно, что частотные характеристики робота KUKA соответствуют требованиям ICAO 9625 [1]. Однако следует отметить, что частотные характеристики робота KUKA снимались только для тестового груза, т.е. без кабины-капсулы. Установленная кабина может ухудшить динамические характеристики из-за инерционно-массовых характеристик.

2.3. Нелинейные искажения

Помехи, возникающие при воспроизведении ускорений (нелинейные искажения) могут значительно исказить восприятие лётчиком воспроизводимого движения и повлиять на оценку лётчиком управляемости моделируемого самолёта. Для оценки уровня нелинейных искажений на системы подвижности подавался синусоидальный входной сигнал с амплитудой 0.12g и частотой 0.5 Гц. На рис. 3 в качестве примера приведены результаты испытаний для вертикального канала. Видно, что при изменении знака перегрузки, заметны нелинейности. Однако эти величина этих нелинейностей находится в пределах допуска ± 0.05 g.

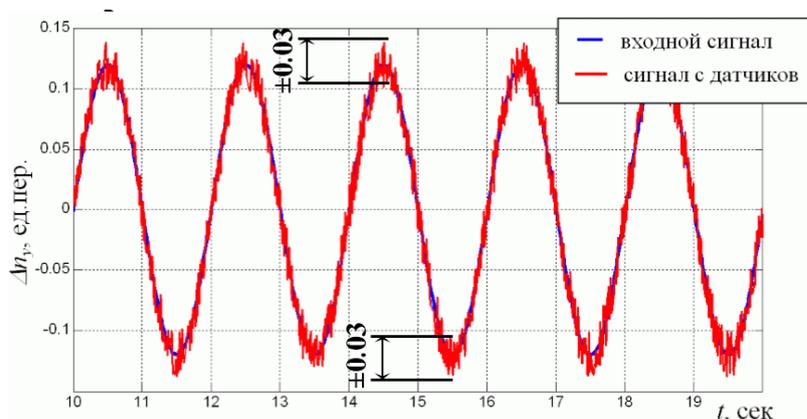


Рис. 3. Нелинейные искажения промышленного робота в вертикальном канале.

2.4. Правильность работы АУДК

Оценка правильности работы АУДК проводилась по всем 6 степеням свободы. На рис. 4 в качестве примера приведены результаты для вертикальной степени свободы. Полученные результаты показали корректность работы высокочастотных и низкочастотных фильтров, соответствующих используемым АУДК.

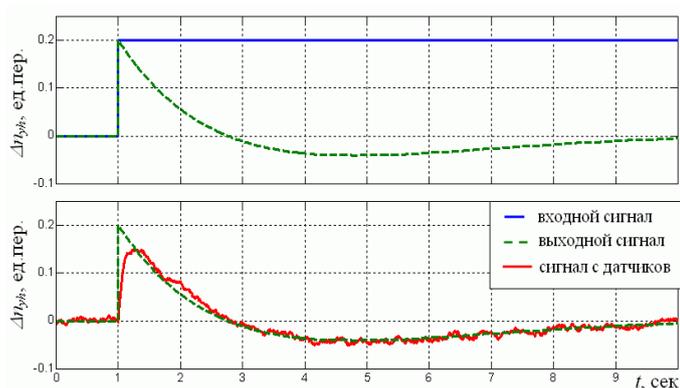


Рис. 4. Реакция высокочастотного фильтра и датчика ускорений на ступенчатый сигнал по вертикальной степени свободы.

3. Заключение

Проведены испытания робота-манипулятора типа KUKA KR-1000 Titan на соответствие требованиям к устройствам имитации акселерационных эффектов, изложенных в документах JAR и ICAO 9625.

Показано, что по сравнению с системой подвижности синергетического типа робот KUKA с установленной кабиной летчика по своим кинематическим и динамическим характеристикам не имеет преимуществ, обеспечивающих улучшение качества моделирования ускорений.

Результаты динамических характеристик робота с имитатором весовой нагрузки (без кабины летчика) испытаний и испытаний на нелинейные искажения демонстрируют хорошее соответствие параметров робота KUKA требованиям к авиационным тренажерам.

Робот-манипулятор типа KUKA KR 1000 Titan может быть использован в качестве системы подвижности для задач, выполняемых одночленным экипажем с учетом ограничений, накладываемых инерционно-массовыми характеристиками кабины летчика.

Исследования проведены при финансовой поддержке Минобрнауки России, Соглашение № 075-11-2020-023 (внутренний номер 00600/2020/09056 от 08.12.2020).

Список литературы

1. ICAO 9625, Part II Appendix B – FSTD Validation Tests. Chapter 3.5.3 “Frequency-Domain Motion Cueing System Performance Test”.
2. JAR-FSTD // ICAO 9625, Part II, App.B. “FSTD validation tests”. Chapter 3.5.
3. Архангельский Ю.А., Десятник П.А., Зайчик Л.Е., Сорокин С.А. Оценка качества моделирования различных задач пилотирования в зависимости от располагаемых пределов перемещения кабины пилотажного стенда // В книге: Фундаментальные проблемы создания СПС нового поколения. Сборник тезисов международной конференции. Москва. 2022. С. 214-218.