

ОТЗЫВ официального оппонента
о диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Чертополохова Виктора Александровича
на тему: «ВИЗУАЛЬНАЯ И ДИНАМИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩИЕ
ИМИТАЦИИ УПРАВЛЯЕМОГО ДВИЖЕНИЯ НА СТЕНДАХ-
ТРЕНАЖЕРАХ»
по специальности 1.1.7. — «Теоретическая механика, динамика машин»

Диссертация В. А. Чертополохова посвящена изучению проблемы синхронизации визуальной и динамической имитации движений в системах обучения, таких как пилотажные комплексы. С развитием технологий виртуальной реальности и постоянно возрастающими требованиями к обучению и подготовке специалистов в авиации, становится необходимым создание эффективных и реалистичных тренажерных систем. Тема становится особенно актуальной в свете стремления к максимально достоверной имитации условий реального полета. Одной из сложностей при разработке таких систем является необходимость согласования визуальных и динамических воздействий на тренажерных стендах, именно эту проблему исследовал В. А. Чертополохов в своей работе.

В результате исследования, проведенного в диссертации, были разработаны методы, обеспечивающие согласованную визуализацию и имитацию динамики движений.

Актуальность темы

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о высокой актуальности темы диссертационной работы, которая напрямую связана с одной из ключевых областей научных исследований и практических приложений в области авиации и пилотируемой космонавтики.

Степень обоснованности и достоверности

Результаты, представленные в диссертационной работе, обоснованы и достоверны. Методы и подходы, применяемые автором, находятся в соответствии с современными требованиями и направлениями научных исследований в данной области. Автор представил доказательства своих утверждений, привел аналитические и численные расчеты, моделирование и экспериментальные результаты. Работа содержит необходимые ссылки на литературу и внешние источники.

Научная новизна

В работе предложен оригинальный метод решения задачи визуализации и синхронизации визуальной и динамической имитации путем декомпозиции на несколько подзадач. Одной из этих задач стала предварительная идентификация геометрических параметров подвижного стенда опорного типа, для решения которой диссертант предложил собственный алгоритм. Используя этот результат и решение задачи оптимальной остановки стенда при достижении ограничений, В. А. Чертополохов построил рабочие области для двух различных вариантов стендов-тренажеров.

Новизна работы заключается также в предложенной скользящей переменной, учитывающей порог чувствительности вестибулярного аппарата, что представляет интерес для специалистов в области робастного управления движением.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость диссертационной работы В. А. Чертополохова подтверждается введением понятия «слоя скольжения» вместо «поверхности скольжения» при разработке робастного управления с допустимым порогом чувствительности, а также необычной постановкой задачи – управлением по ускорению. Эти результаты могут служить основой для дальнейших исследований в области имитации динамических воздействий на стендах-тренажерах.

Практическая значимость работы также подтверждена. Полученные в ходе исследования результаты были успешно применены в рамках проектов научного центра мирового уровня «Сверхзвук» в 2020-2022 годах.

Апробация работы и публикации

Работа была широко апробирована в процессе научных исследований. Основные результаты исследования были представлены на семи всероссийских и международных конференциях, семинарах МГУ имени М. В. Ломоносова и ИПМ им. М. В. Келдыша РАН. Также материалы исследования были опубликованы в журналах, включенных в международные базы данных Web Of Science, Scopus или RSCI, в том числе входящих в первый и второй квартили по данным индексам цитирования.

Структура и объем работы

Диссертация В. А. Чертополохова представляет собой законченное исследование и состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографии. Полный объем диссертации – 161 страница текста с 66 рисунками и 4 таблицами. Список литературы содержит 117 наименований.

Во **введении** обозначается актуальность исследования, ставится цель и формулируются задачи диссертации, а также выносятся на защиту научная новизна и практическая значимость работы.

В **первой главе** рассматриваются проблемы реалистичности имитации динамических воздействий на пилота и их ограничения. Представлен разработанный алгоритм идентификации геометрических параметров подвижного стенда опорного типа и описано участие в создании программного обеспечения для Панорамной системы виртуальной реальности МГУ.

Вторая глава описывает структуру системы визуализации управляемого полета. В частности, предлагается методика улучшения скорости визуализации за счет учета направления взора пилота.

Третья глава является основной и центральной в работе В. А. Чертополохова. В этом разделе автор формулирует задачу визуализации и синхронизации визуальной и динамической составляющих имитации. Он предлагает метод решения этой задачи путем декомпозиции на пять подзадач, решение каждой из которых приведено в диссертации. Автор определяет типы движений, которые могут быть заменены или игнорированы для расширения диапазона имитации без потери качества. Обсуждается определение угловой скорости движения станда и прогноз этого движения для построения корректной визуализации. В этой главе представлено управление с использованием скользящего режима, которое подразумевает учет порога чувствительности вестибулярного аппарата. Важной частью этой главы является доказательство теоремы об устойчивости замкнутой системы при наличии модифицированного таким образом управления.

В **четвертой главе** автор представляет модель динамики роботоманипулятора, предлагает методологию построения множества активной фазы динамической имитации и проводит численное моделирование. Здесь также происходит тестирование робастности предложенного в третьей главе алгоритма управления.

В **заключении** диссертации подводятся итоги работы, обсуждаются достигнутые результаты и перспективы для дальнейших исследований.

Замечания по тексту работы

В третьей главе описан алгоритм, который имитирует линейные движения летательного аппарата. Однако, если обратить внимание на важность угловых движений для достижения имитации, то становится ясно, что вопрос динамической имитации угловых движений в работе не получил достаточного освещения.

Обозначения векторных и скалярных величин в диссертации одинаковы (например, на страницах 21, 92, 98), что может вызывать путаницу при чтении и толковании представленного материала.

Алгоритм управления, который основан на скользящем режиме и реализует процесс динамической имитации, использует высокую частоту переключений управляющей переменной. В работе приведены результаты моделирования с использованием этого алгоритма, однако не была показана его практическая реализация на реальном стенде, а также не представлены соответствующие характеристики двигателей.

Несмотря на указанные замечания, следует отметить высокий уровень научного исследования, представленного автором. Диссертация В. А. Чертополохова является качественной квалификационной работой, в которой ясно выражена научная мысль и продемонстрированы достижения в изучаемой области.

Работа соответствует критериям и стандартам, установленным Московским государственным университетом имени М. В. Ломоносова для диссертаций.

Содержание диссертации соответствует специальности 1.1.7. – «теоретическая механика, динамика машин» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова, а также оформлена, согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Виктор Александрович Чертополохов заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7. — «Теоретическая механика, динамика машин».

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,

доцент кафедры ФН-12 "Математическое моделирование"

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения

высшего образования «Московский государственный технический

университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский

университет)» (МГТУ им. Н. Э. Баумана),

Владимир Александрович Панкратов

«15» июня 2023 г.

Контактные данные:

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена

диссертация:

01.02.01 – «Теоретическая механика»

Адрес места работы:

105085, Москва, Рубцовская набережная, д.2/18, Учебно-лабораторный корпус МГТУ имени Н. Э. Баумана, кафедра ФН-12 «Математическое моделирование»

Тел.: +7 (499) 263-6750; e-mail: mathmod@bmstu.ru