

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата физико-математических наук, доцента Александра Сергеевича Кулешова на диссертационную работу Ильиной Анастасии Николаевны на тему «**Математическое моделирование голономных систем с нелинейными геометрическими связями для решения задач устойчивости и стабилизации установившихся движений**», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Диссертационная работа А.Н. Ильиной посвящена развитию методов исследования задач устойчивости и стабилизации положений равновесия и стационарных движений голономных механических систем с нелинейными геометрическими связями, уравнения которых удобнее записывать с помощью избыточных координат. Известно, что во многих актуальных задачах техники (например, в задачах управления многозвенными манипуляторами) оказывается целесообразным задавать конфигурацию механической системы параметрами, превосходящими число степеней свободы. Проблемы математического описания динамики таких систем издавна привлекали внимание учёных, их изучению посвящены многие работы по аналитической механике. В то же время, задачи исследования устойчивости и стабилизации установившихся движений этого класса систем изучены недостаточно, несмотря на их не только большое теоретическое значение, но также и значение, обоснованное практическими нуждами. Поэтому тема диссертационной работы представляется вполне актуальной.

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Во введении обосновывается актуальность работы, приведён обзор основных результатов по тематике исследования, сформулирована цель работы и задачи, решаемые в рамках достижения этой цели, обоснована научная новизна и практическая значимость работы, кратко изложено её содержание.

В первой главе рассматривается задача стабилизации положений равновесия мехатронных систем, в которых имеются один или несколько электроприводов. Предполагается, что движение такой системы стеснено нелинейными голономными связями, а управление осуществляется за счёт изменения напряжения на якорных обмотках двигателей. Для решения задачи стабилизации выводятся уравнения, в которых учитывается динамика электроприводов. На основе анализа структуры полученных уравнений устанавливается достаточное условие разрешимости задачи стабилизации при полной и при неполной информации о состоянии. Приводится алгоритм численного определения коэффициентов стабилизирующего управления.

Во второй главе решается задача стабилизации стационарных движений мехатронных систем с нелинейными голономными связями в предположении, что у рассматриваемых систем имеются циклические координаты. Для моделирования динамики таких систем предлагается развитие метода, описанного в первой главе. Рассматриваются три способа введения управляющих воздействий: по части избыточных координат, по части позиционных координат и по всему вектору циклических координат. Для моделирования динамики таких систем используются уравнения М.Ф. Шульгина (частный случай уравнений П.В. Воронца для голономных систем с избыточными координатами) в переменных Лагранжа и Рауса. Проводится анализ структуры полученных уравнений. Устанавливаются достаточные условия разрешимости задач стабилизации как в случае полностью известного фазового вектора системы, так и при

Общий отдел МАИ
Вх. №
04 06 2019

неполной информации о состоянии. Разрабатывается алгоритм нахождения коэффициентов стабилизирующего воздействия и системы оценки состояния.

В третьей главе работы проводится детальное исследование лабораторного стенда GBV 1005 Ball and Beam как мехатронной системы с нелинейной голономной связью. Для решения задачи стабилизации всех положений равновесия рассматриваемой системы применяются результаты, полученные в первой главе диссертационной работы. Строятся различные математические модели данной системы в зависимости от выбора зависимой координаты и способа управления. Если не принимать во внимание динамику электропривода, то управление может осуществляться за счёт механического момента. Находятся управляющие воздействия, стабилизирующие все положения равновесия системы. При помощи комплекса моделирования MATLAB проводится компьютерное моделирование рассматриваемой системы.

Четвёртая глава диссертационной работы посвящена описанию программного комплекса HolStabBB, созданного соискателем и позволяющего сравнивать различные подходы к математическому моделированию системы GBV 1005 Ball and Beam с помощью среды MATLAB. Обсуждаются различные численные методы, необходимые для решения задачи стабилизации. Разрабатывается алгоритм, позволяющий численно находить все компоненты вектора начальных возмущений в случае, когда на систему наложены нелинейные голономные связи.

В заключении ещё раз перечислены все основные результаты, полученные в работе. В приложении А приведены формулы, используемые для вывода векторно – матричных уравнений движения. В приложении Б приведены графики переходных процессов системы GBV 1005 Ball and Beam.

К новым результатам, полученным в диссертации, следует отнести векторно – матричные уравнений динамики систем с нелинейными голономными связями в обобщённых (Лагранжевых) координатах при наличии циклических координат и различных способах управления (по вектору циклических, позиционных или избыточных координат), и в переменных Рауса для случая управления по части циклических координат. В работе предложена также новая форма записи векторно – матричных нелинейных уравнений и уравнений с выделенным первым приближением в окрестности стационарного движения, которая позволяет упростить анализ структуры нелинейных членов. Получены новые достаточные условия разрешимости для задачи стабилизации систем, описываемых избыточными координатами. Построены математические модели стенда GBV 1005 Ball and Beam с учётом нелинейной голономной связи для различных случаев выбора избыточной координаты и различных способов введения управляющих воздействий. Выполнено подробное исследование устойчивости и стабилизации всех положений равновесия системы GBV 1005 Ball and Beam, разработан программный продукт для исследования положений равновесия механических систем данного типа. Результаты исследования могут быть использованы при моделировании и управлении мехатронными системами с нелинейными голономными связями, например, при описании движения многозвенных манипуляторов. Разработанный программный продукт также может быть использован в учебном процессе.

Достоверность результатов работы подтверждается строгостью математических формулировок и доказательств утверждений, а также численными экспериментами, подтверждающими полученные теоретические выводы.

Если не считать нескольких опечаток, замечаний по тексту работы практически нет. Работа оставляет весьма положительное впечатление. Изложенные в ней результаты новы и строго обоснованы. Автореферат достаточно полно и правильно отражает содержание диссертации.

А.Н. Ильина в своей работе продемонстрировала уверенное владение современными методами исследования устойчивости и стабилизации движения механических систем, уравнения движения которых записываются с помощью избыточных координат. Диссертационная работа полностью соответствует всем критериям Постановления №842 от 24 сентября 2013 года Правительства Российской Федерации «О порядке присуждения учёных степеней», а также всем требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 - «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а её автор, Ильина Анастасия Николаевна, заслуживает присвоения ему указанной учёной степени.

Официальный оппонент,
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры «Теоретической механики
и мехатроники»

ФГБОУ ВО «Московский государственный
университет имени М.В. Ломоносова»,
e-mail: kuleshov@mech.math.msu.su
тел. +7-903-536-87-22

А.С. Кулешов

Подпись А.С. Кулешова заверяю:



Исполняющий обязанности декана механико-математического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, доктор физико-математических наук, профессор Чубариков В.Н.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

119991, г. Москва, Ленинские горы, 1.

Тел.: (495) 939 10 00

www.msu.ru