

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию

Каспировича Ивана Евгеньевича

«Использование модификаций метода стабилизаций связей для решения задач динамики физических систем»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7 - Теоретическая механика. Динамика машин.

Актуальность темы диссертационной работы. При численном исследовании динамики несвободных механических систем, описываемых системой дифференциальных уравнений движения и системой уравнений связи, в процессе расчетов неизбежно накапливаются ошибки численного интегрирования. Наличие связей накладывает ограничения на свойства движения, а уравнения движения системы допускают частные интегралы, определяемые уравнениями связей. Решение задач стабилизации связей крайне актуально в настоящий момент, так как использование методов стабилизации существенно повышает точность численного решения системы дифференциальных уравнений движения. Баумгартом было предложено использовать линейные комбинации уравнений связей вместе с их производными. Равенства, устанавливающие соотношения между отклонениями от уравнений связей и их производными, составляют уравнения возмущений связей. В диссертации разрабатываются различные модификации метода стабилизации связей Баумгарта и их приложения к задачам динамики ряда механических систем. Исследования в этом направлении позволяют получить новые способы численного решения уравнений динамики с заданными пределами отклонений от уравнений связей и обеспечить устойчивость численного решения уравнений движения относительно уравнений связей.

Характеристика содержания диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав и списка литературы. Полный объем диссертации составляет 107 страниц с 18 рисунками. Список литературы содержит 72 наименования.

Введение включает в себя краткую историю становление проблемы стабилизации связей. Также обосновывается актуальность темы и раскрываются методы исследования.

Первая глава состоит из четырех параграфов. Первый параграф посвящён постановке задачи. Предлагается алгоритм решения дифференциально-алгебраических уравнений с голономными связями. Во втором параграфе данный метод представлен для неголономных связей. При этом рассматривается задача стабилизации связей для уравнений движения, записанных в форме уравнений Чаплыгина. В третьем параграфе алгоритм решения систем дифференциально-алгебраических уравнений обобщается для уравнений, записанных в форме Воронца. В четвертом параграфе содержатся примеры, подкрепляющие описанную в первой главе теорию.

Вторая глава состоит из трех параграфов и посвящена исследованию разностных схем численного интегрирования дифференциальных уравнений движения с учетом стабилизации связей. В первом параграфе представлены методы оценки коэффициентов линейной формы для функции стабилизации при использовании разностной схемы Эйлера первого порядка. Во втором параграфе выводится функциональная зависимость между отклонением реального решения от численного решения и функции возмущенных связей. Третий параграф представляет наибольший интерес, поскольку описывает метод обхода сингулярных точек при численном интегрировании с помощью метода стабилизации

связей. Данный метод описывается на примере конкретной задачи динамики вращательного движения твердого тела.

Третья глава посвящена исследованию методов решения обратной задачи динамики с учетом стабилизации связи. Показано, что в случае редуцирования систем дифференциальных уравнений второго порядка к виду уравнений Лагранжа второго рода для решения задачи стабилизации связей необходимо ввести функцию диссипации. Устанавливается связь между функцией стабилизации связей и диссипативной функцией.

Четвертая глава состоит из двух параграфов. В первом параграфе рассматривается задача моделирования движения многозвенной системы, симулирующей движение скатывающегося по наклонной плоскости экзоскелета. Метод стабилизации позволяет получить устойчивое численное решение относительно заданного набора голономных и неголономных связей. Второй параграф посвящен применению метода стабилизации к частным интегралам движения. Данный метод в диссертации был использован на примере дифференциальных уравнений Понтрягина в задаче по поиску оптимальной траектории космического аппарата переменной массы.

В заключении кратко сформулированы основные результаты, полученные в диссертации.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность. Результаты, полученные в работе, опираются на известные теоремы из математического анализа и курса дифференциальных уравнений, а также на классические результаты теоретической механики и теории устойчивости. При проведении расчетов и построения графических иллюстраций использовался программный пакет Matlab.

Научная новизна диссертационного исследования состоит в следующем:

А) представлен алгоритм решения дифференциально-алгебраических уравнений движения с произвольными множителями Лагранжа и уравнений движения неголономных систем, записанных в форме Чаплыгина и Воронца;

Б) предложен механизм обхода сингулярных точек при численном интегрировании систем уравнений движения с помощью метода стабилизации связей;

В) при решении обратной задачи динамики с учетом стабилизации связей установлена зависимость между диссипативной функцией Рэля и уравнениями возмущений связей;

Г) предложена модификация метода стабилизации связей в задаче о стабилизации первых интегралов уравнений движения космической ракеты переменной массы;

Д) предложен алгоритм решения задач управления динамикой систем твердых тел, моделирующих экзоскелеты.

Теоретическая и практическая значимость исследований. Разработан метод стабилизации связей в задачах управления голономными и неголономными системами твердых тел с использованием матричного метода при составлении систем уравнений движения. Предложен метод стабилизации частных интегралов для получения устойчивого численного решения уравнений движения ракеты переменной массы. Составлен алгоритм обхода точек сингулярности с использованием стабилизации связей. Решение перечисленных задач представляет как теоретический, так и прикладной интерес.

Апробация работ была проведена на научных семинарах и на всероссийских и международных конференциях. Основные результаты были опубликованы в 10 научных работах, 3 из которых входит в число статей в российских журналах из перечня ВАК, 10 работ индексируются в базе данных SCOPUS, 4 – в базе данных Web of Science.

В диссертационной работе имеется ряд **недостатков**:

1. Не хватает примера во втором параграфе второй главы. Следует представить зависимость отклонения реального решения от аналитического решения на графике, демонстрирующем доказанную в работе формулу.
2. Не всегда при прочтении текста можно отделить описание известных результатов и собственных результатов, полученных диссертантом.
3. В неравенстве (2.1.10) имеются две малые величины, τ и ε ; при этом не проводится анализ возможных вариантов их значений и следующих отсюда возможных вариантов для диапазона компонент матрицы K .
4. С. 59: выписываются обобщенные условия Гельмгольца без ссылки на источник, откуда берутся эти условия, или пояснения, как они получены.
5. В задаче о движении мобильного робота по наклонной плоскости на с. 63 неверно указано выражение для потенциальной энергии U : оно для произвольных длин звеньев должно зависеть не только от координат x_i , но и от координат z_i . Предположение о малости длин звеньев сделано уже после приведенного выражения для U . Приближенное выражение (4.1.3) верно, поэтому указанная неточность не влияет на проведенные далее расчеты.
6. Имеется ряд неточностей в математических комментариях и описании хронологии исследований:
С. 3: «Гамильтон развил идею Рауса». Ровно наоборот: сначала Гамильтоном (в 1834 г.) были получены канонические уравнения, включающие в себя обобщенные импульсы для всех координат, и лишь затем Раус, живший почти на полвека позже, придумал (в 1876 г.) вводить импульсы только для части координат, а для остальных координат уравнения записывать в лагранжевой форме.
С. 18: «Если вектор-функция $q(t)$ непрерывна, то знаки вариации и дифференцирования можно поменять местами». Непрерывности функции недостаточно, надо требовать, чтобы функция была дважды непрерывно дифференцируемой.
Неоднократно используется термин «матрица Гесса», в то время как принято эту матрицу называть матрицей Гессе.
7. В диссертации имеется ряд орфографических и синтаксических ошибок, несогласование падежей, неверное склонение иностранных фамилий, стилистические неточности.

Сделанные замечания, однако, не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. Полученные автором результаты достоверны, основные выводы и заключения обоснованы. Автореферат корректно отражает результаты диссертационного исследования. Основные результаты диссертации изложены в 10 работах, опубликованных в рецензируемых изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science и рекомендованных ВАК РФ,

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация Каспировича Ивана Евгеньевича на тему «Использование модификаций метода стабилизаций связей для решения задач динамики физических систем» соответствует требованиям, предъявляемых

к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, согласно п.2.2 раздела II (кандидатская) Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов», утвержденного Ученым советом РУДН, протокол № 12 от 23.09.2019. Ее автор, Каспирович Иван Евгеньевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7 – Теоретическая механика, динамика машин.

Официальный оппонент:

Холостова Ольга Владимировна, доктор физико-математических наук, (01.02.01 Теоретическая механика), доцент, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Телефон: +7(910)465-61-49

Адрес электронной почты: kholostova_o@mail.ru

Холостова Ольга Владимировна

9 октября 2023 г.

Согласие Холостовой О.В. завершено.

Начальник
ОТДЕЛА КАДРОВОГО
ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА
РАБОТНИКОВ Носов
09.10.2023

