

## О Т З Ы В

на автореферат диссертации **Каспировича И.Е.** «Использование модификаций метода стабилизаций связей для решения задач динамики физических систем», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7 - Теоретическая механика. Динамика машин.

Динамика физических систем зачастую описывается при помощи обыкновенных дифференциальных уравнений. Лишь для нескольких типов задач удается получить аналитическое решение. Для анализа большинства задач применяются методы качественной теории дифференциальных уравнений или численные методы. Простейшие разностные схемы численного интегрирования являются неустойчивыми. При решении задач динамики систем с механическими связями, численное решение получается неустойчивым на относительно продолжительном интервале численного интегрирования. Для обеспечения устойчивости численного решения относительно уравнений связей применяется метод стабилизации, предложенный И. Баугарте. Рассматриваемая тема диссертационной работы почти полностью посвящена исследованию модификаций метода стабилизаций связей. Автор диссертационного исследования приводит примеры успешно решенных задач стабилизации связей в динамических системах различной природы. Актуальность темы исследования подтверждается тем, что при решении задачи Коши для нелинейных систем уравнений движения с большим количеством переменных, получается обеспечить устойчивость численного решения относительно уравнений связей при использовании разностной схемы Эйлера первого порядка. Таким образом, автор исследует модификации метода стабилизации связей, позволяющие получить устойчивое численное решение на ограниченном интервале.

Основные результаты Каспировича И.Е. своевременно опубликованы в 3 журналах, входящих в перечень ВАК РФ. 10 публикаций входят в международную базу цитирований SCOPUS, 4 из которых входят в базу Web of Science. Результаты исследований были апробированы на всероссийских и международных конференциях и семинарах.

Результаты, представленные в диссертации, являются оригинальными и представляют несомненный интерес для специалистов, работающих в области динамики механических систем, численных методов и теории управления движением динамических систем. Полагаю, что диссертация Каспировича И.Е. выполнена на хорошем уровне и удовлетворяет всем требованиям, представленным к кандидатским диссертациям.

На основании материалов автореферата можно сделать вывод о том, что диссертация удовлетворяет требованиям критерия раздела II Положения о присуждении ученых степеней в государственном автономном

образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов», утвержденного Ученым советом РУДН 23.09.2019г., протокол № 12, предъявленным к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7 – теоретическая механика, динамика машин и ее автор, Каспирович Иван Евгеньевич, заслуживает присуждение ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7. Теоретическая механика. Динамика машин.

Заведующий кафедрой  
мехатроники и теоретической механики  
Московского авиационного института,  
доктор физико-математических наук  
(01.02.01 Теоретическая механика),  
Профессор РАН



Бардин Борис Сабирович

17.10.2023

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «**Московский авиационный  
институт** (национальный исследовательский университет)»

Адрес: Россия, Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, 125993

Телефон: +7-499-158-44-66 E-mail: bardinbs@mai.ru

Подпись Бардина Б.С. заверяю:

Директор дирекции института № 8 МАИ



Место для печати

Крылов С.С.

## О Т З Ы В

на автореферат диссертации **Каспировича И.Е.** «Использование модификаций метода стабилизаций связей для решения задач динамики физических систем», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7 - Теоретическая механика. Динамика машин.

Диссертация Каспировича И.Е. посвящена решению задачи построения численных методов решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений с заданными начальными условиями. Для минимизации погрешностей решения с использованием разностных схем используются известные интегралы, по которым определяются дополнительные управляющие функции, включенные в правые части. Такой подход оказывается эффективным для уравнений классической механики, на которые накладываются ограничения уравнениями связей.

В работе показано, что определение дополнительных управлений соответствует формулировке обратных задач динамики, к которым, в частности относятся и предложенные в диссертации модификации метода стабилизации связей.

Результаты исследований, изложенные в диссертации и автореферате, докладывались на Всероссийском съезде по теоретической и прикладной механике (Уфа, 2019 г.), на Конгрессе TWMS-2023 и на международных научных конференциях, опубликованы в научной печати и представляют интерес для специалистов в области механики, теории управления и численных методов. По совокупности научных результатов и достаточно высокому математическому уровню работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Каспирович Иван Евгеньевич, заслуживает присуждение ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7. Теоретическая механика. Динамика машин.

Профессор кафедры естественнонаучных и гуманитарных дисциплин Смоленского филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский экономический университет имени Г.В.Плеханова»  
доктор физико-математических наук  
(05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), профессор

А.В.Юденков

24.10.2023г.

Адрес: 214030, г.Смоленск, ул.Нормандии-Неман, д.21  
Смоленский филиал РЭУ им. Г.В.Плеханова  
т.(4812) 66-26-63, smolensk@rea.ru

*Юденков А.В. заверено.*  
*Специализация по кадрам Юденков А.В.*

## О Т З Ы В

на автореферат диссертации **Каспировича Ивана Евгеньевича**  
«Использование модификаций метода стабилизаций связей для решения задач динамики физических систем», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7 - Теоретическая механика, динамика машин.

В отечественной литературе достаточно редко встречается метод стабилизации связей, предложенный J. Baumgarte в семидесятых годах прошлого века. Данный метод помогает построить численное решение уравнений динамики, устойчивое относительно уравнений связей при использовании разностных схем численного интегрирования. Автор в своей диссертационной работе исследует модификации метода стабилизации связей. Методы численного интегрирования прочно закрепились в решении прикладных задач различной природы. Обеспечение устойчивости относительно связей численного решения на локальном интервале очень важно при исследовании различных задач. В соответствии с этим актуальность темы данного диссертационного исследования не вызывает сомнений.

Как следует из автореферата, задача исследования включает методы построения и решения систем дифференциально-алгебраических уравнений движения динамических систем с различными видами механических связей. Приводятся методы разрешения систем уравнений динамики, записанных в виде уравнений Лагранжа второго рода, Чаплыгина и Воронца, относительно вторых производных по времени от функций обобщенных координат с учетом разработанных автором модификаций метода стабилизации связей.

Автором выводятся выражения для оценок величин параметров возмущений связей, гарантирующих устойчивое численное решение относительно уравнений связей, для простейших конечно-разностных схем. Также на основании известного алгоритма выводится формула, связывающая максимальное отклонение реального решения от численного, полученного методом Эйлера, и параметры возмущений связей. Интересным результатом в данной главе можно считать исследование автором возможности применения метода стабилизации связей для обхода сингулярных точек при численном интегрировании задач динамики твердого тела.

В работе решена задача о составлении систем дифференциальных уравнений второго порядка по заданному набору связей. Было показано, что для выполнения условий решения задачи стабилизации необходимо существование диссипативного члена, который «возвращает» систему к невозмущённому состоянию. При этом обобщенные условия Гельмгольца являются системой уравнений в частных производных относительно функции возмущений связей.

Заключительная часть работы почти полностью посвящена прикладным задачам, включающим ту или иную модификацию метода стабилизации связей. Рассматривается задача о моделировании динамики многосвязной системы, описывающей движение робота или экзоскелета. Интересные результаты получены при рассмотрении стабилизации частных интегралов в задаче управления движением космического аппарата переменной массы.

Основные результаты Каспировича И.Е. опубликованы в 3 журналах, входящих в перечень ВАК РФ, 10 публикаций входят в международную базу цитирований SCOPUS, 4 из которых входят в базу Web of Science. Результаты исследований были достаточно апробированы на всероссийских и международных научных конференциях и семинарах.

В тексте автореферата встречаются опечатки и системные нечёткости, почти не влияющие на научные результаты работы. Таким образом, результаты, представленные в диссертации, являются оригинальными и могут представлять интерес для специалистов, работающих в области механики, динамики машин и теории управления движением. Полагаю, что диссертация Каспировича И.Е. удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

На основании материалов автореферата можно сделать вывод о том, что диссертация удовлетворяет требованиям критерия раздела II Положения о присуждении ученых степеней в государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», утвержденного Ученым советом РУДН 23.09.2019г., протокол № 12, предъявленным к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7 – теоретическая механика, динамика машин и ее автор, Каспирович Иван Евгеньевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по этой специальности.

Д.т.н., зав. кафедрой  
«Теоретическая механика»  
имени профессора Н.Е. Жуковского  
МГТУ им. Н.Э. Баумана  
(Москва, 2-я Бауманская 5, стр. 1.)



Шкапов П.М.



Я ЗАВЕЩАЮ

КАФЕДРЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ И ДИНАМИКИ МАШИН

О.В.

Тел. 8-499-263-60-48

## О Т З Ы В

на автореферат диссертации **Каспировича И.Е.** «Использование модификаций метода стабилизаций связей для решения задач динамики физических систем», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7 - Теоретическая механика. Динамика машин.

Численные методы решения дифференциальных уравнений не являются совершенными, поскольку они подвержены накоплению ошибок, возникающих в процессе численного интегрирования. Это означает, что результаты численного интегрирования не могут корректно отразить свойства реального решения, а имеют определенную степень неточности. Причина в том, что применение различных методов численного интегрирования связано с накоплением различных типов ошибок, включая ошибки округления.

Й. Баумгарт продемонстрировал, что традиционный метод определения сил реакций механических связей, применяемый в механике, вызывает накопление ошибок при численном решении, обусловленное увеличением отклонений от условий связи, вызванных ошибками в задании начальных условий. Чтобы уменьшить данный тип отклонений, Баумгарт предложил использовать линейные комбинации уравнений связей и их производных, по существу составляющих уравнения возмущений связей. Фактически, способ Баумгарта заключается в замене связей сервосвязями. Метод стабилизации связи, предложенный Баумгартом, получил распространение и некоторые модификации. Например, Ю. Ашеру принадлежит идея метода стабилизации систем дифференциально-алгебраических уравнений более высокого порядка.

Таким образом, важность данной работы подкрепляется необходимостью анализа данных на основе устойчивого численного решения. Метод стабилизации связей позволяет достичь устойчивости численного решения в рамках рассматриваемых задач диссертационного исследования.

Основные результаты Каспировича И.Е. своевременно опубликованы в 3 журналах, входящих в перечень ВАК РФ. 10 публикаций входят в международную базу цитирований SCOPUS, 4 из которых входят в базу Web of Science. Результаты исследований были апробированы на всероссийских и международных конференциях и семинарах.

Ссылки на некоторые формулы в тексте автореферата не выровнены по правому краю, также текст автореферата содержит отдельные опечатки, что не влияет на научные результаты работы.

Результаты, представленные в диссертации, являются оригинальными и представляют несомненный интерес для специалистов, работающих в

области численных методов и теории управления движением динамических систем. Полагаю, что диссертация Каспировича И.Е. выполнена на хорошем уровне и удовлетворяет всем требованиям, представленным к кандидатским диссертациям.

На основании материалов автореферата можно сделать вывод о том, что диссертация удовлетворяет требованиям критерия раздела II Положения о присуждении ученых степеней в государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов», утвержденного Ученым советом РУДН 23.09.2019г., протокол № 12, предъявленным к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7 – теоретическая механика, динамика машин и ее автор, Каспирович Иван Евгеньевич, заслуживает присуждение ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7. Теоретическая механика. Динамика машин.

Профессор кафедры высшей математики,  
НАО Южно-Казахстанский  
государственный педагогический университет,  
кандидат физико-математических наук  
по специальности 01.02.01 Теоретическая механика  
Киргизбаев Жузбай Киргизбаевич



17.10.2023

НАО Южно-Казахстанский  
государственный педагогический университет

Адрес: Республика Казахстан, город Шымкент, 160012. улица  
А.Байтурсынова, 13

Телефон: 21-40-06, E-mail [info@okmpu.kz](mailto:info@okmpu.kz) [okmpu@inbox.ru](mailto:okmpu@inbox.ru)

Подпись Киргизбаева Ж.К.. заверяю



Ученый секретарь:

Байгутова А.М.

Место для печати