

О Т З Ы В официального оппонента

о диссертации Каспировича И.Е. «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.

Диссертация посвящена развитию исследований по одному из основных направлений решения обратных задач динамики – построению уравнений динамики замкнутой системы с заданными свойствами решений. Быстро развивающаяся информатизация и методы искусственного интеллекта приводят к новым задачам разработки новых методов построения уравнений динамики и численных методов решения дифференциальных и дифференциально-алгебраических уравнений. Современная вычислительная техника позволяет за короткое определять решение уравнений движений многомерных систем и на большом интервале времени. Значительные объемы вычислений связаны с накоплением ошибок численного решения и ошибок округлений. Известная информация о свойствах решений систем дифференциально-алгебраических уравнений позволяет оценить отклонения от алгебраических уравнений, описывающих связи, и разработать соответствующие методы ограничения их.

Метод стабилизации связей, накладываемых на механическую систему, был предложен в 1972 г. Баумгартом (J. Baumgarte). Основная причина накопления отклонений от уравнений связей состоит в определении реакций связей исходя из представления уравнений связей первыми интегралами уравнений динамики. Основой метода, предложенного Баумгартом, является построение линейной системы дифференциальных уравнений относительно отклонений от уравнений связей, асимптотически устойчивое тривиальное решение которой соответствует уравнениям связей, составляющим частные интегралы уравнений движений механической системы.

В 1952 г. Н.П. Еругиным был предложен метод построения систем дифференциальных уравнений по известным частным интегралам, основываясь на котором удалось значительно модифицировать решение задачи стабилизации связей. Проблемы моделирования динамики и управления системами различной физической природы выдвигают задачи построения уравнений динамики со стабилизацией связей и приведения их к заданной структуре. В диссертации предложены новые методы построения уравнений динамики механических систем и их аналогов с учетом стабилизации связей.

Представленная диссертация объемом 107 страниц содержит введение, четыре главы, заключение, 18 рисунков и список литературы из 72 наименований.

Во введении приводится краткая история становление проблемы стабилизации связей. Также обосновывается актуальность темы и раскрываются методы исследования.

В первой главе приводятся основные сведения о методах построения уравнений динамики со стабилизацией связей. Приводятся условия представления голономными связями уравнений дифференциальных связей и метод построения уравнений динамики системы с голономными связями на основе принципа Гамильтона-Остроградского. Для построения уравнений динамики используется новый подход. Определяется множество виртуальных перемещений системы, которые после подстановки в выражение интегрального принципа приводят к уравнениям Лагранжа. Реакции связей определяются в соответствии с условиями стабилизации связей Баумгарта и последующих его модификаций. Построены также уравнения динамики неголономных систем в форме уравнений Чаплыгина и уравнений Воронца, указано преимущество использования этих форм. Использование уравнений динамики неголономных систем убедительно иллюстрируется решением задач управления движением саней Чаплыгина и движением двухколесной тележки по заданной траектории на наклонной плоскости.

Вторая глава посвящена исследованию разностных схем численного интегрирования дифференциальных уравнений движения с учетом стабилизации связей. Представлены методы оценки коэффициентов линейной системы уравнений возмущений связей при использовании разностных схем решения уравнений возмущений связей. определена оценка максимального отклонения от уравнений связей. Третий параграф посвящен использованию метода стабилизации связей при решении задачи о качении шара на вращающейся плоскости. Управляемая система, соответствующая динамике тела, имеет сингулярность, преодолеть которую предлагается методом стабилизации связей. Проведенные численные расчеты демонстрируют эффективность метода.

Использование, предлагаемой в работах Баумгарта и его последователей, линейной системы дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами может привести к возрастанию численного решения уравнений динамики замкнутой системы отклонений от уравнений связей. В диссертации предложен метод определения параметров возмущений связей, обеспечивающих заданные пределы отклонений, непосредственно в процессе интегрирования.

В третьей главе при построении систем дифференциальных уравнений заданной структуры по заданным свойствам доказывается связь между функцией стабилизации связей и диссипативными силами, обеспечивающими стабилизацию. Для построения уравнений динамики используется оригинальный метод. Непосредственно по уравнениям связей строится система дифференциальных уравнений второго порядка. Далее эта система с использованием модифицированных условий Гельмгольца, установленных в работе Мейсера (P. Meiser), может быть приведена к форме уравнений Лагранжа.

В четвертой главе исследуется задача моделирования движения многозвенной системы, представляющей мобильный робот или экзоскелет. Получено устойчивое численное решение уравнений динамики с голономными и неголономными связями. Разработаны методы стабилизации частных интегралов уравнений динамики систем оптимального управления. Данный метод в диссертации был использован на примере уравнений задачи Лоудена об оптимальных траекториях космического аппарата переменной массы.

Научная новизна диссертационного исследования состоит в следующем:

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

Б) разработан механизм обхода сингулярных точек при численном интегрировании уравнений динамики с использованием метода стабилизации связей;

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

Г) предложенная модификация метода стабилизации связей в задаче о стабилизации интегралов уравнений движения космической ракеты переменной массы.

В диссертационной работе проведены фундаментальные исследования и предложены решения прикладных задач. Результаты работы были доложены на научных семинарах и научных конференциях. Основные результаты были опубликованы в 10 научных работах, 3 из которых принадлежат списку ВАК.

К недостаткам работы можно отнести следующее:

1) во втором параграфе второй главы недостаточно примеров. Следует представить зависимость отклонения реального решения от аналитического на графике, демонстрирующем доказанную в работе формулу;

2) отсутствует формализация алгоритма по обходу точек сингулярности в четвертом параграфе второй главы;

3) необходимо более подробно представить решение задачи оптимального управления во втором параграфе четвертой главы;

4) в работе имеется ряд незначительных опечаток;

5) в работе недостаточно внимание уделено обзору работ отечественных ученых по вычислительной математике и вычислительной физике. В частности, следовало подробнее описать идеологические близкие к теме рассматриваемой работы консервативные разностные схемы, позволяющие получать решения повышенной точности, за счет того, что в каждой элементарной ячейке учитывался закон сохранения энергии. Но это замечания не влияют на общую положительную оценку работы.

Общая оценка работы. В диссертационной работе в полном объеме была достигнута цель работы: решена актуальная научная проблема в разработке модификаций метода стабилизации связей к исследованию динамики физических систем, которые позволяют получить методы численного решения уравнений динамики с заданными пределами отклонений от уравнений связей.

Диссертационное исследование соответствует разделам 1, 5, 12, 14 паспорта специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин.

Диссертационная работа Каспировича И.Е. выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченное научное исследование. Материал диссертации изложен достаточно ясно и подробно. Полученные результаты полностью соответствуют поставленным в диссертации целям и задачам. Автореферат в достаточной мере отражает содержание работы.

Диссертация удовлетворяет требованиям критериям 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 ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7. теоретическая механика, динамика машин.

Отзыв составил

Доцент кафедры

Математики, эконометрики и информационных технологий

МГИМО МИД России

Доктор физико-математических наук

Гутник С.А.

Дата 09.10.2023



Письмо г-р. С.А. Гутник заверяю
Секретарь

О.В. Шишкина