

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Шимановского Владимира Александровича на тему «Разработка и тестирование эффективных численных алгоритмов компьютерного моделирования динамики систем связанных твердых тел», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Теория компьютерного моделирования динамики систем тел развивается в течение нескольких десятилетий. За это время сложилось несколько направлений, определяющих способы формирования и расчета дифференциальных уравнений в зависимости от классов моделируемых систем, а также требований универсализации программных комплексов. Систематизация, обобщение накопленного опыта и разработка на этой основе новых алгоритмов определяют актуальность работы, представленной к защите.

Систематизация и обобщение основаны на использовании расширенных форм дифференциально-алгебраических уравнений в декартовых и обобщенных, а также гамильтоновых переменных. При этом последние уравнения получены впервые. Проецирование расширенной формы уравнений для декартовых и обобщенных переменных на подпространство возможных перемещений и на ортогональное ему подпространство реакций позволяет получить частные формы в виде систем линейных уравнений относительно обобщенных ускорений (СЛАУ) или в виде разреженной системы дифференциально-алгебраических уравнений (СДАУ) относительно декартовых ускорений и обобщенных реакций (уравнений Лагранжа 1-го рода). Аналогичное проецирование расширенной формы уравнений в гамильтоновых переменных приводит к матричной форме уравнений Гамильтона и к системе уравнений относительно декартовых скоростей, обобщенных импульсов и обобщенных реакций. При этом не требуется вычисление обобщенных и декартовых ускорений. Расширенные и частные формы описывают все варианты записи уравнений динамики систем твердых тел в замкнутой форме, т.е. в виде систем линейных дифференциальных или дифференциально-алгебраических уравнений.

Далее автор разработал методы повышения вычислительной эффективности при решении введенных им систем уравнений. В частных формах уравнений матрицы систем являются положительно определенными. Для заполненных СЛАУ разработан итерационный алгоритм, для разреженных СДАУ – блочная модификация метода Холецкого. В расширенных формах уравнений матрицы не являются положительно определенными. В этом случае для решения используется алгоритм, который приводит к известной рекуррентной форме уравнений динамики.

Для расширенных и частных форм уравнений относительно декартовых и обобщенных переменных определены четыре наиболее эффективных метода решения и для них получены теоретические оценки объема вычислений на одном шаге интегрирования с учетом древовидной структуры моделируемой механической системы и числа степеней свободы в их шарнирах. Эти оценки подтверждены проведенными численными экспериментами. На их основе разработаны диаграммы, позволяющие сделать полезные выводы по использованию той или иной формы уравнений и получить прогноз времени решения.

Достоинством представленной к защите работы является компьютерная реализация всех разработанных методов. При этом комплекс программ позволяет учитывать изменение структуры механической системы в процессе ее функционирования и адаптировать метод решения к этим изменениям. Для синтеза уравнений используется библиотека программ, написанная на языке системы символьных преобразования Maxima. Это является безусловным достоинством, т.к. позволяет исключить избыточные вычисления при расчете матриц систем уравнений и их отдельных блоков. Данный аспект работы достоин отдельного, более подробного рассмотрения.

Разработанный комплекс программ был использован в работе специального конструкторского бюро и верифицирован на основе экспериментальных данных. На него получены свидетельства о государственной регистрации. Все это свидетельствует о высокой степени завершенности выполненной теоретической работы.

Научная новизна полученных результатов состоит в разработке нового уровня обобщения и систематизации применяемых методов составления уравнения динамики систем твердых тел, в разработке верифицированных вычислительно эффективных алгоритмов решения таких систем в зависимости от их структуры, а также рекомендаций по условиям применения алгоритмов.

Обоснованность и достоверность полученных результатов подтверждается логичностью выводов, грамотным использованием методов исследования, соответствием поставленным задачам и экспериментальной проверкой теоретических выводов и результатов.

Сформулированная в диссертации задача имеет важную теоретическую значимость и практическую ценность. Полученные выводы, закономерности и рекомендации не противоречат известным теоретическим и практическим результатам и могут служить основой для решения аналогичных задач, представляя потенциал для дальнейшего развития и углубления методов моделирования.

Замечания:

1. Уравнения динамики относительно обобщенных ускорений, полученные дифференцированием выражения для кинематической энергии (уравнения Лагранжа второго рода) имеют невысокую вычислительную эффективность.

Способы расчета таких уравнений неоднократно совершенствовались вплоть до конца 80-х годов XX века различными авторами. Поэтому не следует связывать данную форму уравнений только с именем Лагранжа.

Отмеченный недостаток не снижает общую положительную оценку и значимость работы. В целом работа выполнена на высоком научном уровне. В ней предложены и исследованы различные варианты составления уравнений динамики систем твердых тел, разработаны вычислительно эффективные методы их решения, которые применены и верифицированы при исследовании конкретных технических систем.

Диссертационная работа «Разработка, обоснование и тестирование эффективных численных алгоритмов компьютерного моделирования систем связанных твёрдых тел» соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, её автор, Шимановский Владимир Александрович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Доктор физико-математических наук (специальность 01.02.01 – Теоретическая механика), начальник отдела ПАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева», 141070, Московская обл., г. Королев, ул. Ленина 4А, тел. +7 (495)-513-60-19, e-mail: Andrey.Yaskevich@rsce.ru

7
А.В. Яскевич
с.ч.ч.24

Я, Яскевич Андрей Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Шимановского Владимира Александровича, и их дальнейшую обработку

А.В. Яскевич

Подпись д.ф.-м.н. Яскевича А.В. заверяю
Главный ученый секретарь научно-технического совета
ПАО «Ракетно-космической корпорации «Энергия»
имени С.П. Королева»,
кандидат технических наук



М.Н. Решетников
06 2024 г.