

ОТЗЫВ

официального оппонента Брискина Евгения Самуиловича, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой «Теоретическая механика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» на диссертационную работу кандидата технических наук Яскевича Андрея Владимировича на тему: «Компьютерные модели динамики стыковки и причаливания космических аппаратов», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.01 «Теоретическая механика»

Актуальность темы исследования.

Диссертация посвящена изучению динамики стыковки и причаливания космических аппаратов. Освоение космического пространства является одной из основных задач человечества вообще, и Российской науки, и технологии, в частности. Решение этой задачи предполагает использование группы космических аппаратов, между которыми предусмотрен как обмен материальными объектами, но и сборки на орбите комплексов, которые невозможно целиком запустить на орбиту с Земли. Поэтому задача стыковки космических аппаратов является важной, а ее решение позволяет преодолеть как указанные, так и другие проблемы.

Для наземных объектов задача стыковки двух или нескольких тел решалась неоднократно. Однако для космических объектов имеются особенности:

- их относительное движение характеризуется шестью степенями подвижности и отсутствием управления перед началом и в процессе контактного взаимодействия, то есть случайными значениями параметров этого движения;

- используется многоэтапная процедура их соединения с использованием нескольких механизмов.

Решение подобных задач возможно на основе обоснованного применения методов теоретической механики, а с учетом использования в стыковочных и других узлах реальных, а не абсолютных твердых тел, и методов механики деформируемого твердого тела. Также необходимы эффективные алгоритмы расчета динамики для оперативного анализа качества стыковки на статистическом множестве начальных условий и для моделирования причаливания в реальном времени.

В связи с этим актуальность представленной диссертационной работы не вызывает сомнений и соответствует требованиям, предъявляемым к

диссертациям по физико-математическим наукам, а результаты исследований вносят вклад в теорию управляемого движения твердых тел.

Научная новизна

Научная новизна диссертации заключается в развитии компьютерных методов формирования и решения уравнений динамики системы абсолютно твердых и деформируемых твердых тел, требующих выполнения минимального числа векторно-матричных операций. Особенностью разработанных методов также является учет контактного взаимодействия между телами различной формы и требующего определения координат точек контакта и расчета упругих деформаций, взаимодействующих тел.

Практическая значимость

Практическая значимость работы в первую очередь обусловлена рассматриваемыми объектами исследований и значимостью реализации обязательных процессов таких как стыковка космических аппаратов при исследовании космического пространства. Результаты исследований были использованы при проектировании процессов стыковки и причаливания с использованием как существующих, так и новых стыковочных агрегатов и устройств. Разработанные автором модели и алгоритмы могут быть востребованы при разработке других мобильных робототехнических систем, периодически объединяющихся в группы для осуществления той или иной общей технологической операции.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Полученные выводы и рекомендации не противоречат известным результатам и являются основой для дальнейшего решения поставленной проблемы, которая, по мнению оппонента, может углубляться и расширяться.

Достоверность полученных результатов подтверждается грамотным применением математического аппарата, логичностью выводов и экспериментальными исследованиями.

Оценка содержания и оформления диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, восьми глав, приложения, заключения и библиографического списка, включающего 290 источников. Общий объем работы 340 страниц, включая 110 иллюстраций и 4 таблицы. Приложение содержит 42 страницы и 5 рисунков.

Во введении обоснована актуальность проблемы, сформулирована цель и задачи исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту, научная новизна. Подтвержден личный вклад автора, практическая

значимость и реализация результатов работы. Представлены сведения об апробации работы.

Первая глава посвящена разработке способа описания динамики стыковочного механизма. Особенность предлагаемого способа – преобразование рассматриваемой механической системы таким образом, что она имеет одну независимую кинематическую цепь. Это приводит к уменьшению количества вычислений.

Во второй главе представлены алгоритмы, обеспечивающие расчет динамики различных классов стыковочных механизмов.

В третьей главе описываются разработанные математические модели деформации отдельных звеньев, входящих в кинематические цепи стыковочных механизмов. Рассматриваются деформации изгиба, кручения, растяжения-сжатия с учетом неупругих сил сопротивления. Последние учитываются ветвями нагрузки и разгрузки, приводящими к гистерезису.

Уравнения динамики стыкуемых космических аппаратов представлены в четвертой главе. В их основе лежат уравнения Ньютона-Эйлера. Используются строительные и расчетные системы координат. Динамика упругих деформаций их конструкции описывается дифференциальными уравнениями в обобщенных координатах. Интегрирование этих уравнений заменено эффективными соотношениями, полученными из аналитического решения уравнений колебаний для постоянного шага интегрирования.

В пятой главе рассматриваются модели и алгоритмы для расчета параметров контакта. Выбранные пары контактирующих геометрических примитивов позволяют с хорошей точностью описать контактирующие элементы стыковочных агрегатов. При аппроксимации поверхностей множествами примитивов для определения контакта используется итерационный алгоритм дихотомии. В результате не требуется составление и решение трансцендентных уравнений.

В шестой главе представлены компьютерные модели динамики стыковки космических аппаратов с использованием стыковочных агрегатов центрального типа. Они основаны на общей методологии, изложенной в главах 1-5, с добавлением модели динамики осевого демпфера и привода. Продемонстрировано хорошее соответствие результатов моделирования экспериментальным данным. Предложены и исследованы модификации стыковочного механизма для снижения нагрузок при стыковке и для расширения его функциональных возможностей.

Компьютерная модель динамики стыковки космического аппарата с применением упруго-адаптивного периферийного стыковочного механизма рассмотрена в седьмой главе. Описан предложенный автором принцип его функционирования, уравнения динамики его платформы получены с учетом

использования дифференциальных шарниров в штангах, разработаны модели его устройств накопления энергии и стягивания. Результаты моделирования стыковки демонстрируют возможность стыковки при максимально допустимых значениях параметров начальных условий.

Краткий исторический обзор, приведенный в начале главы 8, отражает участие автора в проектировании причаливания космических аппаратов с помощью манипулятора и стыковочных агрегатов с самого начала возникновения необходимости выполнения такой операции и его приоритет в использовании 6-степенного станда для ее гибридного моделирования. В главе приводится последняя из разработанных им моделей для расчета в реальном времени динамики манипулятора, перемещающего космический аппарат, использованная для отработки процедуры управления оператором реально выполненного причаливания модуля МИМ-1 к международной космической станции. Разработанные в главах 4 и 5 модели и алгоритмы расчета контактного взаимодействия применены в созданном под руководством автора компьютерном станде моделирования в реальном времени операций причаливания, в которых используются специализированные устройства соединения с простой кинематикой.

Векторно матричные алгоритмы позволяют рассчитать движение целого класса систем тел. При моделировании конкретного механизма они являются избыточными и могут быть оптимизированы в результате их преобразования в последовательность скалярных математических операций. Для автоматизации этого процесса в приложении представлена состоящая из нескольких взаимосвязанных таблиц структура данных для описания векторно-матричных и скалярных выражений. На ее основе разработаны алгоритмы выполнения отдельных операций и исключения избыточных вычислений.

В заключении содержатся основные выводы по работе, корреспондирующие с поставленными задачами и положениями, выносимыми на защиту.

Автореферат в целом достаточно подробно отражает основное содержание диссертации. В нем изложены основные идеи и выводы, показан вклад автора в проведенные исследования, отражена степень новизны и практическая значимость результатов.

Работы А.В. Яскевича опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных журналах. Следует отметить, что обширный и разносторонний перечень его трудов, свидетельствует о комплексном и глубоком подходе к решению научных задач его диссертации. Научные положения, составляющие научную новизну достаточно полно отражены в его публикациях.

Автореферат и диссертация написаны понятным языком, содержание рассматриваемых вопросов и решенных задач изложено четко и логически последовательно. Работа характеризуется смысловой законченностью и целостностью.

Вопросы и замечания по работе.

1. При формировании цели и задач исследования автором не предусмотрена задача разработки алгоритма управления причаливанием и стыковкой, обеспечивающего оптимальность по тому или иному критерию. Более того, по-видимому, было бы целесообразно сформулировать такой критерий, возможно состоящий из нескольких показателей, например, минимальность ударных нагрузок при стыковке, минимум энергозатрат и др. Возможно такие задачи на базе разработанных компьютерных методов предполагается решить впоследствии. Теоретическая и практическая значимость их решения не вызывает сомнений.

2. Автором указано, что при описании относительного движения используются системы координат, связанные с центром масс каждого из тел и строительные оси, связанные с силовыми элементами конструкции космических аппаратов. Однако выбор осей координат $X_I Y_I Z_I$, на рисунке 4.1.1 диссертации нуждается в пояснении. С каким телом они связаны и какова их ориентация? Почему автор отказался от описания движения в неголономной системе координат (в квазиординатах)?

3. Все-таки не совсем ясно в чем преимущество компьютерной модели автора, от модели, например, предложенной Д.Ю. Погореловым и др.

4. Одним из недостатков существующих компьютерных моделей, по мнению автора, является отсутствие универсальных приемов «обеспечения устойчивости численного решения». А чем обеспечивается устойчивость численного решения, предложенного автором алгоритма?

5. Автор называет разработанные им компьютерные алгоритмы «корректными». Может создаться впечатление, что известные разработки других авторов некорректные. Но тогда возникает вопрос как до этого осуществлялась стыковка и причаливание космических аппаратов?

Тем не менее, указанные замечания в целом не снижают ценности работы.


Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа А.В. Яскевича представляет законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований решена крупная научная проблема совершенствования методов расчета динамики

движения системы твердых и деформируемых тел, разработана общая методология моделирования процессов стыковки и причаливания космических аппаратов.

Таким образом диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к докторской диссертации по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика». Ее содержание согласно пунктам 4, 5, 7 паспорта специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика» отвечает следующим областям исследований – механика систем твердых тел, колебания механических систем, механика робототехнических и мехатронных систем и соответствует критериям, установленным п.п. 9-11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (в действующей редакции), а её автор, Яскевич Андрей Владимирович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика.

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук,
профессор


Брискин Евгений Самуилович

Сведения об официальном оппоненте:

Ученая степень	доктор физико-математических наук, шифр специальности 01.02.01, специальность: теоретическая механика;
Ученое звание	профессор;
Организация	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО ВолгГТУ) 400005, г. Волгоград, проспект им. В.И. Ленина, д. 28.
Должность	заведующий кафедрой «Теоретическая механика»
Телефон	(8442) 24-81-13
e-mail	dtm@vstu.ru

