

ОТЗЫВ НА АВТОРЕФЕРАТ

диссертации Яскевича Андрея Владимировича
«Компьютерные модели динамики стыковки и причаливания
космических аппаратов», представленной на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук по специальности
01.02.01 – «Теоретическая механика»

Стыковка космических аппаратов и их соединение с помощью космических манипуляторов лежат в основе создания сложных орбитальных комплексов. Для проектирования этих операций, правильного понимания данных, получаемых при их наземных и летных испытаниях, необходимо корректное, детальное и вычислительно эффективное компьютерное моделирование их динамики. До появления работ соискателя публикации, посвященные моделям с такими свойствами, практически отсутствовали. Поэтому тема представленной им к защите диссертационной работы является, несомненно, актуальной. В работе предлагается общая методология корректного, детального и эффективного расчета динамики стыковки и причаливания и разработанные на ее основе модели конкретных процессов с использованием различных стыковочных агрегатов и механизмов.

Корректное описание движения всех механизмов, соединяющих космические аппараты, обеспечивают дифференциальные уравнения их динамики с учетом внешних контактных, внутренних управляющих и демпфирующих сил и моментов. Для стыковочных механизмов различных типов как многоконтурных систем многих тел автор определил их общие структурные свойства, выбрал известный способ снижения размерности уравнений динамики за счет решения уравнений контурных связей, дополнив его новыми аналитическими решениями этих уравнений для координат. Далее этот метод он использовал в оригинальной комбинации с известными наиболее эффективными алгоритмами расчета динамики без избыточных векторно-матричных операций, дополнил их собственным алгоритмом расчета реакций, действующих в основании механизмов на стыкуемый космический аппарат.

Для улучшения соответствия результатов моделирования экспериментальным данным автором разработаны модели деформации отдельных звеньев и устройств демпфирования с потерями энергии в виде гистерезиса. Предложенное описание этого эффекта основано на кусочно-линейной аппроксимации экспериментальных данных, что оправдано вследствие отсутствия теории возникновения гистерезиса для сложных конструктивных сборок. Такой подход позволяет детально учесть особенности деформации конкретной конструкции и реализовать простой алгоритм расчета ее реакции.

В моделях динамики стыкуемых космических аппаратов как свободных твердых или деформируемых тел используется известная комбинация уравнений Ньютона-Эйлера и уравнений упругих обобщенных деформаций, определенных на собственных формах колебаний конструкции. Положительным моментом является совместимость разработанной модели движения конечно-

элементными моделями деформации конструкции конкретных космических аппаратов в формате NASTRAN. Новизна подхода в данном случае заключается в использовании простых соотношений для расчета упругих колебаний на очередном шаге интегрирования, основанных на аналитическом решении их уравнений.

Контактные реакции агрегатов при стыковке вычисляются на основе вычисления величины контактного внедрения и использования параметров контактной жесткости, то есть без увеличения размерности уравнений динамики. Контактующие поверхности описываются наборами простейших геометрических фигур, что обеспечивает детальность описаний, позволяет находить параметры контакта с помощью аналитических выражений. Такой подход отличается новизной и высокой скоростью вычислений.

На основе общей методологии разработаны новые модели динамики стыковки с учетом конкретных особенностей стыковочных механизмов центрального и периферийного типа. Для стыковки с использованием существующего механизма центрального типа продемонстрировано хорошее совпадение результатов моделирования и данных испытаний на 6-степенном стенде. На основе большого объема моделирования определены модификации кинематики, позволяющие снизить контактные нагрузки и адаптировать стыковочный механизм к различным вариантам пассивных агрегатов. Для периферийных механизмов предложен новый упруго-адаптивный принцип функционирования, улучшающий сцепку, разработаны модели управляемых устройств накопления энергии и стягивания с помощью тросов. Результаты анализа динамики стыковки подтверждают его применимость в широком диапазоне начальных условий. Разработанные модели динамики и предложенные модификации кинематики стыковочных механизмов отличаются существенной новизной.

Для экспериментальной отработки причаливания автором впервые, еще в 1989 г., был предложен и реализован метод гибридного моделирования на 6-степенном стенде. Рассматривается новая, детальная математическая модель движения канадского космического манипулятора SSRMS, присоединяющего российский модуль МИМ-1 к международной космической станции. Она предназначена для реализации в составе 6-степенного управляемого стенда, который обеспечивает относительное перемещение реальных стыковочных агрегатов и измерение сил их контактного взаимодействия, поступающих в модель движения.

Для анализа динамики причаливания с использованием простых устройств соединения под руководством автора разработан компьютерный стенд моделирования и каркасные геометрические модели для отображения контактного взаимодействия и управления движением.

Для облегчения анализа результатов моделирования стыковки и причаливания используются новые интегрированные средства компьютерной визуализации, динамические мнемосхемы.

Методология моделирования динамики стыковки и причаливания космических аппаратов, модели конкретных механизмов и выполняемых ими процессов, несомненно, обладают научной новизной.

Все разработанные модели были использованы для анализа динамики стыковки и причаливания конкретных космических аппаратов с использованием конкретных механизмов, что определяет их практическую ценность.

По содержанию автореферата можно сделать следующие замечания, не снижающие общую оценку работы.

1. Хотелось бы увидеть конкретные численные значения показателей быстродействия программ расчета динамики.
2. Возможно, из-за недостатка места не показано, как учитывалось демпфирование при упругих деформациях стыковочных механизмов и исполнительного механизма манипулятора.

Автореферат позволяет сделать вывод о том, что представленная к защите диссертация является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей всем критериям, установленным п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в редакции от 01.10.2018, с изменениями от 26.05.2020). Ее автор Яскевич Андрей Владимирович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика».

Отзыв составил

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой робототехники и мехатроники Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

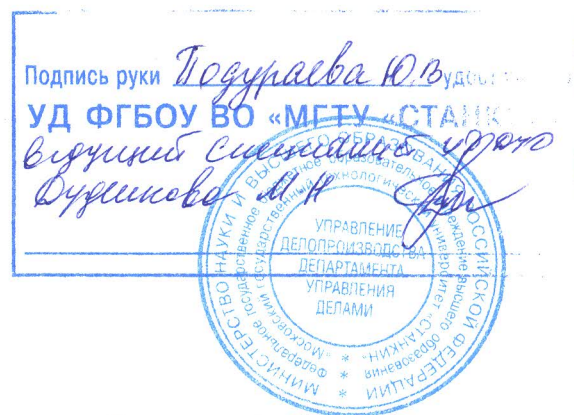
12 марта 2021 г.



Подураев Юрий Викторович

Тел. 8-499-9729436

E-mail: poduraev@mail.ru



Почтовый адрес: 127994, Москва, ГСП-4, Вадковский пер., д.1