



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт машиноведения им. А.А. БЛАГОНРАВОВА
Российской академии наук
(ИМАШ РАН)

101990, г. Москва, Малый Харитоньевский пер., дом 4.
телефон: (495) 624-98-00, факс: (495) 624-98-63, e-mail: info@imash.ru, www.imash.ru
ОКПО 00224588, ОГРН 1037700067492, ИНН 7701018175, КПП 770101001



УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
ИМАШ РАН по научной работе
Д.Т.Н., профессор

М.Н. Ерофеев

« 26 » февраля 2021 г.

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»

Операции стыковка и причаливание (соединение с помощью манипулятора) космических аппаратов (КА) являются одними из ключевых в пилотируемых космических программах. Проектирование, испытания и реализация таких технологически дорогих динамических операций в современных условиях невозможны без их предварительного компьютерного моделирования. В работе определены требования корректности, детальности и вычислительной эффективности, которым должны удовлетворять компьютерные модели динамики, представляющие практический интерес для космической отрасли.

В силу различных причин до появления данной работы, компьютерные модели, соответствующие упомянутым требованиям, отсутствовали. Поэтому тема диссертации, посвященная разработке теоретических основ создания корректных, детальных и вычислительно эффективных моделей динамики стыковки и причаливания, является, безусловно, актуальной.

Корректность и детальность моделирования в работе обеспечиваются, прежде всего, тем, что сложные пространственные стыковочные механизмы с несколькими степенями свободы представляются системами твердых тел с кинематическими контурами, движение которых описывается дифференциальными уравнениями.

В работе определены основные свойства стыковочных механизмов и выбран метод, позволяющий исключить из уравнений их динамики все зависимые переменные. Коэффициенты этих уравнений вычисляются с помощью комбинации векторно-матричных алгоритмов, дополненных оригинальным алгоритмом расчета сил и моментов, действующих в основании стыковочных механизмов на КА. Избыточность математических операций в векторно-матричной форме автором устраняется переходом к эквивалентным скалярным выражениям.

Для учета потерь энергии при движении и деформации звеньев стыковочных механизмов разработаны новые линеаризованные модели гистерезиса, основанные на формализации экспериментальных данных. Способ расчета текущих реакций деформаций с гистерезисом отличается малым объемом вычислений и универсальностью.

В разработанной методологии моделирования стыкуемые космические аппараты могут рассматриваться как свободные твердые или упруго деформируемые тела. Положительным моментом является то, что собственные формы и частоты тонов упругих колебаний получаются непосредственно из детальных конечно-элементных моделей реальных конструкций. При этом даже при очень большом числе тонов высокая скорость вычислений обеспечивается с помощью полученных автором соотношений, основанных на аналитическом решении для каждого отдельного шага интегрирования.

В работе предлагается способ описания формы контактирующих стыковочных агрегатов с помощью произвольного, но конечного числа простейших геометрических фигур. При этом высокая скорость определения параметров контактов обеспечивается применением новых аналитических решений для каждой пары таких фигур и использованием итерационного метода дихотомии для сложных поверхностей. Контактные реакции определяются через параметры контактной жесткости в виде декартовых векторов сил, то есть без увеличения размерности исходной системы уравнений динамики.

В результате предлагаемый автором общий подход к созданию моделей динамики стыковки отличается корректностью, детальностью и вычислительной эффективностью. На его основе разработаны модели динамики стыковки с использованием стыковочных механизмов различных типов с учетом их индивидуальных особенностей. Для стыковочных механизмов центрального типа автором на основе анализа динамики предложены и исследованы модификации стыковочных механизмов, расширяющие их возможности и снижающие контактные нагрузки. Для периферийного механизма предложена и исследована новая, упруго-адаптивная схема функционирования с использованием управляемых устройств накопления энергии и тросовой системы стягивания.

Для воспроизведения в реальном времени динамики причаливания КА автором впервые предложен и реализован гибридный способ моделирования с использованием реальных стыковочных агрегатов и 6-степенного стенда. В этой части работы основное внимание уделяется математической модели движения космического манипулятора и перемещаемого им КА. Для условий, когда упруго деформируемый исполнительный механизм имеет массу значительно меньшую, чем перемещаемый груз, разработана оригинальная модель динамики, обеспечивающая расчет в реальном времени.

Несмотря на использование отдельных аналитических решений, увеличивающих скорость вычислений, уравнения динамики КА, стыковочных механизмов и манипуляторов решаются численно. Для оперативного анализа большого числа вычисляемых параметров движения и функционирования отдельных устройств автором предложен и реализован оригинальный компьютерный графический инструмент – динамическая мнемосхема. Ее модификации разработаны для каждого отдельного вида динамического процесса. Поэтому название диссертации, в котором акцент делается на компьютерные модели, представляется совершенно оправданным.

Общая методология моделирования динамики стыковки и причаливания космических аппаратов, а также модели конкретных процессов, безусловно, отличаются научной новизной.

Достоверность полученных результатов моделирования подтверждается различными способами тестирования применяемых алгоритмов и сравнением с экспериментальными данными.

Обоснованность теоретических положений и выводов определяется глубокой теоретической проработкой данной проблемы, а практических рекомендаций – большим объемом компьютерного моделирования.

Практическая значимость работы обусловлена непосредственным использованием полученных результатов для проектирования и анализа испытаний дорогих динамических операций стыковки и причаливания КА.

По содержанию автореферата можно сделать следующие замечания.

1. Из автореферата не ясно каким образом 6-степенной стенд воспроизводит операцию стыковки КА и с использованием каких компьютерных программ подтверждается эффективность разработанных моделей применительно к стенду.
2. Декремент затухания каждого тона колебаний конструкций КА в работе определяется на основе экспертных оценок для различных диапазонов собственных частот, что не полностью отражает физическую сторону исследуемых процессов стыковки и причаливания.

Замечания не являются критическими и не влияют на положительную оценку диссертации, которая представляет собой законченную научно-квалификационную работу, соответствующую всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013 г. Ее автор Яскевич Андрей Владимирович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика».

Отзыв на автореферат диссертации рассмотрен и одобрен на заседании научно-технического совета отдела механики машин и управления машинами ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук» 24 февраля 2021 г.

Отзыв составил

Главный научный сотрудник лаборатории компьютерных систем автоматизации производства и информационных технологий ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук»
доктор технических наук, доцент

«24» февраля 2021 г.

Николаев Алексей Владимирович

Ученый секретарь научно-технического совета отдела механики машин и управления машинами ИМАШ РАН

старший научный сотрудник, кандидат технических наук

«24» февраля 2021 г.

Рашоян Гагик Володяевич

*Подпись сотрудников ИМАШ РАН
удостоверено*



*Секция по кадрам
М.В. Бурыкина*