

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
Федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский
университет)»



д. т. н., профессор Равикович Ю. А.
«09» января 2020 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»
о диссертации Нунупарова Армена Мартыновича
«Проблемы механики и управления движением капсульных мобильных роботов и роботов с термомеханическими актюаторами»,
представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика»

Актуальность темы диссертации.

Роботизация в технических приложениях выдвигает новые задачи, для решения которых требуется применять нестандартные подходы и разрабатывать оригинальные алгоритмы. В частности, это касается миниатюризации исполнительных механизмов и приводов. При этом сами роботы, как носители указанных механизмов, также предполагаются миниатюрными. Например, это относится к так называемым капсульным роботам малых размеров. Эти приборы могут перемещаться в условиях агрессивной среды и стесненного пространства, обеспечивая, тем самым, необходимые транспортные операции. Такие механизмы могут найти применение в медицине при диагностике и в лечебных процедурах, в системах обслуживания трубопроводного транспорта и во многих других сферах.

Таким образом, тематика диссертации Нунупарова Армена Мартыновича находится в общем потоке работ, имеющих весьма важные инженерные приложения, и несомненно является актуальной.

Общая характеристика работы.

Диссертация объёмом в 81 страницу машинописного текста состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы из 84 наименований, списка рисунков из 33 наименований и списка из пяти таблиц.

Во Введении представлен обзор развития в исторической ретроспективе тематики локомотивных роботов и, в частности, аппаратов капсульного типа. Дано краткое описание содержания диссертации, развернутое по главам.

Глобальная структура содержания работы состоит в следующем. Первые две главы посвящены рассмотрению динамической модели капсульного робота с теоретической (аналитической) и экспериментальной точек зрения. В то время как третья глава позиционируется особняком и содержит конечномерную аппроксимацию бесконечномерной статической модели термомеханического исполнительного механизма.

Первая глава содержит аналитическое описание динамики капсульного робота. Построена и исследована безразмерная модель физического прототипа данного устройства. Ключевую роль здесь играет достаточно «простая» конструкция, задаваемая схемой: внутреннее тело – пружина – соленоид (корпус) – контакт – горизонтальная неподвижная плоскость. Упругая пружина порождает внутренние колебания в механической системе. Токи в соленоиде порождают периодическую возбуждающую силу. Таким образом, в задаче имеется по крайней мере два колебательных процесса. Эти процессы могут находиться в состоянии резонанса. Основная прикладная задача здесь – обеспечить такой период возмущающих колебаний и такую длительность включения соленоида, которые обеспечивали бы наибольшую среднюю скорость движения центра масс механической системы. Данная задача в диссертации решена. Построены соответствующие параметрические зависимости. Установлено, что с ростом периода возбуждающих колебаний при переходе через резонанс направление средней скорости центра масс меняется на противоположное. Аналогичная зависимость имеет место при росте относительной длительности (на периоде) включения соленоида.

Рассмотрены стационарные движения, которые могут быть реализованы в данной задаче. В частности, получены различные стационарные режимы с различными комбинациями участков покоя, движения вперед или движения назад.

Замечательной особенностью диссертации является наличие экспериментальных исследований модели капсульного робота. Здесь важное значение имеет физическое наблюдение резонансной смены знака средней скорости центра масс системы. Во второй главе построена и рассмотрена экспериментальная модель капсульного робота. Полученные экспериментальные данные при помощи метода наименьших квадратов сравнивались с теоретическими результатами. Обе модели (математическая и физическая) показали хорошую согласованность.

В третьей главе построена конечномерная аппроксимация континуальной модели термомеханического исполнительного механизма: вместо криволинейной конфигурации строится ломаная линия шарнирного многозвенника. В качестве примера рассматривается модель шагающего робота с соответствующим термомеханическим приводом. Численные результаты сравниваются с экспериментом при помощи метода наименьших квадратов. Полу-

чено хорошее согласование. Дополнительно хотелось бы здесь заметить, что на стр. 57 описан алгоритм, напоминающий движение морского краба.

Результаты, полученные автором в главах 1 – 3, являются **новыми**.

Достоверность полученных результатов задается сравнением с данными, полученными экспериментально.

Теоретическая значимость результатов определяется применением фундаментальных результатов теоретической механики и нелинейной динамики.

Практическая значимость работы: Работа, без сомнения, имеет очевидную практическую направленность. В ней решены прикладные задачи, связанные с построением конкретных технических решений при реализации экспериментальных моделей малоразмерных роботов.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 статей. Автор также выступил с докладами на не менее, чем 8 конференциях.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Результаты диссертации рекомендуются к использованию при проектировании, производстве и эксплуатации роботов малых размеров в сферах их применения на различных этапах жизненного цикла этих изделий.

К диссертации имеются **замечания:**

1. Автор использует термин «актюатор», хотя в робототехнике имеется соответствующий русский термин: «исполнительный механизм».

2. В диссертации наблюдается определенный тематический «разброс». В самом деле, главы 1, 2 образуют один концентр, а глава 3 – другой. При этом тематическая и методическая «регуляризация» состоит в том, что а) имеется прикладное единство – в обоих случаях анализируются роботы малых размеров; и б) методическое единство – при физической верификации моделей эффективно применяется метод наименьших квадратов.

3. Обнаружилось досадное разночтение в наименованиях основной рукописи диссертации: «Проблемы механики и управления движением капсульных мобильных роботов и роботов с термомеханическими актюаторами» и текста автореферата к этой рукописи: «Проблемы механики и управления движением мобильных капсульных роботов и роботов с термомеханическими актюаторами». Данное обстоятельство, однако, не снижает содержательного качества работы, а сам автореферат соответствует тексту диссертации.

4. Имеются также мелкие стилистические неточности и опечатки.

Оценка работы в целом.

Диссертация посвящена актуальной теме в области динамики роботов. Полученные в ней результаты несомненно представляют интерес как с общединамической точки зрения, так и с точки зрения робототехнических / мехатронных приложений. В работе эффективно строится алгоритм управления капсульным роботом, обеспечивающий максимизацию средней скорости движения центра масс всего аппарата. Проведенное исследование основано на методах нелинейной динамики и методе наименьших квадратов.

Автор продемонстрировал хорошее владение математическим аппаратом, применяемым по теме диссертации. Упомянутые замечания не снижают

общую положительную оценку научного уровня выполненной диссертационной работы. Результаты диссертации в достаточной степени опубликованы в специализированных журналах по теме работы.

Диссертация Армена Мартыновича Нунупарова «Проблемы механики и управления движением капсульных мобильных роботов и роботов с термомеханическими актюаторами» удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а ее автор, А. М. Нунупаров, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – теоретическая механика.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры мехатроники и теоретической механики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» 12 декабря 2019 г., протокол № 4.

Заведующий кафедрой мехатроники
и теоретической механики
Московского авиационного института (НИУ),
доцент, д. ф.-м. н.



Б. С. Бардин

Профессор кафедры мехатроники
и теоретической механики
Московского авиационного института (НИУ),
профессор, д. ф.-м. н.



И. И. Косенко