

УТВЕРЖДАЮ
Директор Института
механики УрО РАН,
д.т.н. В.Б.Дементьев



2015 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Каравая Юрия Леонидовича «Теоретические и экспериментальные исследования динамики и управления некоторых систем с качением», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 - «Теоретическая механика»

Диссертационная работа посвящена актуальной задаче - изучению свободного и управляемого движения механических систем с качением. **Актуальность** данных исследований определяется, прежде всего, современным развитием мобильных роботов в форме шара, обладающих повышенной маневренностью по сравнению с традиционными колесными мобильными роботами. В представленной работе представлены теоретические и экспериментальные исследования движения сферического робота с расположенной внутри омниколесной платформой, а также экспериментальному исследованию свободного качения однородного диска.

Диссертация изложена на 106 страницах, состоит из введения, четырех глав основного текста, заключения и списка литературы из 119 наименований.

Первая глава посвящена анализу конструкций существующих сферических роботов. Предложена конструкция сферического робота с внутренней омниколесной платформой, для которой представлены кинематические уравнения и неголономные связи, наложенные на рассматриваемую систему. Проведен анализ разработанной кинематической модели, в случае идеальной симметричной подвижной платформы, а также при смещении ее центра масс. Предложена методика определения смещения центра масс реального сферического робота с внутренней омниколесной платформой по двум экспериментально измеренным радиусам кривизны траекторий движения.

Во второй главе рассматривается динамическая модель движения сфероробота с внутренней омниколесной платформой, полученная в виде уравнений движения в квазискоростях с неопределенными множителями Лагранжа. Представлены интегралы движения и найдены частные решения для приведенной системы, для которых проводится исследование устойчивости. Предложен алгоритм расчета управляющих воздействий для движения по заданной траектории на основе численного решения приведенной системы дифференциальных уравнений, описывающих динамику движения сфероробота. Приведен пример численного моделирования для движения сфероробота по прямой из состояния покоя. Полученные результаты численного моделирования показали, что в конце движения по предложенному алгоритму подвижная платформа может совершать хаотическое движение, что вызовет отклонение сфероробота от заданной траектории. Для исключения данной особенности предложен алгоритм управления на основе базовых маневров (гейтов). Возможность применения данного алгоритма подтверждается результатами численного эксперимента для движения сфероробота по прямой из состояния покоя, и поворота при движении с постоянной скоростью.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям управляемого движения разработанной модели сферического робота с внутренней омниколесной платформой. Приведены описание экспериментальной установки для определения положения и ориентации омниколесной платформы сфероробота в процессе движения, методика обработки экспериментальных данных и результаты экспериментов по исследованию влияния смещения центра масс и скорости на траектории движения сфероробота, заданные в виде отрезка прямой и окружности. Результаты данных экспериментальных исследований позволили сделать вывод о применимости более простой кинематической модели управления.

В четвертой главе представлена методика экспериментального исследования качения однородного диска по горизонтальной поверхности, являющегося упрощенной моделью робота-колеса. Данная методика впервые позволила экспериментально подтвердить наличие отрыва диска от поверхности перед его остановкой. Приведены результаты исследований зависимости времени отрыва диска от его массы и материала, из которого он изготовлен. Проводится

анализ звуковых колебаний сопровождающих качение диска и момент его остановки.

В заключении подведены итоги работы.

Научная новизна исследований состоит в следующем:

Разработана новая конструкция сферического робота, приводящегося в движение внутренней платформой с тремя омниколесами, и обладающая повышенной маневренностью. На основе кинематических уравнений движения и неголономных связей, исключающих проскальзывания роликов омниколес относительно внутренней поверхности сферической оболочки и проскальзывание сферической оболочки относительно поверхности, по которой движется сфероробот построена кинематическая модель управления сферороботом. Впервые получена динамическая модель движения сфероробота с внутренней омниколесной платформой в виде уравнений движения в квазискоростях с неопределенными множителями Лагранжа. Проведен поиск неподвижных точек и анализ устойчивости частных решений. Проведены экспериментальные исследования разработанных математических моделей, на основе которых получена оценка возможности их использования для управления движением сферического робота с внутренней омниколесной платформой. Впервые разработан алгоритм планирования траектории движения для идеального случая абсолютно сбалансированной и симметричной внутренней омниколесной платформы, а также с учетом возможного смещения центра масс. Разработана методика определения смещения центра масс для несбалансированной омниколесной платформы, приводящей в движение сферическую оболочку. Доказано, что в общем случае траекторией движения сфероробота с внутренней омниколесной платформой при постоянных управляющих воздействиях является окружность. При исследованиях движения катящегося однородного диска по горизонтальной поверхности разработана экспериментальная методика, позволившая впервые экспериментально обнаружить отрыв диска от поверхности перед остановкой.

Достоверность полученных результатов обеспечивается экспериментальной апробацией всех разработанных теоретических моделей с использованием современных измерительных комплексов.

Отдельно следует отметить высокий технический уровень исполнения разработанных соискателем лабораторных моделей сферического робота с внутренней омниколесной платформой и установки для определения времени отрыва катящегося диска от поверхности перед остановкой. Создание подобных технических систем возможно только при наличии опыта и хороших знаниях в области механики, электроники и программирования.

По диссертации можно сделать следующие **замечания**:

1. При выводе уравнений движения сферического робота рассматривается достаточно упрощенная модель контакта, исключая трение и деформацию, что, возможно, является причиной отклонения реальных траекторий движения сфероробота от расчетных.

2. Экспериментальные исследования движения сферического робота проведены для достаточно простых траекторий движения: прямой и окружности.

3. При проведении экспериментов по исследованию качения однородного диска по поверхности в зависимости от жесткости основания получена только качественная оценка. Также интересным продолжением данных работ является исследование характеристик микроотрывов в зависимости от шероховатостей поверхностей диска и опорной плоскости.

4. Текстовые надписи на некоторых рисунках, представленных в диссертационной работе, неразборчивы.

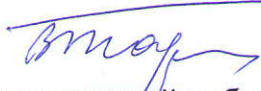
Сделанные замечания не снижают ценность работы, а скорее носят рекомендательный характер для дальнейших направлений исследований.

Заключение. Диссертация Караваяева Ю.Л. является законченным научным исследованием, выполненным на современном математическом и техническом уровнях, результаты которого имеют существенное значение в области исследования динамики механических систем с качением. Основные результаты являются новыми и строго обоснованными. Они полностью отражены в 7 публикациях в журналах из перечня ВАК, из которых 2 опубликованы в зарубежных журналах, входящих в базу данных Web of Science, что также подтверждает высокий научный уровень диссертационной работы. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа на тему «Теоретические и экспериментальные исследования динамики и управления некоторых систем с качением» отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Караваяев Юрий Леонидович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01- Теоретическая механика.

Отзыв обсужден и согласован на совместном заседании научных семинаров лаборатории физики и механики новых материалов и лаборатории физико-химической механики Института механики УрО РАН 22 мая 2015г.

Тарасов Валерий Васильевич



Заведующий лабораторией физики и механики новых материалов
Института механики Уральского отделения РАН,

д.т.н., профессор.

426067, г.Ижевск, ул. Т.Барамзиной, 34.

Тел.: +7 (3412) 20-29-25

E-mail: tvv@udman.ru

Карпов Александр Иванович



заведующий лабораторией физико-химической механики
Института механики Уральского отделения РАН,

д.ф.-м.н.

426067, г.Ижевск, ул. Т.Барамзиной, 34.

Тел.: +7 (3412) 20-34-76

E-mail: karpov@udman.ru