

**Заключение диссертационного совета Д 212.125.14 на базе  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования «Московский авиационный  
институт (национальный исследовательский университет)»  
Министерства образования и науки Российской Федерации  
по диссертации на соискание учёной степени кандидата наук  
аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 19.06.2015 г., протокол № 3**

О присуждении **Караваеву Юрию Леонидовичу**, гражданину РФ,  
ученой степени кандидата физико-математических наук.

**Диссертация** «Теоретические и экспериментальные исследования динамики и управления некоторых систем с качением» по специальности 01.02.01 «Теоретическая механика» (физико-математические науки) **принята к защите** 15 апреля 2015г., протокол № 2, диссертационным советом Д212.125.14 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», 125993, Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4, создан 07.12.2007, протокол № 2397-1807.

**Соискатель** Караваев Юрий Леонидович 1984 года рождения, в 2006г. **окончил** Ижевский государственный технический университет по специальности «Мехатроника». В период подготовки диссертации соискатель обучался в очной аспирантуре кафедры «Мехатронные системы» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Ижевский государственный технический университет», которую окончил в 2010 году. Соискатель **работает** старшим преподавателем кафедры «Мехатронные системы» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего

профессионального образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова».

**Диссертация выполнена** на кафедре «Мехатронные системы» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова».

**Научный руководитель** – доктор физико-математических наук, доцент Килин Александр Александрович, декан физико-энергетического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Удмуртский государственный университет».

**Официальные оппоненты:**

1. Иванов Александр Павлович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической механики ФГБОУ ВПО «Московский физико-технический институт (государственный университет)»;
2. Буров Александр Анатольевич, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник ФГБУН Вычислительный центр имени А. А. Дородницына Российской академии наук;

дали **положительные отзывы** на диссертацию.

**Ведущая организация** - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт механики Уральского отделения Российской академии наук, г. Ижевск, в своем **положительном отзыве**, подписанным д.т.н., профессором В. В. Тарасовым - заведующим лабораторией физики и механики новых материалов и д.ф.-м.н. А. И. Карповым - заведующим лабораторией физико-химической механики, указала, что диссертация является законченным научным исследованием, выполненным на современном математическом и техническом уровнях, результаты которого имеют существенное значение в области исследования динамики механических систем с качением, она отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а её автор, Караваев Юрий Леонидович, заслуживает

присвоения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01- Теоретическая механика.

По диссертации Караваяева Юрия Леонидовича имеются 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.

Отзыв обсужден и согласован на совместном заседании научных семинаров лаборатории физики и механики новых материалов и лаборатории физико-химической механики 22 мая 2015г., и утвержден директором Института механики УрО РАН, д.т.н., профессором В.Б. Дементьевым.

Соискатель по теме диссертационного исследования имеет 13 опубликованных работ, в том числе 7 статей, опубликованных в зарубежных и российских журналах, которые включены в перечень ВАК, 2 статьи в сборниках и трудах конференций, и 4 тезиса докладов в сборниках материалов конференции.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Borisov, A. V., Mamaev, I. S., Karavaev, Y. L., On the loss of contact of the Euler disk // Nonlinear Dynamics. – 2015. - 79(4). - pp. 2287-2294.

2. Karavaev Y. L., Kilin A. A., The Dynamic and Control of a Spherical Robot with an Internal Omniwheel Platform // Regular and Chaotic Dynamics. – 2015. - 21(2). - pp. 134-152.
3. Караваев Ю.Л., Трефилов С. А. Дискретный алгоритм управления по отклонению мобильным роботом с омниколесами // Нелинейная динамика. – 2013. – 9(1). - С. 91-100.
4. Борисов А.В., Мамаев И.С. Караваев Ю.Л. Об отрыве диска Эйлера // Нелинейная динамика. – 2013. – 9(3). - С. 499-506.
5. Килин А.А., Караваев Ю.Л., Клековкин А.В. Кинематическая модель управления высокоманевренным мобильным сферороботом с внутренней омниколесной платформой // Нелинейная динамика. – 2014. -10(1). - С. 113-126.
6. Килин А.А., Караваев Ю.Л. Кинематическая модель управления сферороботом с внутренней динамически несимметричной омниколесной платформой // Нелинейная динамика. – 2014. – 10(4). - С. 497-511.
7. Караваев Ю.Л., Килин А.А. Динамика сфероробота с внутренней омниколесной платформой // Нелинейная динамика. – 2015. – 11(1). - С. 177–194.

На диссертацию и автореферат поступили положительные отзывы:

**Иванов Александр Павлович** (официальный оппонент).

Отзыв заверен ученым секретарем Московского физико-технического института (государственного университета) Ю.И. Скалько.

Замечания по проделанной работе:

1. На стр.45 сказано, что «в общем случае свободное движение рассматриваемой неголономной системы может включать как элементы гамильтонова, так и диссипативного поведения». Данное утверждение нечетко и не аргументировано, и в дальнейшем не используется. Считаю его излишним.

2. Ниже на стр.45 сказано, что «в случае отсутствия силы тяжести вектор

М сохраняется в абсолютном пространстве, и по-видимому является обобщением сохраняющегося вектора кинетического момента в более простых задачах». На мой взгляд, данное предложение не несет какого-либо содержательного смысла и является излишним.

3. В пар. 2.32. проводится исследование устойчивости в первом приближении и делается вывод об отсутствии экспоненциальной неустойчивости для конкретных значений параметров. Получаемое характеристическое уравнение весьма простое, и по-видимому этот вывод можно было бы обобщить (либо опровергнуть) и на другие значения параметров.

**Буров Александр Анатольевич (официальный оппонент).**

Отзыв заверен секретарем Вычислительного центра имени имени А. А. Дородницына Российской академии наук.

Замечания по проделанной работе:

1. В работе обнаружено некоторое количество описок и опечаток, вообще говоря не влияющих на понимание её смысла.

2. Следовало бы пояснить некоторые понятия, появляющиеся в тексте, такие как «новые неголономные системы» (см. Введение), в частности, их отличие от упоминаемых «классических неголономных систем».

3. Задача о движении сферического робота рассмотрена в предположении о том, что взаимодействие между сферой и омниколёсами, равно как и взаимодействие между сферой и подстилающей поверхностью задаются неголономными связями. Вместе с тем, следовало бы обсудить силы, реализующие такие связи. Так в случае описания взаимодействий в рамках модели кулоновского трения, вероятно, могут наблюдаться как явления подскока, так и явления пробуксовки. Иными словами, было бы желательно как-то прокомментировать границы применимости принятых предположений.

**Саратовский филиал ФГБУН «Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова» РАН.**

Отзыв подписан доктором физико-математических наук, профессором, заведующим лабораторией теоретической и нелинейной динамики С. П. Кузнецовым.

Замечания по содержанию автореферата:

В качестве замечания к работе следует отметить, что четвертая глава, посвященная экспериментальному исследованию качения однородного диска, смотрится несколько обособленно от первых трех глав.

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского».**

Отзыв подписан доктором физико-математических наук, заведующим кафедрой теории управления и динамики машин факультета вычислительной математики кибернетики Г.В. Осиповым.

Замечания по содержанию автореферата:

В качестве недостатка можно выделить отсутствие в представленном автореферате отдельно выделенных задач диссертационной работы, однако, данное замечание не снижает качества, проделанной автором научной работы, которая выполнена на высоком уровне и имеет законченный характер.

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения имени А.А. Благонравова РАН (ИМАШ РАН).**

Отзыв подписан кандидатом физико-математических наук, ведущим научным сотрудником С.В. Соколовым.

Замечания по содержанию автореферата:

По представленному автореферату можно сделать следующее замечание: в тексте автореферата пропущены запятая (стр. 13), точка (стр 22) и пробелы в формуле (20) на стр. 14.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием публикаций в соответствующей сфере исследования, компетентностью в области науки по специальности 01.02.01 - «Теоретическая механика» и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработаны** конструкция сферического робота с внутренней омниколесной платформой, кинематическая и динамическая модели его движения, и, построенные на их основе, алгоритмы расчета управляющих воздействий для движения вдоль заданной траектории;

**предложены** методика определения положения центра масс внутренней омниколесной платформы сферического робота на основе экспериментальных данных, алгоритм управления сферороботом с использованием базовых маневров (гейтов) и методики экспериментального исследования финальной стадии качения однородного диска;

**доказано**, что траекторией движения сфероробота с внутренней омниколесной платформой при постоянных неравных угловых скоростях вращения омниколес является окружность, что отсутствует экспоненциальная неустойчивость при равномерном движении сфероробота по прямой, при сохранении подвижной платформой горизонтального положения, а также наличие отрыва диска от поверхности перед его остановкой.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

**выполненные** исследования и полученные результаты непосредственно связаны с фундаментальной проблемой применимости неголономной динамики для описания движения механических систем;

**изучены** частные случаи движения сферического робота с внутренней омниколесной платформой в рамках кинематической и динамической моделей;

**использованы** различные экспериментальные методы для обнаружения отрыва катящегося диска от поверхности перед его остановкой.

На основе указанных методов в представленной диссертации:

**изложены** основные этапы вывода уравнений кинематической и динамической моделей движения сферического робота с внутренней омниколесной платформой в неголономной постановке;

**определены** и изучены траектории движения сфероробота, для которых отсутствует экспоненциальная неустойчивость;

**проведены** численное моделирование движения сферического робота с внутренней омниколесной платформой вдоль заданной траектории в рамках динамической модели, экспериментальные исследования траектории движения сферического робота с внутренней омниколесной платформой в рамках кинематической модели, экспериментальные исследования зависимости продолжительности отрыва катящегося диска перед его остановкой от массы диска.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработанная** конструкция сферического робота с внутренней омниколесной платформой обладает повышенной маневренностью и простотой управления по сравнению с другими конструкциями сферических роботов;

**полученные** математические модели движения могут использоваться для управления сферороботом подобной конструкции в реальных условиях, их адекватность подтверждена экспериментальными исследованиями;

**определены** углы, задающие смещение центра масс подвижной омниколесной платформы сфероробота на основе экспериментальной методики, учет которых позволил повысить точность отработки траектории;

**проведена** апробация разработанных теоретических моделей на практике для специально разработанного лабораторного образца сфероробота и определены границы их возможного применения;

**доказано** наличие отрыва катящегося диска от поверхности перед его остановкой, так же наличие «микротрывов», сопровождающих его свободное качение.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:



все аналитические результаты диссертации получены с использованием хорошо разработанных методов и подходов теоретической механики; выводы работы подкреплены численными расчетами и сравнением с данными, полученными в ходе проведения экспериментов.

Личный вклад соискателя состоит в том, что результаты, представленные в диссертационной работе, получены либо лично автором, либо при его непосредственном участии. Автор выполнил большинство аналитических, экспериментальных исследований и численных расчетов, самостоятельно проводил обработку и интерпретацию всех полученных данных.

На заседании 19 июня 2015 г. диссертационный совет принял решение присудить Караваеву Ю. Л. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 9 докторов наук по специальности 01.02.01 «Теоретическая механика», участвовавших в заседании, из 21 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 16, против 0, недействительных бюллетеней 1.

Председатель  
Диссертационного совета Д 212.125.14  
д.ф.-м.н., профессор

П.С. Красильников

Ученый секретарь  
Диссертационного совета Д 212.125.14  
к. ф.-м.н., доцент

В.Ю. Гидаспов

Ученый секретарь МАИ (НИУ), к.т.н.



А.Н. Ульяшина

19.06.2015