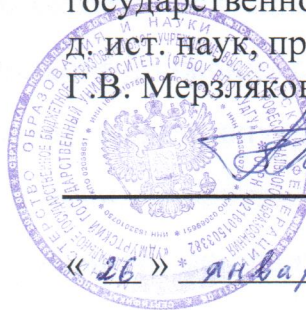


«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор Удмуртского
государственного университета
д. ист. наук, профессор
Г.В. Мерзлякова



« 26 » января 2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации
на диссертацию Сахарова Александра Вадимовича
«Движение мобильного устройства без внешних движителей по
шероховатой плоскости»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
01.02.01 – Теоретическая механика.

Диссертационная работа посвящена исследованию динамики твердых тел с плоским основанием, перемещающихся по шероховатой плоскости за счет смещения внутренних подвижных масс. Прикладной областью применения работы является моделирование движения робототехнических систем с плоским основанием без внешних движителей.

Актуальность работы

Актуальность данной работы подтверждается, прежде всего, интенсивным развитием робототехники в России и мире, расширением областей применения робототехнических устройств в различных отраслях человеческой деятельности, а также растущим количеством публикаций по данной тематике в последние годы.

Оценка научной новизны и практической значимости

Движение робототехнических систем в результате перемещения внутренних масс многократно исследовалось ранее другими авторами. К

существенной научной новизне обсуждаемой диссертационной работы стоит отнести трехмерную постановку задачи, в то время как в других работах по исследованию таких систем, как правило, рассматривается одномерная постановка (поступательное движение системы вдоль прямой).

В работе показано, что перемещения внутри корпуса устройства массивных тел, благодаря расположенным внутри двигателям, позволяет осуществлять произвольные криволинейные движения устройства по плоскости. При этом существенное влияние на динамику системы оказывает не только выбор конфигураций внутренних тел и законов их относительных движений, но и модели касательных и нормальных напряжений в области контакта корпуса устройства и опорной плоскости. Автор рассматривает несколько типичных конфигураций внутренних масс и законов их относительных движений, количественно и качественно исследуется динамика модели устройства. Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования движения реальных робототехнических систем, модели которых рассматриваются в диссертационной работе.

Анализ содержания работы

Диссертационная работа имеет следующую структуру: введение, четыре главы, список литературы и одно приложение. Объем диссертации составляет 118 страниц. Список литературы состоит из 68 наименований.

Во **введении** приводится актуальность темы, степень проработанности, формулируются цель исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** диссертации приводится постановка задачи о получении уравнений движения твердого тела (прямоугольного параллелепипеда) по шероховатой горизонтальной плоскости, содержащего внутри себя произвольный набор внутренних масс,

перемещающихся внутри тела произвольным образом. Определяются используемые в работе модели, находятся уравнения движения тела.

Во **второй главе** рассматриваются поступательные движения тела вдоль горизонтальной шероховатой прямой. В качестве внутреннего подвижного тела используется материальная точка, перемещающаяся параллельно той же горизонтальной прямой по гармоническому закону. Движение корпуса определяется в аналитическом виде в зависимости от частоты осцилляций материальной точки. Кроме того, рассматриваются две материальные точки, одна из которых движется по вертикали, а вторая по горизонтали по гармоническим законам со сдвигом фаз на девяносто градусов. Показывается, что такая конфигурация внутренних масс эквивалентна математическому маятнику. В работе находятся уравнения движения корпуса и маятника, в предположении, что последний управляется моментом, обеспеченным наличием некоторого двигателя. Полученная система численно интегрируется, а результат верифицируется посредством проведения эксперимента.

В **третьей главе** рассматривается поворот тела вокруг своего неподвижного центра масс за счет перемещения внутренних материальных точек. Первая из рассматриваемых конфигураций внутренних материальных точек представляет собой горизонтальный однородный диск, центр которого совпадает с центром масс корпуса. Рассматриваются два закона управления относительной угловой скоростью диска: гармонический и кусочно-линейный. Для первого закона управления показывается, что получающееся уравнение движения идентично уравнению, полученному в первой главе. Для второго закона управления определяются величины параметров закона управления, при использовании которых главный момент сил трения покоя, действующий на тело со стороны плоскости преодолевается. Далее рассматривается тело с двумя материальными точками, двигающимися вдоль параллельных

горизонтальных направляющих в противофазе. Численно определяются оптимальные параметры кусочно-линейного закона управления массами, доставляющие средней угловой скорости тела максимум в установившемся режиме поворота.

В **четвертой главе** изучается трехмерное движение системы, состоящей из тела, с расположенными внутри материальной точкой, способной двигаться вдоль продольной оси симметрии тела и однородным диском, центр которого совпадает с центром тела, а ось вращения может быть направлена либо вдоль продольной оси симметрии корпуса, либо вертикально. Уравнения движения, соответствующие каждому случаю ориентации диска, численно интегрируются, получаемые траектории качественно анализируются в зависимости от параметров системы. Для обоих вариантов расположения дисков приводится программное управление параметром закона управления относительной угловой скорости поворота диска, позволяющее провести корпус по криволинейной траектории. Приводится сравнение величин поворота тел при различных ориентациях диска в зависимости от коэффициента сухого трения.

В **приложении** вычисляется главный центральный момент инерции диска относительно вертикальной оси.

Степень достоверности

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов подтверждается корректностью проводимых математических преобразований, использованием общеизвестных доказанных утверждений, а также многократно проверенных моделей. Численное интегрирование проводится с оценкой погрешности вычислений. Кроме того, полученные результаты сравниваются с теоретическими и экспериментальными результатами, полученными ранее другими авторами.

Замечания по диссертационной работе

1. В рамках работы предполагается, что на основании корпуса устройства действует сила трения, описываемая локальным законом Амонтона-Кулона, использование которого вполне обосновано с точки зрения исследуемых в работе движений с небольшими относительными линейными и угловыми скоростями. Однако, представляет интерес дальнейшее развитие модели с использованием других законов трения, например линейного по модулю скорости, более корректно описывающего движение при больших скоростях вращения.

2. Опорная плоскость в работе предполагается абсолютно твердой. И хотя в качестве модели нормальных напряжений в работе выбрана динамически совместная модель, физической интерпретацией которой может служить представление о наличии малых деформаций плоскости в области контакта, безусловно, представляет интерес исследование системы в рамках упругой или вязко-упругой плоскости. Расширение модели контакта позволит скорректировать полученные результаты и качественно описать новые эффекты.

3. Во второй и третьей главах работы рассматриваются достаточно простые траектории движения мобильных устройств: движение по прямой и поворот вокруг неподвижного центра масс. Лишь в четвертой главе рассматривается проход по S-образной кривой. В то же время представляет интерес исследование возможности реализации более сложных траекторий.

Отметим, что указанные замечания не снижают общей положительной оценки работы, а скорее носят рекомендательный характер для дальнейших направлений исследований.

Выводы по диссертации

Диссертационная работа Сахарова А.В. представляет собой законченную научно-квалификационную работу на актуальную тему.

Новые результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для анализа и моделирования движения робототехнических средств, перемещающихся по шероховатой плоскости без внешних движителей.

Автореферат полностью отражает содержание работы.

Диссертационная работа Сахарова А.В. «Движение мобильного устройства без внешних движителей по шероховатой плоскости» отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией к кандидатским диссертациям, а ее автор – Сахаров Александр Вадимович – заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика.

Данный отзыв обсужден и одобрен на научном семинаре кафедры теоретической физики ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет», «18» января 2016 г., протокол № 1.

Профессор кафедры теоретической
физики
д.ф.-м.н.

Килин Александр Александрович

Почтовый адрес: 426034, г. Ижевск, ул. Университетская, 1

Телефон: +7(3412) 500-295

Адрес электронной почты: aka@rcd.ru

Организация – место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Удмуртский государственный университет»

Web-сайт организации: <http://udsu.ru/>

Заведующий кафедры
теоретической физики
к.ф.-м.н.



Лебедев Владимир Геннадьевич

Почтовый адрес: 426034, г. Ижевск, ул. Университетская, 1

Телефон: +7(3412) 916-130

Адрес электронной почты: lvg@udsu.ru

Организация – место работы: Федеральное государственное бюджетное
учреждение высшего профессионального образования «Удмуртский
государственный университет»

Web-сайт организации: <http://udsu.ru/>