

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и
программам развития
Московского физико-технического
института (государственного
университета)



Баган Виталий
Анатольевич

2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию **Панёва Александра Сергеевича**
«Исследование движения тела по горизонтальной плоскости под влиянием
перемещения внутренней массы»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.02.01 — «Теоретическая механика»

Диссертационная работа Панёва А.С. посвящена исследованию динамики механической системы, движущейся посредством перемещения внутренней массы. Рассматриваемая механическая система состоит из твердого тела (корпуса), находящегося на горизонтальной шероховатой плоскости и материальной точки (внутренней массы), движущейся внутри корпуса по окружности, центр которой совпадает с центром масс корпуса. Угловая скорость радиус-вектора, задающего относительное положение внутренней массы, постоянна. Рассматривается движение системы в вертикальной плоскости. Анализ проводился для двух случаев: когда между корпусом и опорой действует только сила сухого трения, и когда действует как сила сухого, так и сила вязкого трения.

В последние годы наблюдается существенный рост числа публикаций по динамике и управлению мобильных систем, содержащих внутренние подвижные элементы. **Актуальность таких исследований** обусловлена необходимостью создания робототехнических устройств, движение которых осуществляется за счет перемещения внутренних масс. Для данных мобильных устройств не требуются внешние движители (колеса, гусеницы), поэтому в конкретной технической

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ
Вх. № 19 / 11 / 2018

реализации они могут быть защищены от негативных внешних воздействий замкнутой оболочкой. Это делает их перспективными для использования в агрессивных средах. Кроме того, капсульные роботы такого типа могут использоваться для инспекции трубопроводов или доставки лекарств по сосудам пациентов.

Таким образом, тема диссертации имеет не только **теоретическое**, но и **прикладное значение** на этапе проектирования мобильных роботов.

Диссертация изложена на 112 страницах, состоит из введения, трех глав основного текста, заключения и списка цитируемой литературы из 98 наименований.

Во **введении** обосновывается актуальность работы, приводится краткий литературный обзор полученных ранее результатов исследований по динамике и управлению движением механических систем, содержащих подвижные внутренние элементы.

В **первой главе** проведён анализ движения корпуса, несущего подвижную внутреннюю массу при его нулевой начальной скорости. Сначала рассмотрен случай, когда между корпусом и поверхностью действует только сила сухого трения, а затем результаты обобщены на случай, когда учитываются как силы сухого, так и силы вязкого трения. В пространстве параметров задачи указаны три области (I, II, III), в которых движение имеет качественно различный характер. В области I корпус движется возвратно-поступательно, совершая за время полного оборота внутренней массы по окружности две остановки, после которых он некоторое время покоится (залипает), а затем продолжает движение в противоположном направлении. В области II корпус за время полного оборота внутренней массы по окружности также совершает две остановки, после одной из которых он остается в покое в течение конечного интервала времени, а после другой – сразу начинает движение в противоположном направлении. В этом случае скорость корпуса меняется периодически, а перемещение корпуса за период отлично от нуля. В области III за время полного оборота внутренней массы по окружности корпус совершает ненулевое перемещение, его скорость дважды меняет направление на противоположное, а движение происходит без интервалов залипания. В этом случае ни скорость, ни координата корпуса не являются периодическими функциями времени.

Вторая глава диссертационной работы посвящена анализу движения системы при произвольной начальной скорости в случае, когда между корпусом и поверхностью действуют только силы сухого трения. Сложность качественного анализа динамики корпуса состоит в том, что правая часть его уравнения движения имеет разрыв. Последнее обстоятельство, в частности, приводит к тому, что для данного уравнения не будет выполнено условие единственности задачи Коши. В диссертационной работе доказана правосторонняя единственность и правосторонняя непрерывная зависимость решений уравнения движения от начальных условий и параметров задачи, а также доказан ряд утверждений о

свойствах монотонности решений. Данные утверждения позволили автору диссертационной работы выполнить подробное и полное исследование поведения интегральных кривых уравнения движения для всех допустимых значений параметров. Строго аналитически показано, что при любых допустимых значениях параметров существует режим движения с периодически меняющейся скоростью. Характер указанного периодического движения зависит от параметров задачи. Дана полная классификация и качественная характеристика всех возможных типов периодических движений. В частности, показано, что в области III движение корпуса с периодически меняющейся скоростью происходит без интервалов залипания. Установлено, что при любой начальной скорости корпус либо асимптотически приближается к периодическому режиму, либо выходит на него за конечный промежуток времени.

Третья глава посвящена движению корпуса при произвольной начальной скорости, когда в системе имеются как силы сухого, так и силы вязкого трения. Для каждой области (I, II, III) проведен детальный анализ поведения интегральных кривых уравнения движения. Строго аналитически показано, что большинство утверждений, доказанных в случае, когда учитываются силы только сухого трения, остаются также справедливыми и в случае, когда между корпусом и поверхностью действуют как силы сухого, так и вязкого трения. Кроме того, показано, что наличие вязкого трения сокращает время выхода корпуса на периодический режим движения с интервалами залипания.

В **заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

1. Для всех допустимых значений параметров задачи показано существование и единственность режима движения с периодически меняющейся скоростью.
2. Проведена классификация и дано полное качественное описание всех возможных режимов движения с периодически меняющейся скоростью.
3. Доказано, что в зависимости от значений параметров задачи движение корпуса выходит на периодический режим либо за конечный промежуток времени, либо асимптотически приближается к нему.
4. Построено пространство интегральных кривых уравнения движения для всех допустимых значений параметров задачи и проведен его полный качественный анализ.

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректным использованием в диссертационном исследовании современных методов теоретической механики и теории дифференциальных уравнений. Результаты, полученные в работе аналитически и численно, полностью согласуются. Выводы, сделанные в работе, хорошо согласуются с результатами, полученными ранее другими авторами при исследовании некоторых частных случаев данной задачи.

Полученные в работе результаты представляют **теоретическую и практическую ценность** как основа для исследования динамики и поиска оптимального управления более сложных систем, движущихся посредством перемещения внутренних элементов. Они могут использоваться специалистами в областях теоретической механики и робототехники в Московского государственного университета, Московского физико-технического института, Московского авиационного института, Института проблем механики РАН, Института прикладной математики РАН и других образовательных и научных центрах.

По диссертации могут быть сделаны следующие **замечания**:

1. На с. 12 диссертационной работы приведены уравнения движения механической системы. Система (1.2) неполна: отсутствует уравнение, описывающее вращательное движение корпуса.
2. Автор не учитывает возможность опрокидывания корпуса во время движения. По-видимому, следовало указать в тексте, что такая возможность исключается на этапе проектирования при выборе геометрических размеров.
3. На стр.12 (формула (1.2)) не указан смысл переменной g ; можно предположить, что это – ускорение свободного падения. Смущает появление этого же обозначения на стр.31 (формула (1.71)) явно с другим смыслом.
4. В тексте диссертации доказан ряд вспомогательных утверждений, выделенных как леммы. При этом основные результаты глав формулируются на стр. 53, 60, 64, 80, 89, 96 без подобного выделения (лишь отмечены курсивом). Вероятно, следовало оформить их в виде теорем.
5. Основные результаты диссертации (стр.97) не производят впечатления законченного фрагмента. Если их представить в качестве аннотации работы без основного текста, то их смысл вообще неясен.
6. В списке литературы позиции 6 и 11 идентичны.

Указанные замечания не влияют на общее положительное впечатление от диссертационной работы, они не касаются существа основных результатов и не отражаются на их высокой оценке.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Диссертация Панёва А.С. является законченным научным исследованием, выполненным на высоком теоретическом уровне, результаты которого представляют интерес для развития методов динамики механических систем, движущихся за счет перемещения внутренних элементов. Основные результаты диссертации полностью отражены в 9 научных работах, 5 из которых опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК, и приравненных к ним.

Диссертационная работа «Исследование движения тела по горизонтальной плоскости под влиянием перемещения внутренней массы» **соответствует всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней**, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Панёв Александр Сергеевич **заслуживает присуждения** ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «01.02.01 – теоретическая механика».

Отзыв заслушан и одобрен на заседании кафедры Теоретической механики Московского физико-технического института (государственного университета) « 9 » 11 2018 г., протокол № 9 .

Отзыв подготовил д. ф.-м. н., профессор,
заведующий кафедрой Теоретической
механики Московского физико-технического
института (научно-исследовательского
университета)



Иванов Александр Павлович

Ведущая организация:

141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д.9
Московский физико-технический институт (научно-исследовательский университет)
тел. +7(495)4084554, e-mail: info@mipt.ru