



«Утверждаю»

Первый проректор - проректор по научной работе
федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Российский университет дружбы народов»
д.филос.н., профессор Кирабаев Н.С.
«27» ноябрь 2017 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Российский университет дружбы народов» на диссертационную работу
Майорова Андрея Юрьевича «Качественный и асимптотический анализ динамики
неконсервативных систем с квадратичным трением», представленную к защите в
диссертационном совете Д 212.125.14 при ФГБОУ ВО
«Московский авиационный институт (национальный
исследовательский университет)» на соискание учёной степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика».

Актуальность темы диссертации.

Диссертационная работа Майорова А.Ю. посвящена исследованию задач устойчивости и колебаний механических систем с конечным числом степеней свободы под действием неконсервативных, потенциальных и диссипативных сил. К таким задачам можно отнести задачи исследования дискретных механических моделей, описывающих совокупное влияние сил аэродинамического сопротивления и реактивной силы тяги двигателя на поперечные колебания РН, описывающих движение лопасти на упругой втулке несущего или рулевого винта вертолета в плоскости тяги и др.

Наиболее известной задачей из класса неконсервативных систем является изучение парадокса дестабилизации, известного так же как эффект Циглера. В последнее время данный эффект часто рассматривается при исследовании влияния диссипативных сил разной природы на устойчивость и колебания неконсервативных механических систем, моделирующих движения вязкоупругих конструкций, в том числе в вязкой среде. В диссертации исследуется эффект Циглера и колебания в зонах Циглера с учетом линейных и квадратичных (по скоростям) сил трения, в чём и заключается актуальность представленной работы.

Характеристика диссертационной работы по главам.

Диссертация Майорова А.Ю. состоит из введения, трех глав, заключения и списка используемой литературы. Текст работы изложен на 75 страницах. Список литературы включает в себя 62 наименования.



Во **введении** описана актуальность, теоретическая и практическая значимость работы, выполнен обзор литературы, определены цель, задачи и методы исследования.

В **первой главе** исследуются области устойчивости и неустойчивости равновесной конфигурации трёхзвенного стержневого механизма, находящегося под действием сосредоточенной следящей силы, которая приложена к свободному концу третьего стержня. В работе предполагается, что пружины, соединяющие стержни, являются неидеальными (вязкоупругими), и поэтому создают момент демпфирования. Устойчивость положения равновесия исследуется по первому приближению, когда диссипативные силы в пружинах отсутствуют, либо диссипативные силы малы.

Соискателем сформулирован и доказан критерий асимптотической устойчивости положения равновесия системы с тремя степенями свободы в невырожденном случае, когда на систему действуют сколь угодно малые диссипативные силы. С помощью этого критерия получены условия асимптотической устойчивости стержневой системы и условия существования эффекта Циглера.

Во **второй главе** исследуются малые колебания голономной механической системы с двумя степенями свободы в окрестности тривиального положения равновесия. Предполагается, что система находится под действием потенциальных, неконсервативных позиционных сил и диссипативных сил. Диссипативные силы задаются функцией Рэлея, содержащей квадратичную и кубическую формы по обобщённым скоростям.

Для исследования малых колебаний производится замена переменных и вводится малый параметр. Уравнения движений системы приводятся к главным координатам, нелинейные функции представляются разложением в ряд по малому параметру до второго включительно, проводится нормализация системы с использованием метода Кэмила-Хори с последующим усреднением по быстрым переменным. Для одной из четырёх особых точек усреднённых уравнений получены условия асимптотической устойчивости и условия существования эффекта Циглера. При некоторых ограничениях, накладываемых на параметры системы, получены достаточные условия существования инвариантного тора в фазовом пространстве усреднённой системы.

В **третьей главе** исследуется динамика стержневой системы, моделирующей движение лопасти винта на упругой втулке в плоскости тяги. Проводится исследование устойчивости положения равновесия по первому приближению, в предположении, что диссипативные силы отсутствуют либо малы. Получены условия существования зоны Циглера, описана эволюция зоны Циглера в зависимости от изменения параметров задачи. В результате исследований составлен алгоритм приведения линейных уравнений малых колебаний к главным координатам, когда исследуемая система содержит потенциальные, линейные диссипативные и неконсервативные позиционные силы одновременно. Предложенный в работе алгоритм предусматривает большой объем вычислений, что затрудняет использование в прикладных задачах.

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

Научная новизна результатов и выводов диссертации.

Диссертация содержит новые научные результаты в области исследования устойчивости и колебаний неконсервативных механических систем с двумя и тремя степенями свободы. Отличие от ранее известных результатов заключается в следующем:

- Предложена новая трёхзвенная модель, имитирующая поперечные колебания заправочного шланга летательного аппарата. Полученный критерий асимптотической устойчивости с малыми силами трения, и критерий существования эффекта Циглера для трёхзвенной стержневой системы являются новыми результатами в теории неконсервативных систем.
- Для систем с двумя степенями свободы, находящихся под действием потенциальных, неконсервативных позиционных, линейных и квадратичных по скоростям диссипативных сил получены новые результаты: проведена нормализация уравнений на основе метода Кэмила-Хори, построены усреднённые уравнения по медленным переменным, получены достаточные условия существования предельного инвариантного тора усреднённой системы с двумя степенями свободы для случая, когда кубическая составляющая диссипативной функции Рэлея не содержит смешанных членов.
- Описана новая модель движения лопасти винта на упругой втулке в плоскости тяги. Получены условия устойчивости стационарных режимов при наличии малых линейных вязких сил трения, построены области асимптотической устойчивости, неустойчивости и зоны Циглера в плоскости параметров системы.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации.

Постановка задач диссертационного исследования была выполнена автором совместно с научным руководителем – доктором физико-математических наук Красильниковым Павлом Сергеевичем. Автор лично участвовал в разработке и применении методов исследования рассматриваемых моделей, выводе всех формул, доказательстве представленного в диссертации критерия асимптотической устойчивости, разработке исследуемых в работе стержневых механических систем.

Достоверность основных научных положений, выводов и рекомендаций в диссертационной работе Майорова А.Ю. подтверждается математически корректными выводами и доказательствами теорем, представленных в работе, применением строгих законов классической механики, методов современной математики и сравнением результатов, полученных в диссертации, с известными аналогичными исследованиями других авторов.

Результаты проверки диссертации в системе «Антиплагиат».

Результаты проверки диссертации в системе «Антиплагиат» показали, что итоговая оценка оригинальности текста составляет 73%; из имеющихся 27% текстуальных совпадений с другими источниками 18,7% являются совпадениями с опубликованными работами самого А.Ю. Майорова, так что текст, принадлежащий автору, составляет 91,7%; оставшиеся 8,3% текстуальных совпадений с источниками других авторов не

являются существенными и представляют собой общенаучные выражения и высказывания в рамках научного направления, соответствующего тематике диссертации.

Практическая значимость результатов работы.

Полученные результаты исследования устойчивости для трёхзвенной и двухзвенной стержневых неконсервативных систем с малыми диссипативными силами могут быть использованы при моделировании поперечных колебаний заправочного шланга летательного аппарата, а так же для исследования устойчивости других конструкций, моделируемых стержневыми системами, например, для исследования движений лопасти винта в плоскости тяги. Данные результаты могут быть применены в НИИ и конструкторских бюро, занимающихся моделированием космической техники, летательных аппаратов.

Полнота опубликованных научных результатов и апробация.

По тематике диссертации опубликовано 10 работ, из них 3 статьи в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий и рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации для опубликования основных научных результатов диссертации. Все материалы диссертационного исследования достаточно полно отражены в опубликованных работах.

Замечания по диссертационной работе:

1. Анализ проблемы и обоснование постановки задачи исследований отсутствуют в первой главе и представлены в третьей главе. Описание первой главы начинается с постановки задачи исследования динамики трёхзвенного механизма, что приводит к ограниченному восприятию содержания.

2. Следовало подробнее изучить эффект чередования областей устойчивости и неустойчивости, описанный в первой главе диссертации, при произвольных (малых) значениях угла действия следящей силы, рассматривая соответствующую переменную в качестве малого параметра.

3. Полученные во второй главе диссертации усреднённые уравнения представлены только для медленных переменных системы. Следовало бы так же указать уравнения для быстрых переменных. Кроме того, для рассмотренного в диссертации частного случая функции Релея выражения для медленных переменных представляют собой дифференциальные уравнения с разделяющимися переменными, и, следовательно, могут быть проинтегрированы.

4. Во второй главе диссертации представлены результаты исследования устойчивости одной из четырех особых точек усреднённых уравнений для медленных переменных. Отсутствуют сведения о движении в окрестности остальных стационарных точек.

5. Есть некоторые опечатки: уравнения (2.1) и (3.1).

Общее заключение. Диссертационная работа Майорова А.Ю. является законченной научно-исследовательской работой, посвященной актуальной научной проблеме, отличающаяся научной новизной и практической значимостью полученных результатов. Достоверность результатов работы не вызывает сомнений, сами результаты

достаточно полно опубликованы и апробированы. Автореферат полностью и правильно отражает содержание диссертации. По своему содержанию диссертация полностью соответствует специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика».

Диссертация Майорова Андрея Юрьевича «Качественный и асимптотический анализ динамики неконсервативных систем с квадратичным трением» удовлетворяет всем требованиям Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения учёных степеней» (в редакции Постановления Правительства РФ от 28.08.2017 № 1024), а её автор Майоров Андрей Юрьевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика».

Отзыв составлен профессором Института физических исследований и технологий доктором физико-математических наук Р.Г. Мухарлямовым, обсуждён и одобрен на собрании Института физических исследований и технологий (протокол № 3 от 14.11.2017).

Доктор физико-математических наук,
профессор Института физических
исследований и технологий
Российского университета дружбы народов
(специальность 01.02.01 – «Теоретическая механика»)

Р.Г. Мухарлямов

Доктор физико-математических наук, профессор,
Директор Института физических
исследований и технологий
Российского университета дружбы народов

В.И. Ильгисонис

Доктор химических наук, профессор,
декан факультета физико-математических
и естественных наук
Российского университета дружбы народов

Л.Г. Воскресенский

Российский университет дружбы народов (РУДН):
117198, Центральный Федеральный округ, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6.
Телефон: +7(495) 434-70-27.
<http://www.rudn.ru/>
E-mail: rector@rudn.ru

Ильгисонис - 29.11.2017г