

«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.
2018 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации –

**федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования
«Российский университет дружбы народов»
на диссертационную работу
Вишенковой Екатерины Алексеевны
«Исследование влияния высокочастотных вибраций
на устойчивость движения механических систем»,
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 Вишенковой Е.А. посвящена исследованию влияния высокочастотных вибраций на устойчивость ряда частных режимов движения твёрдого тела и системы твёрдых тел в однородном поле тяжести. Эта задача весьма актуальна, так как во многих существующих механизмах неизбежно присутствуют вибрации, что может привести к дестабилизации рабочих режимов или, наоборот, к повышению их динамической устойчивости, или же вызвать совершенно новые эффекты.

Первые исследования в этом направлении появились в начале XX века (А. Стефенсон и др.), достаточно длительное время они были посвящены изучению преимущественно маятниковых систем. Лишь сравнительно недавно началось исследование тел с более сложной геометрией масс: гироскопа Лагранжа, тела с трехосным эллипсоидом инерции (работы А.П. Маркеева, О.В. Холостовой и др.).

Следует отметить, что с механической точки зрения наличие быстрых вибраций эквивалентно, в приближенной задаче, наложению дополнительного вибрационного потенциала. В случае, когда вибрации происходят вдоль вертикали, направление суммарного (вместе с полем тяжести) силового поля не меняется, поэтому ряд частных режимов движения таков же, как в случае отсутствия вибраций. Однако зона существования

(в пространстве параметров задачи) и характер устойчивости могут быть существенно другими. Для вибрационных полей, вызванных невертикальными вибрациями, ситуация сложнее.

Характеристика диссертационной работы по главам.

Диссертация Е.А. Вишенковой состоит из введения, двух частей, заключения и списка используемой литературы. Текст работы изложен на 117 страницах. Список литературы включает в себя 90 наименований.

Во **введении** описана актуальность, теоретическая и практическая значимость работы, выполнен обзор литературы, определены цель, задачи и методы исследования, дано описание содержания диссертации по главам.

В **первой части**, состоящей из четырех глав, проводится исследование устойчивости перманентных вращений тяжелого твердого тела, точка подвеса которого совершает высокочастотные вертикальные гармонические вибрации малой амплитуды.

В **первой главе** приводится вывод приближенной системы автономных дифференциальных уравнений движения тела с произвольной геометрией масс, записанных в форме канонических уравнений Гамильтона, и определяется точность её решений. Приближенные уравнения движения тела записаны также в форме модифицированных динамических уравнений Эйлера – Пуассона. Задача об устойчивости перманентных вращений тела понимается как устойчивость положений равновесия приведенной (по Раусу) системы с двумя степенями свободы. Получено уравнение, описывающее множество допустимых осей перманентных вращений тела (обобщение классического уравнения конуса Штауде для тела с неподвижной точкой). Дано описание множества осей перманентных вращений для тела с центром масс на главной оси инерции и динамически симметричного тела при произвольном расположении центра масс.

Во **второй главе** рассматривается устойчивость перманентного вращения тела вокруг расположенной вертикально главной оси инерции, содержащей центр масс тела, который находится выше или ниже точки подвеса на той же вертикали. Задача зависит от четырех параметров: два из них инерционные, третий характеризует частоту вибрации, четвертый – угловую скорость перманентного вращения. Составлен гамильтониан возмущенного движения. Достаточные условия устойчивости следуют из условий знакоопределенности квадратичной части возмущенного гамильтониана. Необходимые условия устойчивости и условия неустойчивости определяются по корням характеристического уравнения линеаризованной системы уравнений возмущенного движения. В областях выполнения только необходимых условий устойчивости проведена нормализация гамильтониана в слагаемых до четвертой степени включительно относительно возмущений. Получены уравнения поверхности резонанса четвертого порядка и поверхности вырождения. Подробный нелинейный анализ устойчивости осуществлен для двух вариантов геометрии масс тела: динамически симметричного тела и тела, геометрия масс которого соответствует случаю Бобылева – Стеклова. Проведено сравнение результатов с соответствующими результатами для тела с неподвижной точкой.

В **третьей главе** вновь рассматривается тело с центром масс на главной оси инерции. Исследуются перманентные вращения, происходящие вокруг осей из главных плоскостей инерции, примыкающих к указанной главной оси. Эта задача также четырехпараметрическая. Аналитическими, графическими и численными методами

определены достаточные и только необходимые условия устойчивости рассматриваемых вращений. Полученные результаты сопоставлены со случаем тела с неподвижной точкой, отмечены случаи стабилизации и дестабилизации за счет быстрых вибраций. Для всех выделенных областей результаты представлены в виде диаграмм устойчивости. Проведен нелинейный анализ устойчивости, рассмотрены случаи резонансов третьего и четвертого порядков и случай вырождения. Подробный нелинейный анализ выполнен для тех же случаев геометрии масс тела, что и во второй главе.

В **четвертой главе** проводится линейный и нелинейный анализ устойчивости перманентного вращения динамически симметричного тела при специальном соотношении между параметрами, характеризующими частоту вибраций и угловую скорость вращения. Данное вращение обусловлено вибрациями и невозможно в случае тела с неподвижной точкой. Показано, что для этого вращения достаточные условия устойчивости не выполняются, но существует область выполнения только необходимых условий устойчивости. Построена диаграмма устойчивости, рассмотрены резонансные случаи и случаи вырождения.

Во **второй части** исследуется динамика плоского двойного маятника, состоящего из двух тонких однородных стержней, в однородном поле тяжести. Предполагается, что точка подвеса маятника совершает высокочастотные гармонические колебания малой амплитуды вдоль горизонтали. Получена приближенная автономная система канонических уравнений Гамильтона, описывающая движения маятника. В рамках этой системы исследован вопрос об устойчивости четырех относительных равновесий стержней маятника на вертикали. Показано, что устойчивым может быть только нижнее положение равновесия при не слишком больших значениях частоты вибраций точки подвеса. Для этого нижнего положения и случая двух одинаковых стержней маятника проведен нелинейный анализ устойчивости соответствующего периодического движения полной системы. Для системы двух одинаковых стержней решен также вопрос о существовании, бифуркациях и устойчивости (в строгой нелинейной постановке) высокочастотных периодических движений двойного маятника, отличных от движений, происходящих вблизи вертикали. Показано, что, в зависимости от частоты вибрации точки подвеса, таких движений может быть от нуля до шести симметричных пар.

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

Научная новизна результатов и выводов диссертации.

Диссертация содержит новые научные результаты в области исследования динамики твердого тела с различной геометрией масс и двойного маятника при наличии высокочастотных вибраций точки подвеса:

- В приближенной задаче динамики тяжелого твердого тела с произвольной геометрией масс при наличии вертикальных высокочастотных гармонических вибраций точки подвеса получено уравнение конуса допустимых осей перманентных вращений вокруг вертикали, обобщение уравнения конуса Штауде для тела с неподвижной точкой. Дано описание допустимых дуг перманентных вращений в случае расположения центра масс тела на главной оси инерции, а также в случае динамически симметричного тела.

- В рамках приближенной автономной системы канонических дифференциальных уравнений проведено исследование устойчивости перманентных вращений тела для случая расположения центра масс тела на главной оси инерции. Рассмотрены вращения вокруг этой главной оси, а также вокруг осей, лежащих в главных плоскостях инерции, примыкающих к этой оси. В четырехмерном пространстве параметров проведен исчерпывающий анализ устойчивости в линейном приближении данных вращений. В ряде областей найдены достаточные условия устойчивости.
- В областях выполнения только необходимых (не являющихся достаточными) условий устойчивости проведен нелинейный анализ устойчивости исследуемых перманентных вращений. Получены уравнения поверхностей резонансов третьего и четвертого порядков, а также поверхности вырождения. Подробно изучены два частных случая геометрии масс тела, когда тело динамически симметрично или распределение масс в нем соответствует случаю Бобылева – Стеклова. Проверены критерии устойчивости в резонансных случаях.
- Для обусловленного вибрациями частного случая перманентных вращений динамически симметричного твердого тела, когда частота вибраций точки подвеса и угловая скорость перманентного вращения связаны соотношением специального вида, проведен полный линейный и нелинейный анализ устойчивости.
- Исследованы движения системы, состоящей из двух шарнирно соединенных тонких однородных стержней при горизонтальных высокочастотных гармонических вибрациях малой амплитуды точки её подвеса. Для приближенной системы изучена устойчивость четырех положений относительного равновесия на вертикали. Показано, что устойчивым может быть только нижнее (висящее) положение. В случае двух одинаковых стержней вопрос об устойчивости рождающегося из него периодического движения решен в строгой нелинейной постановке.
- Для системы двух одинаковых стержней решен также вопрос о существовании, бифуркациях и устойчивости (в нелинейной постановке) высокочастотных периодических движений малой амплитуды, происходящих в окрестности наклонных положений стержней.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации.

Постановка задач диссертационного исследования была выполнена автором совместно с научным руководителем – доктором физико-математических наук Холостовой Ольгой Владимировной. Содержание диссертационной работы и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы и получены лично автором.

Достоверность основных научных положений, выводов и рекомендаций в диссертационной работе Вишенковой Е.А. обеспечивается применением строгих математических методов исследования, высокой точностью проведенных численных расчетов, а также тем, что выводы, полученные в предельных случаях аналитически, полностью согласуются с результатами численного анализа.

Результаты проверки диссертации в системе «Антиплагиат».

Результаты проверки диссертации в системе «Антиплагиат» показали, что итоговая оценка оригинальности текста составляет 62,08%; из имеющихся 37,92% текстуальных

совпадений с другими источниками 31,22% являются совпадениями с опубликованными работами самой Е.А. Вишенковой, так что текст, принадлежащий автору, составляет 93,3%; оставшиеся 6,7% 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.

Диссертационная работа развивает актуальное направление исследования воздействия высокочастотных вибраций на устойчивость механических систем. Решены новые задачи устойчивости для ряда частных режимов движения твердого тела и двойного маятника при наличии вибраций, получены и описаны новые динамические эффекты. Результаты исследования могут быть полезны при разработке вибрационных механизмов и систем, в том числе используемых в авиационной промышленности и ракетостроении, и анализе их свойств.

Часть результатов диссертации может быть включена в качестве дополнительных глав к общему курсу теоретической механики, а также в спецкурсы по динамике твердого тела и теории устойчивости.

Полнота опубликованных научных результатов и апробация.

По тематике диссертации опубликовано 11 работ, из них 4 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. В работе отсутствует анализ и не выписаны соответствующие соотношения для определения допустимых осей перманентных вращений в случае расположения центра масс тела в главной плоскости инерции.
2. Во второй главе первой части не представлен иллюстративный материал по полученным достаточным и необходимым условиям устойчивости, как это сделано в главе 3.
3. Основной анализ устойчивости в работе сводится к получению необходимых и (а, зачастую, или) достаточных условий устойчивости для рассмотренных частных случаев. Ключевой для современной теории устойчивости вопрос о наличии «зазора» между необходимым и достаточным условиями не обсуждается, равно как и возможности уменьшения этого зазора.
4. По оформлению диссертации. На титульном листе нет указания на соискание какой степени представлена диссертация. В разделе 1.1.5 подразделы нумеруются как разделы более высокого уровня.

Общее заключение. Диссертационная работа Вишенковой Е.А. 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 Вишенковой Екатерины Алексеевны «Исследование влияния высокочастотных вибраций на устойчивость движения механических систем» полностью удовлетворяет всем требованиям п. 9 "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 28 августа 2017 г. № 1024), а её автор, Вишенкова Екатерина Алексеевна, заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика».

Отзыв составлен профессором Института физических исследований и технологий РУДН доктором физико-математических наук Р.Г. Мухарлямовым, обсуждён и одобрен на собрании Института физических исследований и технологий (протокол № 1 от 13.09.2018).

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. Ильгин

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