

ОТЗЫВ

официального оппонента
о диссертации Беличенко Михаила Валериевича
**«Исследование устойчивости частных движений твердого тела
с вибрирующей точкой подвеса»**,
представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.02.01 «Теоретическая механика»

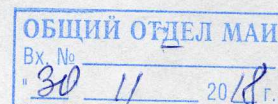
Диссертационная работа Михаила Валериевича Беличенко посвящена исследованию периодических движений тяжёлого твёрдого тела при наличии высокочастотных горизонтальных гармонических вибраций точки подвеса, а также исследованию стационарных вращений и маятниковых движений в задаче о движении волчка Лагранжа при различных высокочастотных периодических колебаниях точки подвеса.

Вопрос влияния высокочастотных вибраций на движение твердого тела и системы твердых тел является актуальной и пока недостаточно исследованной областью механики. Вибрации представляют довольно обычное явление в сложных механизмах, их наличие может привести к потере устойчивости рабочих режимов или, наоборот, расширению зоны устойчивости: возможно появление совершенно новых динамических свойств. Поэтому наличие вибраций необходимо учитывать при эксплуатации механизмов, подавляя их или используя для достижения желаемых эффектов.

С теоретической точки зрения, исследование вопросов существования и устойчивости частных движений твердого тела, одна из точек которого совершает вибрации, представляет развитие классической задачи динамики твердого тела с неподвижной точкой. Наличие быстрых вибраций эквивалентно (в приближенной постановке) добавлению вибрационного потенциала. При этом, если вибрации вертикальны, то многие движения и свойства их устойчивости схожи со случаем тяжелого твердого тела с неподвижной точкой. Случаи вертикальных вибраций ранее исследовались в работах А.П. Маркеева, О.В. Холостовой, Е.А. Вишенковой.

При наличии горизонтальных составляющих вибрации почти все стационарные режимы разрушаются, а динамика тела существенно усложняется. Исследование таких случаев ранее практически не проводилось. В диссертации изучаются периодические движения тяжелого твердого тела с различной (в том числе произвольной) геометрией масс в случае горизонтальных вибраций точки подвеса, а также (в рамках приближенной задачи) стационарные вращения и маятниковые движения волчка Лагранжа с вибрациями точки подвеса в трехмерном пространстве. Эти задачи являются новыми, предшествующие исследования при неvertикальных вибрациях ограничивались рассмотрением маятниковых систем.

Таким образом, актуальность и новизна темы диссертации не вызывает сомнений.



Изложим содержание диссертационной работы по главам. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Во введении обосновывается актуальность темы диссертации и приводится обзор литературы по исследуемой тематике.

Глава 1 посвящена исследованию динамики тяжелого твердого тела с различной геометрией масс, одна из точек которого (точка подвеса) совершает высокочастотные горизонтальные гармонические вибрации малой амплитуды. Рассматривается задача о существовании и устойчивости (в линейном приближении) высокочастотных периодических движений тела. Получена функция Гамильтона тела, при помощи последовательности канонических преобразований она приведена к виду, главная часть которого не содержит независимую переменную. Далее исследуется приближенная автономная система, отвечающая консервативной системе с двумя степенями свободы, в которой к потенциальной энергии силы тяжести добавляется вибрационный потенциал. Помимо гамильтоновых уравнений, используются также модифицированные уравнения Эйлера–Пуассона. Ищутся положения относительного равновесия приближенной системы. Для тела с произвольной геометрией масс, а также для частных случаев, когда центр масс тела лежит на главной оси или в главной плоскости инерции и когда тело динамически симметрично, описаны относительные равновесия, для которых радиус-вектор центра масс относительно точки подвеса вертикален (вертикальные равновесия). Для тех же частных случаев найдены боковые равновесия, когда радиус-вектор центра масс наклонен к вертикали. Получены необходимые и достаточные условия устойчивости и условия неустойчивости вертикальных и боковых равновесий для указанных частных случаев геометрии масс. Методом Пуанкаре построены высокочастотные периодические решения полной неавтономной системы, рождающиеся из положений равновесия приближенной системы, получены выводы об их устойчивости в линейном приближении.

В главах 2 и 3 исследуются движения волчка Лагранжа в предположении, что точка его подвеса совершает заданные высокочастотные периодические движения малой амплитуды в трехмерном пространстве. Приводится вывод приближенных канонических уравнений движения, описываемых автономным гамильтонианом. Дальнейшее исследование динамики волчка Лагранжа проводится в рамках приближенной автономной системы.

В главе 2 изучаются вопросы существования и устойчивости стационарных вращений волчка для различных вариантов вибрации точки подвеса. Этим движениям отвечают положения равновесия приведенной системы с двумя степенями свободы. Достаточные условия устойчивости совпадают с условиями минимума потенциальной энергии. В точках максимума стабилизация достигается при достаточно большой угловой скорости стационарного вращения (гироскопическая стабилизация), что составляет только необходимое условие устойчивости.

В диссертации рассмотрены три типа законов вибрации точки подвеса волчка. Сначала изучаются случаи, для которых ось волчка может занимать вертикальное положение, что реализуется, когда три средних значения смешанных

произведений компонент скорости точки подвеса равны нулю. Рассмотрены стационарные вращения волчка вокруг вертикали (перевернутый и висящий «спящий» волчок Лагранжа) и вращения вокруг наклонных осей. Найдены достаточные условия устойчивости данных вращений. Для случаев, когда выполняются только необходимые условия устойчивости, проведен нелинейный анализ, опирающийся на известные методы исследования устойчивости автономных гамильтоновых систем с двумя степенями свободы. В трехмерном пространстве параметров задачи определены поверхности резонансов третьего и четвертого порядков и поверхность вырождения. Показано, что для точек поверхности резонанса третьего порядка имеет место неустойчивость, на поверхности резонанса четвертого порядка выделены области устойчивости и неустойчивости.

Далее изучается случай вибраций точки подвеса волчка вдоль наклонной прямой. Построена бифуркационная диаграмма, разделяющая плоскость параметров на области, где имеются два или четыре стационарных вращения волчка. Рассмотрен также случай, когда одно из упомянутых средних значений смешанных произведений компонент скорости отлично от нуля; для этого случая выделены стационарные вращения двух типов. Для всех найденных вариантов проведено исследование как достаточных, так и только необходимых условий устойчивости.

В главе 3 предполагается, что закон вибрации точки подвеса допускает вертикальные положения оси волчка. Приближенная система уравнений движения имеет частные решения, отвечающие маятниковым движениям оси волчка. При этом, в зависимости от соотношения между вертикальной и продольной составляющими вибрации, а также уровня энергии модельной системы с одной степенью свободы, возможны колебания оси в окрестности нижнего, бокового и наклонного положения относительного равновесия и вращения. Проведено интегрирование уравнения маятниковых движений во всем диапазоне параметров задачи. Дается анализ орбитальной устойчивости в линейном приближении описанных маятниковых движений. В областях колебаний и вращений вводятся переменные действие—угол, делается изоэнергетическая редукция и далее исследуется полученная неавтономная система с одной степенью свободы. Помимо описанных параметров, характер устойчивости изучаемых маятниковых движений зависит от соотношения между вертикальной и поперечной горизонтальной составляющими вибрации. В трехмерном пространстве параметров задачи рассматриваются сечения при фиксированном значении одного из параметров, и строится серия бифуркационных диаграмм. Проведен анализ эволюции областей устойчивости и неустойчивости для каждого типа маятниковых движений. Обсуждается возможность стабилизации этих движений за счет подбора интенсивности поперечной составляющей вибрации.

Работа написана очень аккуратно, в процессе чтения текста не было замечено ни одной опечатки. В качестве некоторого недостатка работы следует отметить, что многие промежуточные результаты были получены при помощи чрезвычайно громоздких выкладок, выполненных, очевидно, с помощью программного комплекса символьных вычислений типа Maple. При этом соответ-

ствующие вычисления производились при помощи процедур, не входящих по умолчанию ни в одну из библиотек (специализированных пакетов) основных комплексов символьных вычислений (например, ни в один комплекс символьных вычислений ни встроен по умолчанию метод Депри – Хори преобразования гамильтонианов). Это обстоятельство затрудняет проверку приведённых в диссертации вычислений, результаты которых, зачастую, просто приходится принимать на веру. Вместе с тем, это же обстоятельство подчёркивает умение соискателя работать с современными комплексами символьных вычислений, причём использовать не только процедуры, встроенные в них по умолчанию.

Диссертация М.В. Беличенко «Исследование устойчивости частных движений твёрдого тела с вибрирующей точкой подвеса» является законченным научным исследованием, имеющим теоретическую, практическую и методическую ценность. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Основные научные результаты диссертации были доложены на различных международных и всероссийских конференциях и опубликованы в трех статьях в журналах, входящих в перечень ВАК.

Диссертационная работа удовлетворяет требованиям положениям ВАК о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Беличенко Михаил Валериевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 «Теоретическая механика».

Доцент кафедры
«Теоретическая механика и мехатроника»
механико-математического факультета
Московского государственного университета
им. М.В. Ломоносова, к.ф.-м.н.

А.С. Кулешов

Телефон: +7-(495)-939-36-81, e-mail: kuleshov@mech.math.msu.su

Подпись Александра Сергеевича Кулешова удостоверяю

И.О. декана механико-математического
факультета Московского государственного
университета им. М.В. Ломоносова, д.ф.-м.н.



В.Н. Чубариков