

## Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Родникова Александра Владимировича “Системы с леерной связью и некоторые смежные задачи механики”, представленную на соискание ученой степени доктора физико–математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика

### Общая характеристика работы

Диссертационная работа посвящена исследованию вращений механической системы вокруг центра масс, состоящей из базовой станции (протяженный космический аппарат либо малая планета Солнечной системы) и троса, закрепленного двумя концами со станцией, вдоль которого может перемещаться малое тело (малый спутник). Такую систему принято называть космической станцией с леерной связью.

Диссертация состоит из введения, двух частей, разбитых по главам, и списка литературы (159 наименований). Первая часть, содержащая шесть глав, посвящена изучению относительных движений леерной системы, состоящей из гантели и материальной точки, перемещающейся вдоль троса (леера).

В первой главе исследуются плоские движения относительно центра масс леерной связки в однородном силовом поле. Показано, что задача интегрируема, изучены области связного движения.

Во второй главе исследуются равновесные конфигурации леерной связки на круговой орбите, когда малый параметр задачи, обусловленный спутниковым приближением, равен нулю (невозмущенные движения). Описаны 4 типа положений равновесия (по четыре конфигурации в каждом типе), исследована устойчивость некоторых равновесий. Описаны также некоторые возмущенные конфигурации.

В третьей главе исследованы движения груза на леере с учетом возможности схода со

связи при условии малой массы подвижного груза. Рассмотрены «вертикальные» и «горизонтальные» положения гантели на орбите, построены фазовые портреты колебаний с областями схода со связи.

Четвертая глава посвящена классификации безударных траекторий груза, то есть траекторий, состоящих из участков связного и свободного движений, переход между которыми осуществляется без скачков. Описано формальное условие безударного схода со связи (входа на связь) в виде равенств нулю первой и второй производных некоторой функции времени. Получены условия существования безударных траекторий для «горизонтальной» и «вертикальной» гантели. Подробно исследуются периодические безударные траектории, построена диаграмма существования таких движений.

В пятой главе исследуется возможность мягкого захвата (без удара) неуправляемой точки леерной связью. Описываются различные типы захватов, построена диаграмма зависимости типа захвата от параметров.

Шестая глава посвящена исследованию колебаний системы в окрестности «сепаратрисного движения», при котором траектории гантели стремятся к «горизонтальному» равновесию. Дело в том, что влияние подвижной массы на леере на вращение гантели вокруг центра масс существенно только в окрестности сепаратрисы. Получены приближенные уравнения движения гантели с подвижной точкой на леере в окрестности «горизонтального» положения равновесия, исследованы их асимптотические решения, построена поверхность начальных условий, исследованы асимптотики этой поверхности.

Вторая часть диссертации состоит из пяти глав. Эта часть диссертации посвящена исследованию положений равновесия материальной точки, находящейся в гравитационном поле массивного динамически симметричного тела (астероида), совершающего регулярную прецессию, и связанного с ним посредством леера. При этом силовая функция тела

приближается силовой функцией двух материальных точек, расположенных на оси динамической симметрии и жестко соединенных друг с другом. Исследуются возможные положения равновесия и их устойчивость как в случае нулевой силы натяжения леера, так и в том случае, когда леерная связь напряжена.

В седьмой главе исследуется устойчивость треугольных точек либрации обобщенной ограниченной круговой задаче трех тел. Под обобщенной задачей трех точек подразумевается задача о движении пассивно - гравитирующей точки в силовом поле двух действительных масс, соединенных жестким стержнем. Получены условия устойчивости треугольных точек либрации в первом приближении в пространстве параметров системы.

В восьмой главе исследуются компланарные точки либрации, принадлежащие плоскости, образованной осью прецессии твердого тела и осью динамической симметрии. Изучается их число, местоположение. Приводится анализ устойчивости этих точек при некоторых значениях параметров.

Девятая глава посвящена исследованию треугольных и компланарных точек либрации для случая комплексных притягивающих масс, расположенных друг относительно друга на комплексных расстояниях. Получены трансцендентные уравнения относительных равновесий, проводится анализ количества компланарных точек либрации, их классификация по признакам «внешних», «внутренних» и «центральных» точек либрации.

В десятой главе исследуется задача о движении материальной точки, связанной тросами с полюсами симметричного твердого тела при условии, что гравитационный потенциал тела не зависит от поворотов тела вокруг оси динамической симметрии. Выделены интегрируемые случаи, строятся фазовые портреты редуцированной по Раусу системы уравнений.

В одиннадцатой главе продолжается изучение множества положений равновесия при разных способах крепления подвижной точки с твердым телом, с отличной от нуля реакции

леера и с «произвольным» потенциалом, не зависящим от поворотов тела вокруг оси динамической симметрии. Показано, что нет равновесий, отличных от «компланарных» и «треугольных». Исследуется возможность стабилизации равновесий с помощью фиксации точки на леере, получены условия стабилизации точек либрации. Рассмотрено также множество положений равновесия на леере, когда гравитационный потенциал твердого тела аппроксимируется потенциалом двух точечных масс. Исследуются кривые равновесий, описаны различные типы компланарных равновесий.

#### Актуальность темы исследования

Актуальность темы исследований связана с необходимостью исследования космического пространства с помощью орбитальных станций, в состав которых входят подвижные элементы. Диссертация посвящена динамике таких объектов.

#### Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов

Достоверность исследований обусловлена применением строгих законов классической механики и методов современной математики, опирается также на сопоставление теоретических выводов с результатами компьютерного моделирования.

#### Новизна научных результатов.

Все одиннадцать глав диссертации содержат новые результаты, опубликованные в ведущих научных журналах.

#### Практическая значимость результатов, полученных автором.

Тема исследований имеет несомненное прикладное значение. К примеру, первая часть диссертации посвящена описанию динамики космических объектов, элементы которых могут перемещаться относительно друг друга, но в то же время надежно соединены между собой с помощью гибких тросов. Вторая часть диссертации ориентирована на исследование малых

небесных тел с помощью космических аппаратов, находящихся вблизи поверхности небесного тела и удерживаемого в его окрестности либо силой гравитационного притяжения (достаточно малой), либо реакциями тросов, жестко закрепленных своими концами с небесным телом.

### Замечания по диссертации

1. Есть опiski в тексте диссертации: нет описания угла  $\gamma$  как эксцентрической аномалии (стр. 36); неравенство  $E > 0$  на стр. 41 следует заменить на  $E < 0$
2. В главе 2 вводится малый параметр  $\varepsilon$ , обусловленный спутниковым приближением модели. Исследуются невозмущенные движения механической системы ( $\varepsilon = 0$ ). Асимптотика  $\varepsilon \rightarrow 0$  предполагает стремление к бесконечности начального значения радиуса вектора центра масс системы. На бесконечности силовое поле гравитационного центра притяжения (Земли) однородно, либо равно нулю. Однако в диссертации рассматривается неоднородное силовое поле (присутствуют первый и второй члены силовой функции). Поэтому физичности (реальности) решений невозмущенной задачи требует дополнительного обоснования.

Результаты работы могут быть использованы в научно–исследовательских и учебных институтах: ИПМех РАН, ИПМ РАН, МГУ, МАИ и др. Выводы диссертации полезны для специалистов, занимающихся вопросами эксплуатации космических станций.

Диссертационная работа выполнена на высоком математическом уровне и носит законченный характер, она соответствует научному направлению 01.02.01, язык изложения ясный и понятный. Основные научные результаты автора опубликованы в 14-ти статьях журналов списка ВАК.

Автореферат соответствует содержанию диссертации. Результаты исследований вносят существенный вклад в космическую динамику и представляют собой новое научное направление в динамике механических систем со связями.

Диссертационная работа отвечает всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям. А.В. Родников – автор диссертации “Системы с леерной связью и некоторые смежные задачи механики” – заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика.

Официальный оппонент, д.ф.-м.н., проф.

Красильников П.С.

электронная почта: [krasil06@rambler.ru](mailto:krasil06@rambler.ru)

тел.: 499 158 43 95

Подпись проф. Красильникова П.С. удостоверяю:

Декан факультета «Прикладная математика и физика»

доц. Крылов С.С.

Ученый секретарь Ученого совета МАИ

доц. Ульяшина А.Н.

«\_20\_» \_мая\_ 2015г.