

«Утверждаю»

*Зав* Директор

Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН

академик Б.Н. Четверушкин



« 28 » МАРТА 2014

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на работу Николая Владимировича Анохина

«Управление нелинейными механическими системами с дефицитом  
управляющих воздействий в окрестности положения равновесия»,

представленную на соискание степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.02.01 (теоретическая механика)

**Актуальность избранной темы и её связь с планами соответствующих отраслей науки.** Работа Н.В.Анохина посвящена построению управления нелинейными механическими системами с дефицитом управления в окрестности их положения равновесия. Интерес к таким исследованиям поддерживается работами по управлению антроидными роботами, экзоскелетами и исследованиям по физиологии двуногой ходьбы, которые интенсивно развиваются в последнее время. Этот интерес связан с тем, что задача стабилизации движения двуногого механизма аналогична стабилизации многозвенного маятника относительно его положения равновесия.

**Новизна исследования и полученных результатов.** Теоретическое исследование задачи, рассматриваемой в диссертационной работе, основано на новом подходе - преобразование линеаризованных уравнений системы к канонической форме Бруновского. Получившиеся уравнения позволяют получить уравнение для определения функции Ляпунова специального вида. Эта функция делает возможным исследование системы на устойчивость и получение условий, выполнение которых гарантирует приведение системы в положение равновесия за конечное время. Примененный в работе способ построения функции Ляпунова является новым. Новыми также являются способ вычисления управления, условия сходимости к равновесию для выбранного управления и способ исследования устойчивости маятниковых систем, который основывается на применении математического аппарата, развитого в теоретической части работы.

**Значимость результатов диссертационного исследования.** При оценке научной значимости исследования следует учесть, что любой новый плодотворный взгляд на задачу важен как для развития теории, так и для разработки новых способов управления. С этой точки зрения полученные в работе результаты являются несомненно важными. Они могут найти применение для стабилизации движения антропоморфных механизмов (экзоскелетов) и роботов-андроидов.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений.** Основные результаты исследования с необходимой степенью строгости изложены в диссертации и подкреплены исчерпывающими доказательствами. Проверка законов управления маятниковой системой в окрестности положения равновесия подкреплена численным моделированием поведения системы, результаты которого полностью совпадают с результатами, которые предсказывает теория.

**Оценка содержания диссертации.** В целом работа производит очень хорошее впечатление. Это касается сложности рассматриваемой задачи, математической строгости и даже изяществе изложения основных положений. Исчерпывающе изложено применения развитой в работе теории к маятниковым системам.

Остановимся на недостатках работы.

1. Известно, что теорема Ляпунова об устойчивости предполагает гладкость функции Ляпунова в нуле. В диссертации показано, что построенная функция Ляпунова может быть непрерывно доопределена в нуле. В связи с этим возникает вопрос о достаточности этого условия для доказательства устойчивости.

2. В работе отсутствует явное указание на то, что уравнения движения механической системы известны. Это условие следует из того факта, что при вычислении управления в явном виде используется правая часть уравнений движения.

Заметим, что достаточно часто приведение системы в положение равновесия успешно решается и без привлечения уравнений движения. Примером этого служит известный аттракцион, в котором акробат стабилизируют пирамиду, составленную из стоящих друг на друге людей.

В связи с этим возникает вопрос, насколько вычисленное управление отличается от известных способов, т.е. в какой степени метод приводит к новым результатам. В работе этот вопрос, к сожалению, не осуждается.

3. Наиболее ценным результатом работы является возможность получения условий сходимости системы к положению равновесия. Эти условия важны при проектировании системы управления. К сожалению, в той части работы, которая посвящена исследованию маятниковых систем, этот вопрос не рассматривается.

Знакомство с текстом позволяет сделать вывод о том, что диссертант хорошо владеет современным математическим аппаратом и умеет лаконично излагать свои рассуждения. Работа аккуратно оформлена. В ней практически полностью отсутствуют опечатки, что встречается достаточно редко. В качестве замечаний к оформлению следует упомянуть отсутствие указаний размерности масс и длин звеньев маятников в примерах, которые рассмотрены на страницах 44 и 54.

Основные положения диссертации опубликованы в научной печати, из которых 2 работы, в журналах из списка ВАК. Следует заметить, что в тексте диссертации содержание этих статей воспроизводится практически полностью. Принимая во внимание тот факт, что авторский коллектив этих работ включает 3-х авторов, возникает вопрос о вкладе диссертанта в теоретическую часть работы.

Диссертация Н.В.Анохина является научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение задачи приведения к положению равновесия механической системы с дефицитом управляющих воздействий. Предложенное в работе решение имеет существенное значение для теоретической и прикладной механики. Диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 30.01.2002 г. № 74 (с изменениями, внесенными Постановлением Правительства РФ от 20.06.2011 г. № 475), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 (теоретическая механика), а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени. Отзыв обсужден на заседании научного семинара сектора «Робототехника с элементами искусственного интеллекта» 27 марта 2014 года протокол № 6.

Автореферат диссертации соответствует основным положениям диссертации.

Ведущий научный сотрудник,  
доктор физико-математических наук



В.А. Карташев