

УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор-проректор по научной работе
Российского университета дружбы народов



КИРАБАЕВ Н. С.

« 7 » ноября 2016 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН)

на диссертацию

АДАМОВА БОРИСА ИГОРЕВИЧА

«Применение аппарата неголономных связей в задачах идентификации параметров и управления движением»,

представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика»

В диссертационной работе Б. И. Адамова исследуются задачи теории управления и стабилизации движения, теории адаптивного управления, теории оценивания и идентификации параметров, возникающие в практически значимых областях мобильной робототехники, обработки информации в системах навигации и управления движением и теории гироскопических датчиков класса обобщённого маятника Фуко. Таким образом, выбранная соискателем тема исследования является **актуальной**. В диссертации показано, что ряд задач, возникающих в указанных сферах науки и техники, может быть решён с помощью применения математического аппарата и принципов теории неголономных механических систем.

Диссертационная работа Б. И. Адамова состоит из введения, четырёх глав, заключения списка литературы, содержащего 129 наименований, а также приложения.

Введение содержит общую характеристику работы, подробно рассматривается актуальность темы исследования и степень её разработанности в трудах отечественных и зарубежных учёных.

В **главе 1** проводится обзор научных работ, посвящённых задачам адаптивной идентификации, задачам оценивания с ограничениями (связями) в виде равенств и неравенств, исследованию и синтезу динамики систем различной физической природы с программными связями. Ставится задача адаптивной идентификации (оценивания) параметров для динамических систем с линейными параметрическими моделями и дополнительными условиями, которым удовлетворяют искомые величины (параметрическими связями). Дифференциальное представление таких связей, налагаемых на оценки параметров, позволило привлечь для решения поставленной задачи аппарат неголономной механики. На основе принципа наименьшего принуждения Гаусса было проведено преобразование известных алгоритмов идентификации с целью учёта параметрических связей. Поострены алгоритмы идентификации параметров со стабилизированными связями. Предложен метод стабилизации нелинейных аффинных

систем управления, предполагающий отождествление управляющих воздействий с множителями, соответствующими неголономным связям специального вида.

В **главе 2** построены алгоритмы идентификации параметров системы со связями, соответствующие оптимизации интегральной квадратичной ошибки прогноза и её модификации. Предложена процедура регуляризации дифференциальных уравнений для множителей, соответствующих параметрическим связям. Установлены аналогии между полученными алгоритмами идентификации со связями и алгоритмами синтеза динамики механических систем с сервосвязями. Установлена связь построенного алгоритма идентификации с расширенным фильтром Калмана.

Результаты **главы 1 и 2** используются для нахождения оценок параметров конкретных механических систем: резонатора микромеханического гироскопа (**глава 3**) и роботизированной платформы всенаправленного движения с роликонесущими колёсами (**глава 4**).

В **главе 3** приводится обзор публикаций, посвящённых динамике и идентификации параметров микромеханических и волновых твердотельных гироскопов. Проводится идентификация параметров нелинейной модели кольцевого резонатора волнового твердотельного гироскопа. В процессе оценки характеристик установившихся нелинейных колебаний резонатора выявляются параметрические связи.

Объектом исследования **главы 4** является мобильная роботизированная платформа всенаправленного движения с роликонесущими (Mesapum) колёсами KUKA youBot. Построены уравнения движения этой системы с учётом линейного вязкого трения и податливости в сочленениях тел. Разработаны алгоритмы идентификации параметров робота. Предложен закон формирования управляющих воздействий с целью реализации требуемого закона изменения компонент скорости произвольной точки платформы, рассматриваемого в качестве совокупности программных связей. Полученная процедура формирования управления применена с целью реализации равномерного движения точки платформы вдоль окружности, а также с целью организации погони мобильного робота за подвижным объектом.

Содержание диссертации свидетельствует о владении соискателем современными методами математики и механики: теорией неголономных механических систем, теорией устойчивости и стабилизации движения, теорией детерминированного оценивания, асимптотической теорией сингулярно возмущённых дифференциальных уравнений, что позволяет сделать заключение о **достоверности и обоснованности** полученных результатов.

Основные результаты диссертационной работы были доложены соискателем на заседании научного семинара «Математическое моделирование процессов динамики» кафедры теоретической физики и механики РУДН и на ЛП Всероссийской научной конференции по проблемам динамики, физики частиц, физики плазмы и оптоэлектроники в РУДН.

Теоретическая и практическая ценность, новизна результатов. Рассматриваемая диссертационная работа вносит вклад в развитие теории управления и стабилизации движения механических систем, в теорию оценивания и адаптивной идентификации.

В работе получены **новые** результаты, представляющие интерес с теоретической и практической точки зрения:

1. Математический аппарат неголономной механики успешно применён для решения задач адаптивной идентификации параметров, стабилизации аффинных управляемых систем, реализации программных движений мобильной платформы всенаправленного движения.
2. Установлено, что введение неголономных связей позволяет получить новые классы решений задач, в первоначальной постановке которых связи не фигурируют. К ним относятся задача стабилизации аффинных систем управления и задача оценивания для систем с нелинейной параметризацией.
3. Проведено исследование динамики тех степеней свободы механической системы, поведение которых однозначно не определяется программными связями. В задаче реализации равномерного движения мобильного робота вдоль окружности найдены условия существования и устойчивости стационарных вращений платформы. Удовлетворение таких условий позволяет реализовать простое интуитивно предсказуемое поведение системы.
4. Построен алгоритм расчёта управляющих воздействий для мобильного робота, преследующего подвижный объект, не требующий дифференцирования измерительной информации о координатах преследуемого тела.

К диссертационной работе автореферату имеются следующие **замечания**:

1. В главах 1 и 2 получены оптимальные и субоптимальные алгоритмы адаптивной идентификации со связями, сходимость которых исследована в линейном приближении. Поскольку линеаризованные формы всех упомянутых алгоритмов совпадают, такой анализ не позволяет сделать выводов о преимуществах тех или иных алгоритмов по скорости сходимости оценок параметров и её чувствительности к возмущениям.
2. В разделе 1.6 получен новый класс стабилизирующих обратных связей для аффинных управляемых систем. Ссылаясь в тексте на собственную опубликованную статью, соискатель вскользь упоминает, что предложенная методика построения управления была успешно применена для стабилизации стационарного движения перевёрнутого маятника. Рассматриваемый закон управления представляет интерес с точки зрения нелинейных задач стабилизации движения механических систем и заслуживает подробного изложения в отдельной главе диссертационной работы.
3. Полученные в разделе 4.4 оценки величин осевых моментов инерции мобильной платформы и её колёс представляются достаточно сильно завышенными по сравнению с «номинальными» значениями.
4. В разделе 4.5.3 предлагается алгоритм управления мобильной платформой с целью преследования подвижного объекта. Обзор публикаций о задаче погони и сравнительный анализ результатов отсутствуют.
5. В тексте работы и в автореферате присутствуют опечатки, грамматические и синтаксические ошибки.

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы и не снижают ценности полученных результатов. Основные результаты диссертационной работы достаточно полно отражены в 15 публикациях, 3 из которых входят в Перечень журналов и изданий, утверждённых ВАК РФ.

Диссертация является целостной научно-квалификационной работой. В ней разработаны положения, совокупность которых можно рассматривать как определённый вклад в механику, теорию управления движением, теории оценивания и идентификации параметров. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа «**Применение аппарата неголономных связей в задачах идентификации параметров и управления движением**» соответствует критериям «Положения о присуждении учёных степеней», а её автор, **Адамов Борис Игоревич**, заслуживает присуждения ему и учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика».

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании кафедры теоретической физики и механики РУДН 20 октября 2016 г., протокол № 0200-22-04/03.

Профессор кафедры
теоретической физики и механики
Российского университета дружбы народов,
профессор, д. ф.-м. н. (01.02.01 – «Теоретическая механика»)
раб. тел. +7 (495) 955-07-58
электронная почта: robgar@mail.ru

Мухарлямов Р. Г.

15.11.16

Подпись профессора Мухарлямов Р. Г. заверяю:

Учёный секретарь
Российского университета дружбы народов
профессор, д.ф.-м.н.



Савчин В. М.