

ОТЗЫВ
официального оппонента
о диссертации Анохина Николая Владимировича
"Управление нелинейными механическими системами
с дефицитом управляющих воздействий в окрестности положения равновесия",
представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.02.01 – теоретическая механика

В диссертации Н.В. Анохина развиваются методы управления по принципу обратной связи механическими системами с дефицитом управляющих воздействий. Рассматриваются управляемые системы, динамика которых описывается уравнениями Лагранжа второго рода, в предположении, что число степеней свободы системы больше размерности вектора управляющих сил. Примеры таких систем встречаются в различных областях техники: при проектировании транспортных средств, космических аппаратов, робототехнических устройств и т. д. Разработка алгоритмов управления, эффективных в условиях дефицита управляющих воздействий, позволяет повысить надежность и уменьшить стоимость подобных систем. Таким образом, **актуальность** темы представленной диссертации не вызывает сомнений.

Основное внимание в диссертации уделено задачам приведения механических систем в неустойчивое положение равновесия. В отличие от алгоритмов управления, рассматриваемых в классической теории автоматического регулирования и обеспечивающих асимптотическое приведение системы в терминальное положение, подход, предложенный автором, гарантирует точное приведение системы в терминальное положение за конечное время. Кроме того, управление, построенное согласно предложенному в работе алгоритму, является ограниченным. Это свойство управления важно с практической точки зрения, так как в реальных системах на ресурсы управления всегда наложен ряд ограничений.

Развитый в работе подход к построению управления продемонстрирован на примере решения задачи управления многозвенным маятником. Строится ограниченное управление (управляющий момент в шарнире) в форме синтеза, приводящее маятник в неустойчивое положение равновесия из некоторой окрестности этого положения равновесия за конечное время. Полученный закон управления выражен в форме линейной обратной связи с коэффициентами, нелинейно зависящими от фазовых координат и стремящимися к бесконечности по мере того, как фазовые траектории стремятся к положению равновесия. Тем не менее управляющие функции остаются ограниченными в окрестности терминального положения и обеспечивают успешное приведение системы в нуль за конечное время. Сказанным обусловлена практическая значимость проведенного в диссертации исследования.

Степень обоснованности положений, выводов и рекомендаций диссертации обеспечена строгостью математических постановок задач управления соответствующими

механическими системами и применением для их решения методов классической теоретической механики и теории систем управления.

Достоверность соответствующих положений и выводов диссертации определяется проведенными в работе численными моделированиями рассматриваемых конкретных задач, которые с достаточной точностью подтверждают результаты полученных теоретических выводов и рекомендаций автора диссертации.

Новизна научных результатов, полученных в представленной диссертации, состоит в разработанных автором простых и экономичных алгоритмах управления нелинейными динамическими системами в окрестности положения равновесия, которые основаны на теории линейных матричных неравенств. Кроме того, автором предложено обобщение разработанного алгоритма для одномерного управления на случай многомерного управления, применимого для широкого класса нелинейных управляемых механических систем, динамика которых описывается уравнениями Лагранжа второго рода.

Все результаты, изложенные в главах 2, 3 и 4 диссертации, принадлежат **лично соискателю** и опубликованы в цитируемых статьях автора представленной работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и списка литературы, насчитывающего 87 наименований.

Во введении приведены основные особенности задач, рассмотренных в работе, дан краткий обзор публикаций, посвященных темам, близким к теме диссертации, перечислены основные отличия подхода к построению управления, предложенного автором, от других существующих подходов.

Первая глава носит вспомогательный характер. В ней сформулирована основная задача управления нелинейной механической системой, рассматриваемая в диссертации. Предлагаемый в работе алгоритм управления применим к системам, линейное приближение которых удовлетворяет условию полной управляемости Калмана. Известно, что если это условие выполнено, то линеаризованную в окрестности рассматриваемого положения равновесия систему можно преобразовать к канонической форме Бруновского $z^{(n)} = u$. Алгоритмы преобразования приведены для систем с одномерным и многомерным управлениями. Для линейных систем в канонической форме сформулирована вспомогательная задача управления.

Во второй главе диссертации решается сформулированная вспомогательная задача управления линейной системой и приводится процедура построения управления. При обосновании получающегося закона управления важную роль играет понятие общей функции Ляпунова, т. е. функции Ляпунова, общей для двух устойчивых систем линейных дифференциальных уравнений. Такая функция используется для нахождения коэффициентов обратной связи, используемых в выражении для управляющего воздействия. Предложенный алгоритм построения управления сравнительно прост, а его строгое обоснование не занимает много места.

Управляющая функция, построенная для вспомогательной задачи управления линейной системой в каноническом виде, после преобразования в первоначальные координаты может быть применена к исходной нелинейной системе. В работе показано, что в этом случае исходная система также приводится построенным управлением в положение равновесия за конечное время из некоторой окрестности этого положения равновесия, при этом выполняются ограничения, наложенные на управления.

Вспомогательная задача управления сформулирована для случая скалярного управления. Во второй главе изложена модификация предлагаемого метода для случая управляющего вектора размерности, большей единицы.

В заключение второй главы, с целью иллюстрации, приведены результаты численного моделирования динамики простейшей системы $\ddot{x} = u$, управляемой с помощью предложенного закона управления.

Третья и четвертые главы посвящены решению задач управления нелинейными многозвенными маятниками с помощью момента, приложенного к первому (или последнему) звену.

В третьей главе разрабатываемый метод управления применен к задаче управления плоским многозвенным маятником. Предполагается, что маятник состоит из n звеньев и движется в вертикальной плоскости. Такой маятник имеет 2^n различных положений равновесия, одно из которых является устойчивым, а остальные – неустойчивыми. Единственный управляющий момент приложен к нижнему звену многозвенника. Данная механическая система является классическим примером системы с дефицитом управляющих воздействий. С помощью предложенного в диссертации подхода решена локальная задача приведения маятника в любое из его положений равновесия за конечное время. Эффективность построенного синтеза управления продемонстрирована с помощью численного моделирования управляемых движений трехзвенника.

В четвертой главе диссертации аналогичная задача управления решена для многозвенного маятника с двухстепенными шарнирами. Вектор фазовых координат такого маятника имеет вдвое большую размерность, чем вектор фазовых координат плоского многозвенника, а управляющий момент приложен к первому (или последнему) звену и имеет размерность 2. Здесь используется модификация закона управления для случая многомерного управляющего вектора, изложенная в главе 2. Построен закон управления, приводящий маятник в произвольное положение равновесия за конечное время. Его эффективность также продемонстрирована с помощью компьютерного моделирования динамики трехзвенника.

Диссертация Н.В. Анохина представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научном уровне. В ней содержатся решения ряда задач управления механическими системами, имеющими существенное значение как для теоретической механики, так и для теории управления динамическими

системами. Ее отличает хороший язык, математическая строгость, полнота и подробность изложения материала, наличие иллюстративных примеров.

Полученные автором результаты являются новыми. С ними целесообразно ознакомить специалистов в области теоретической механики, теории управления движением, а также инженерам и специалистам в области робототехники и технических приложений теории управления. Результаты могут найти применение в учебных и специальных курсах для студентов и аспирантов ВУЗов, в научно-исследовательских институтах и проектных организациях, занимающихся анализом динамики сложных технических объектов различного назначения и разработкой систем управления для них. Среди таких организаций можно указать Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Московский авиационный институт, Московский энергетический институт, Институт машиноведения Российской академии наук, Институт проблем механики Российской академии наук, Институт прикладной математики Российской академии наук, Институт проблем управления Российской академии наук, Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана, Институт механики МГУ, Санкт-Петербургский государственный университет и др.

Основные результаты работы опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

По работе имеются следующие замечания.

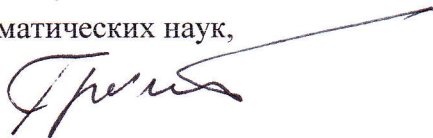
1. В работе реализуется синтез одного (скалярного) управления, который требует информации обо всех фазовых переменных управляемой системы. Такая постановка задачи нуждается в комментариях.
2. Не описана реальная конструкция двухстепенного шарнира многозвенного маятника в главе 4 диссертации (стр. 49).
3. В главе 4 (стр. 49 диссертации) не приведены конкретные уравнения движения рассматриваемой динамической системы. На мой взгляд, стоило хотя бы привести функцию Лагранжа и обобщенные силы системы.
4. Рассматриваемое автором предположение о сложенных звеньях маятника трудно реализуемо на практике и может приводить, вообще говоря, к ударам.

Сделанные замечания, тем не менее, не снижают общей высокой оценки диссертации Н.В. Анохина, как научно-квалификационной работы, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Считаю, что диссертация "Управление нелинейными механическими системами с дефицитом управляющих воздействий в окрестности положения равновесия" удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК Министерства образования

и науки Российской Федерации к кандидатским диссертациям, а ее автор, Анохин Николай Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – теоретическая механика.

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук,
доцент



Розенблат Григорий Маркович

Подпись Розенблата Григория Марковича заверяю.

Документовед
отд. кадров МАДИ

31.03.2014г.



1. Розенблат Григорий Маркович.
2. Московская область, г. Пушкино, Московский проспект, д. 6, кв. 92.
3. Телефон +7 916 870 21 80
4. E-mail - gr51@mail.ru
5. Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), профессор кафедры теоретической механики.