

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Пономарева Дениса Викторовича *«Импульсно-скользящие режимы дифференциальных включений с приложением к динамике механических систем с трением»*, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.02 – Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление.

Диссертационная работа Пономарева Д.В. посвящена исследованию асимптотических свойств скользящих режимов дифференциальных включений с импульсным позиционным управлением, реализуемым в виде последовательности корректирующих импульсных воздействий в дискретные моменты времени на интервале управления, и изучению взаимосвязей идеального импульсно-скользящего режима со скользящими режимами систем с разрывными позиционными управлениями. Постановка задачи об описании идеальных импульсно-скользящих режимов систем с импульсным позиционным управлением как скользящих режимов систем с позиционным разрывным управлением является новой.

Актуальность выбранной темы объясняется тем, что решение широкого круга задач управления достигается выводом системы на скользящий режим – движение по некоторому многообразию (поверхности скольжения), посредством позиционного разрывного управления. При наличии ограничений на ресурсы управления скользящий режим может прекратиться и цель управления не достигается. Эти же задачи при наличии ограничений на ресурсы управления могут решаться с использованием импульсного позиционного управления, комбинирования обычных позиционных и импульсных позиционных управлений. Изучаемые в диссертации задачи актуальны как с точки зрения развития теории разрывных систем, так и расширения сферы применения импульсного позиционного управления. Работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

Введение содержит: объект и постановку задачи исследования; обзор методов исследования и существующие результаты по системам с позиционным импульсным управлением; обоснование актуальности темы работы и новизны постановки задачи и полученных результатов; выбор методов исследования; краткое содержание разделов диссертационной работы.

В первой главе исследуются общие свойства импульсно-скользящих режимов дифференциальных включений и их описание с помощью обычных скользящих режимов систем с нелинейностями сигнатурного типа. В этой главе приведены различные известные понятия решений дифференциальных систем с разрывной правой частью, понятие идеального импульсно-скользящего режима для дифференциального включения с импульсным позиционным управлением.

Для конфинальной последовательности функций с разрывами в последовательные моменты времени получены условия их ограниченности и су-

существования предельной абсолютно непрерывной функции с нулевыми величинами скачков на ней. Приведены различные способы описания управляемой системы задаваемой дифференциальным включением с разрывным позиционным вектором управления, определяемым знаками значений функций задающих поверхности разрыва. Для рассматриваемой управляемой системы получены: условия на многозначное отображение и функции, задающие поверхности разрыва и управление, обеспечивающие существование решений и управления; необходимые условия существования скользящего режима; условия существования эквивалентного управления обеспечивающего скользящий режим; достаточные условия существования скользящих режимов и устойчивости скользящего режима.

В этой же главе установлена связь между импульсно-скользящими режимами и скользящими режимами дифференциальных включений. Получены условия существования идеального импульсно-скользящего режима для дифференциального включения с позиционным импульсным управлением, установлены условия при которых он является устойчивым скользящим режимом того же дифференциального включения с разрывным позиционным управлением.

В шестом разделе первой главы рассмотрен пример линейного осциллятора с сухим трением и приведены результаты численных экспериментов.

В последнем разделе первой главы, на основе полученных результатов, выделены условия существования идеального импульсно-скользящего режима для дифференциальных включений с невырожденной матрицей при производных и импульсным позиционным управлением, показано, что этот режим является скользящим режимом включения с разрывным позиционным управлением сигнатурного типа, который реализуется на некотором эквивалентном управлении.

Во второй главе изучается структура разрывных траекторий дифференциального включения с изолированными импульсами Дирака в зависимости от характера предельного перехода на последовательностях решений этого включения при замене импульса Дирака последовательностью непрерывных дельтаобразных функций. Определены условия, при которых последовательности решений дифференциальных включений с дельтаобразными непрерывными аппроксимациями импульса Дирака сходятся на отдельных частях промежутка рассмотрения к решениям дифференциального включения с различными начальными условиями. При тех же условиях получено ограничение на норму отклонения обобщенного решения включения от обобщенного решения дифференциального уравнения, полученного заменой многозначного отображения его непрерывной однозначной аппроксимацией Иосиды.

В последнем разделе второй главы определены условия на многозначное отображение и интенсивность импульса, при которых для любого выбора точек разбиения (импульсного воздействия) на промежутке рассмотрения последовательность решений вспомогательных дифференциальных включений с дельтаобразными функциями сходится к ломаной Эйлера исходного дифференциального включения с импульсным позиционным управлением во

всех точках промежутка рассмотрения, кроме точек импульсного воздействия. При тех же условиях для любого фиксированного выбора точек разбиения получено ограничение на норму отклонения ломанных Эйлера от обобщенного решения дифференциального уравнения, полученного заменой многозначного отображения его непрерывной однозначной аппроксимацией Иосиды.

В третьей главе полученные результаты применены к исследованию управляемой механической системы с сухим трением и импульсным позиционным управлением, движение которой описывается уравнениями Лагранжа второго рода. Цель управления состоит в обеспечении движения системы по множеству S в расширенном фазовом пространстве, определяемому непрерывно дифференцируемой векторной функцией $\varphi(t, q, \dot{q})$ с невырожденной матрицей Якоби. С использованием простейшего выпуклого доопределения в смысле А.Ф. Филиппова сил сухого трения уравнения движения системы представлены в виде дифференциального включения с матрицей при производной и импульсным позиционным управлением. Получены условия на уравнения Лагранжа и управление, при которых в системе существует идеальный импульсно-скользящий режим и любой идеальный импульсно-скользящий режим системы совпадает со скользящим режимом этой системы с разрывным позиционным управлением сигнатурного типа; найдено само разрывное позиционное управление. Для множества $S = \{(t, q, \dot{q}) : \dot{q} = \varphi(t, q)\}$ с непрерывно-дифференцируемой векторной функцией $\varphi(t, q)$ показана взаимосвязь идеальных импульсно-скользящих режимов системы с ее режимом декомпозиции, также получены условия на ресурс управления, обеспечивающие устойчивый режим декомпозиции при разрывном позиционном управлении. В последнем разделе этой главы проведено исследование движения двухзвенного манипулятора на горизонтальной плоскости с учетом трения скольжения и целевым множеством S задаваемым линейной зависимостью производных обобщенных координат от самих координат. Рассмотрены неравенства, связывающие силу трения и ресурсы разрывного позиционного управления, и поведение решений при их нарушении. Утверждается, что при достаточно больших ресурсах управления движение реализуется по множеству S и экспоненциально приближается к нулевому положению равновесия, а позиционное импульсное управление решает эту задачу при любых возможных нарушениях этих неравенств.

В заключении кратко сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Диссертационная работа Пономарева Д.В. изложена на четком и ясном математическом языке, все приводимые утверждения строго доказаны. Работа содержит новые обоснованные решения актуальных проблем скользящих режимов динамических систем с разрывной правой частью, которые имеют как теоретическое, так и прикладное значение. Автор демонстрирует хорошее знание современного состояния исследований по теме работы и высокую квалификацию в выбранной области исследований.

По теме диссертации опубликовано 12 работ. Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

Замечаний по существу и содержанию работы нет, есть несколько замечаний редакционного плана, а именно:

- различная нумерация теорем в автореферате и в диссертации;
- ссылка в автореферате, стр.15, на определение 2.3.2 отсутствующее в диссертации;
- на стр. 70 в условиях D1k и D2k на функции $\delta_i^k(t)$ не указана их непрерывность;
- не пояснен промежуток J на стр. 76, 78, 80.

Диссертационная работа «Импульсно-скользящие режимы дифференциальных включений с приложением к динамике механических систем с трением» полностью соответствует всем требованиям действующего на настоящий момент «Положения о порядке присуждения ученых степеней» от 24.09.2013г. №842, а ее автор Пономарев Денис Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.02 – Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление.

Официальный оппонент,
к.ф.-м.н., доцент кафедры математики,
эконометрики и статистики
Байкальского государственного
университета экономики и права

03.06.2014

Р.З. Абдуллин



Подпись *Абдуллин Р.З.*

УДОСТОВЕРЯЮ

Заведующий канцелярией
ФГБОУ ВПО «БГУЭП»

Л. А. Зайцева

« 03 » 06 2014 г.