

"УТВЕРЖДАЮ"

Проректор по науке
ФГАОУ ВПО «УрФУ»
Кружаев В.В.

«23» мая 2014г.



ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертационной работе 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 посвящена исследованию импульсно-скользящих режимов в дифференциальных включениях. Появление импульсно-скользящих режимов связано с построением позиционных алгоритмов управления в системах, оптимальные алгоритмы управления в которых приводят к так называемым магистральным решениям. В начальный момент под действием импульсной составляющей фазовая точка системы попадает на магистральное многообразие и под действием оптимального **программного** управления далее движется по этому магистральному многообразию. Если функционал имеет терминальную составляющую, то обычно в заключительный момент на систему действует еще один импульс, позволяющий минимизировать терминальную составляющую. Необходимость использования **позиционных** управлений возникает в связи с тем, что появление возмущения в системе может привести к тому, что фазовая точка сойдет с магистрального многообразия и тогда потребуются проводить с помощью импульсного воздействия коррекцию траектории, возвращая фазовую точку на магистральное многообразие. Таким образом при наличии постоянно действующего возмущения может возникать необходимость постоянно подправлять траекторию. Так возникают импульсно-скользящие режимы. В случае, когда помеха не формализована, естественно на импульсно-скользящий режим накладывать требование, что после прекращения действия помехи импульсное позиционное управление будет реализовывать оптимальное программное управление, построенное для новой начальной точки, в которой прекратилось действие возмущения. Понятно, что с точки зрения теории дифференциальных уравнений динамический объект, на который постоянно действует импульсное управление, смысла не имеет и движение, порожденное таким управлением, требует формализации. В основе формализации движения стоит дискретная схема,

аналогичная той, которая применялась при формализации движений (так называемые конструктивные движения) в теории позиционных дифференциальных игр (см. монографию Н.Н.Красовского и А.И. Субботина «Позиционные дифференциальные игры» М.: Наука, 1974). Ранее было получено уравнение, описывающее импульсно-скользящий режим и исследованы ряд его свойств. В данной работе исследуется импульсно-скользящий режим в случае, когда объект управления описывается дифференциальным включением, а также исследуются ситуации, когда импульсно-скользящий режим можно осуществить скользящим режимом, порожденным разрывным позиционным управлением. Все перечисленные задачи являются безусловно важными для теории дифференциальных включений и теории оптимального управления. Из вышесказанного следует, что тематика диссертации безусловна актуальна.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения.

Введение содержит историю вопроса и краткий обзор работ по теории импульсно-скользящих режимов. Там же в введении обосновывается актуальность темы, формулируется цель диссертационной работы и пути её достижения, отмечается новизна и практическая значимость работы.

В первой главе рассматривается задача формализации импульсно-скользящего режима. В отличие от работ других авторов здесь рассматривается случай, когда объект описывается дифференциальным включением. Этот случай, в частности, включает ситуацию, когда управление объектом осуществляется как импульсным, так и обычным ограниченным управлением. Приведена формализация импульсно-скользящего режима на основе дискретизации временного промежутка, построении соответствующих «ломаных Эйлера» и исследования асимптотических свойств построенной сети для дифференциальных включений, линейных по управлению. Получены условия сходимости «ломаных Эйлера» к идеальному импульсно-скользящему режиму. Уравнение идеального импульсно-скользящего режима строится с помощью метода эквивалентного управления. Показано, что при определенных условиях импульсно-скользящий режим можно реализовать с помощью скользящего режима, порожденного разрывными позиционными управлениями. Рассмотрен случай возникновения импульсно-скользящего режима в системах с матрицей при производной. В идейном плане полученные здесь результаты аналогичны результатам, полученным для систем, разрешенных относительно производной. Особенностью этого случая является то, что в таких системах возникает проблема умножения разрывной функции на обобщенную. А это в свою очередь требует формализации понятия решения. Фактически здесь реализована схема получения импульсно-скользящего режима при определении понятия решения на основе подмены

дифференциального уравнения интегральным, когда решение интегрального уравнения рассматривается в предположении, что интегралы в уравнении понимаются в смысле Лебега-Стилтьеса, но в тексте работы это не оговорено.

Во второй главе диссертации рассматриваются дифференциальные включения, находящиеся под воздействием либо одного сосредоточенного в точке ноль импульса, либо находящиеся под действием конечного количества импульсов, сосредоточенных в различных точках. Здесь рассматриваются два способа определения решения. Первый основан на аппроксимации импульсных воздействий гладкими аппроксимациями, а второй - на введении в коэффициент перед импульсом малого запаздывания. Естественно, что эти подходы приводят к различным решениям. Кроме этого, исследуется влияние на полученные решения замены множества, описывающего регулярную часть годографа, аппроксимацией Иосиды.

Третья глава посвящена рассмотрению механических систем с n степенями свободы и силами сухого трения, описываемыми уравнениями Лагранжа второго рода. Заметим, что описываемый объект управления обладает тем свойством, что в правой части отсутствуют произведения разрывных функций на обобщенные и здесь можно использовать разные применяемые ранее подходы к формализации понятия решения, т.к. все приводят к одинаковым решениям. Исследуются условия, когда импульсно-скользящий режим является режимом декомпозиции, получены ограничения на ресурс управления, обеспечивающие устойчивый режим декомпозиции. Результаты иллюстрируются на примере двухзвенного манипулятора на шероховатой горизонтальной поверхности.

Заключение содержит резюме основных результатов диссертации.

В качестве замечания отметим следующее. Не совпадает нумерация теорем в диссертации и автореферате, что создает некоторые неудобства при чтении. В седьмом параграфе первой главы рассматривается система, в которой имеет место умножение разрывных функций на обобщенные (матрица $A(t,x)$, зависящая от разрывной по t переменной умножается на обобщенную производную фазовой переменной x , что является некорректной операцией и требует формализации. Фактически в работе используются решения, основанные на решениях соответствующих интегральных уравнений, в которых интеграл понимается в смысле Лебега-Стилтьеса. Заметим, что такая формализация с точки зрения теории управления не является естественной, если матрица A зависит от x . Во второй главе диссертации следовало бы сослаться на работы Ф.Л. Перейры (см., например, F.L. Pereira & G.N. Silva. Stability for impulsive control

systems // Dynamical Systems, Vol. 17, No. 2, 2002, 421-434), где рассматривались дифференциальные включения с обобщенным воздействием более общего вида.

Приведенные замечания не затрагивают существа работы и могут быть учтены автором в дальнейших исследованиях.

Диссертационная работа написана доступным языком, содержит необходимый вспомогательный материал, помогающий читателю разобраться в результатах автора. Число замеченных опечаток минимально.

Вывод. Диссертационная работа Д.В. Пономарева «Импульсно-скользящие режимы дифференциальных включений с приложением к динамике механических систем с трением» является законченной научно-исследовательской работой. Она содержит ряд новых значимых результатов в области теории дифференциальных уравнений, теории управления, полезных и интересных как в теоретическом, так и в прикладном отношении. Теоретические положения диссертации строго обоснованы. Работа обладает внутренним единством. Основные результаты работы достаточно полно опубликованы. Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Исследования по теме диссертации, на наш взгляд, могут использоваться в Институте динамики систем и теории управления Сибирского отделения РАН, Уральском федеральном университете, Пермском государственном университете, Удмуртском государственном университете, в Институте математики и механики УрО РАН.

Таким образом, работа Д.В. Пономарева удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям по специальности 01.01.02 – Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв утвержден на заседании кафедры "Прикладная математика" Уральского энергетического института Уральского федерального университета имени первого Президента РФ Б.Н. Ельцина 21 мая 2014 г. (протокол № 5).

Зав. кафедрой "Прикладная математика" Уральского энергетического института
Уральского федерального университета имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина

доктор физико-математических наук, профессор



А.Н. Сесекин

email: sesekin@list.ru

тел. 8-922-140-15-15



Подпись А.Н. Сесекина заверяет документацию Управления кадров