

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Дарьиной Анны Николаевны
«Методы решения задач оптимального управления с фазовыми
ограничениями, возникающими в робототехнике», представленной на
соискание ученой степени доктора физико-математических наук по
специальности 1.2.3 – «Теоретическая информатика, кибернетика»

Диссертационная работа А.Н. Дарьиной представляет собой глубокое и строгое теоретическое исследование в области математической теории оптимального управления, посвящённое решению одной из наиболее сложных проблем – задачам с фазовыми ограничениями, особенно в случаях, когда эти ограничения нарушают классические условия регулярности. Работа выполнена на высоком уровне математической строгости, демонстрирует владение современным аппаратом теории экстремальных задач и вносит существенный вклад в развитие аналитических и численных методов решения неклассических задач оптимального управления.

Центральной теоретической проблемой, решаемой в диссертации, является некорректность применения классического принципа максимума Понтрягина в ситуациях, когда траектория оптимального процесса касается границы фазового ограничения, а градиент ограничения ортогонален правой части динамической системы. В таких случаях, как справедливо отмечено автором, нарушается условие регулярности по Гамкрелидзе, что влечёт за собой возможное появление сингулярных компонент в мере-множителе Лагранжа, отсутствие дифференцируемости сопряжённых переменных и, как следствие, невозможность сведения условий оптимальности к краевой задаче стандартными методами.

Для преодоления этой фундаментальной трудности автором предложен и строго обоснован метод регуляризации через ε -возмущения динамики. Этот подход не является простым техническим приёмом: он опирается на глубокий анализ структуры множителей Лагранжа в задачах с фазовыми

ограничениями и позволяет построить аппроксимирующую последовательность регулярных задач, для каждой из которых принцип максимума применим в классической форме. Более того, доказана сходимость решений регуляризованных задач к решению исходной нерегулярной задачи при $\varepsilon \rightarrow 0$, что обеспечивает как теоретическую корректность, так и практическую применимость метода.

Особого внимания заслуживает обобщение этого подхода на фазовые ограничения глубины 2, возникающие в задачах с ньютоновской динамикой (управление через ускорение). В этом случае автор разрабатывает модифицированный принцип максимума второго порядка, учитывающий структуру производных ограничений и скачки в производной множителя Лагранжа. Введённое понятие 2-регулярности и полученные оценки скачков сопряжённых переменных представляют собой нетривиальное развитие теории и могут быть использованы в более широком контексте – например, в задачах с высшими производными или в механике с неидеальными связями.

Хотя работа носит выраженный теоретический характер, она не оторвана от прикладных задач. Напротив, каждая теоретическая конструкция мотивирована конкретной моделью мобильного робота: унициклической, трёхколёсной с передним приводом, гусеничной, с динамикой Ньютона. Это придаёт исследованию целостность и демонстрирует мощь математического аппарата в решении реальных инженерных проблем.

При этом автор не заменяет аналитическое исследование чисто численными экспериментами. Численные результаты используются не как замена доказательству, а как иллюстрация и подтверждение теоретических выводов.

Автореферат имеет понятную структуру и написан ясным языком. Однако хочется обратить внимание на следующие замечания к автореферату.

1. Несмотря на то, что в работе формулируются условия 2-регулярности фазовых ограничений и доказываются леммы о непрерывности

множителя Лагранжа, не предложен явный алгоритм, позволяющий проверять выполнение этих условий для произвольной нелинейной системы.

2. Не описаны ситуации, при которых предложенные подходы могут оказаться неприменимыми или привести к недостаточно точным решениям.

Эти замечания не снижают достоинств представленной работы.

Диссертация А.Н. Дарьиной – это законченная и полная научно-квалификационная работа. Она не только решает конкретные прикладные задачи, но и развивает общие методы анализа некорректных экстремальных задач с фазовыми ограничениями, расширяя границы применимости классического принципа максимума. Предложенные подходы к регуляризации, анализу сингулярных режимов и построению точных решений в условиях нарушения регулярности представляют интерес не только для специалистов по управлению, но и для исследователей в области вариационного исчисления, дифференциальных включений и теории меры.

Считаю, что работа полностью соответствует требованиям, изложенным в пунктах 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, а её автор Дарьина Анна Николаевна заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.3 – «Теоретическая информатика, кибернетика».

Фомичев Василий Владимирович,
доктор физико-математических наук,
заведующий кафедрой нелинейных
динамических систем и процессов
управления факультета ВМК МГУ

