

В диссертационный совет 24.1.060.01
при ФГБУН Институте динамики систем
и теории управления имени В. М. Матросова
Сибирского отделения Российской академии наук

ОТЗЫВ НА АВТОРЕФЕРАТ

диссертации Старицына Максима Владимировича
**«ВАРИАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО
УПРАВЛЕНИЯ В БЕСКОНЕЧНОМЕРНЫХ ПРОСТРАНСТВАХ»**

представленной на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
по специальности 1.1.2 — «Дифференциальные уравнения и математическая
физика»

Диссертация М. В. Старицына посвящена вариационному анализу задач оптимального управления в конечномерных и бесконечномерных пространствах. В работе исследуются задачи управления со свободным правым концом траекторий для обыкновенных дифференциальных уравнений в банаховых пространствах, нелокальных уравнений неразрывности (с источником и без) на пространствах мер, а также импульсно-траекторные расширения последних.

Актуальность исследования обусловлена естественным желанием сузить множество неоптимальных экстремалей принципа максимума Понтрягина, избегая при этом комбинаторного усложнения условий, вытекающих из анализа коммутационных связей или разложений высоких порядков. В пространствах бесконечной размерности к этому добавляются типичные трудности топологической природы.

В основе диссертации лежит линейное функциональное представление нелинейной задачи управления, близкое по идее к конструкциям, возникающим в хронологическом исчислении. Исходная динамика представляется линейным эволюционным уравнением на пространстве функционалов или мер, а терминальный функционал становится линейным по новой фазовой переменной. Двойственность прямого и двойственного эволюционных уравнений приводит к специальному тождеству для приращения целевого функционала при сравнении любых двух допустимых управлений. В отличие от стандартных вариационных разложений, это тождество, называемое в работе «точной формулой приращения

функционала», не содержит остаточного члена и не подразумевает близости сравниваемых управлений в том или ином смысле.

Из полученного тождества выводятся позиционные необходимые условия оптимальности. В них сравниваемое управление выбирается в зависимости от состояния порождаемого им процесса. Поэтому проверка этих условий не сводится к поточечной максимизации гамильтониана вдоль исходной траектории. Приведенные примеры показывают, что позиционные условия позволяют обнаруживать неоптимальные процессы среди понтрягинских экстремалей. Установлена связь позиционных условий с классическими необходимыми условиями; в частности, варьирование точной формулы приращения в первом порядке приводит к принципу максимума Понтрягина.

Представленная в первой главе общая конструкция реализуется далее в нескольких постановках, первой из которых служит задача управления обыкновенным дифференциальным уравнением с ограниченным векторным полем на банаховом пространстве. Далее показано, что к указанной постановке могут быть сведены (путем двух последовательных редукций) модели принципиально иной природы – задачи управления нелокальными уравнениями переноса и баланса на метрических пространствах мер, охватывающие, в т.ч. ансамбли начальных состояний обыкновенной системы.

Научная новизна диссертации состоит в построении точных формул приращения и основанных на них позиционных условий оптимальности для перечисленных классов систем. К новым результатам относится также установленная автором связь этих условий с принципом максимума Понтрягина и необходимыми условиями высших порядков. Самостоятельное значение имеют редукции уравнения баланса к уравнению неразрывности и к обыкновенному дифференциальному уравнению на банаховом пространстве. Тем самым в работе создан единый аппарат вариационного анализа нескольких классов бесконечномерных систем.

По теме диссертации опубликованы 24 работы, из которых 18 статей — в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК или индексируемых в международных базах Scopus и Web of Science. Результаты докладывались на российских и международных конференциях и научных семинарах.

Основные результаты диссертации соответствуют паспорту специальности 1.1.2. Результаты о позиционных условиях экстремума, принципе максимума Понтрягина, редукции задач управления и импульсно-траекторных

расширениях относятся к направлению «Дифференциальные уравнения и системы дифференциальных уравнений в задачах оптимального управления и вариационного исчисления». Результаты о нелокальных уравнениях неразрывности и баланса на пространствах мер относятся к направлениям «Нелинейные дифференциальные уравнения и системы нелинейных дифференциальных уравнений» и «Общая теория дифференциальных уравнений и систем дифференциальных уравнений».

В качестве замечания отмечу, что в автореферате недостаточно подробно раскрыто соотношение предложенного подхода с известными геометрическими методами вариационного анализа. В частности, было бы полезно пояснить, как позиционные условия соотносятся с необходимыми условиями оптимальности высших порядков и в какой мере принцип максимума высокого порядка Кренера может быть выведен из точного тождества приращения в предложенной автором схеме. Отдельного пояснения заслуживает связь канонической линеаризации с хронологическим исчислением, в том числе вопрос о том, какие элементы этой конструкции имеют прямые аналоги в хронологических представлениях потоков. Замечание касается полноты изложения автореферата и не влияет на общую оценку диссертации.

Таким образом, диссертация М. В. Старицына является завершенной научно-квалификационной работой, в которой разработан единый метод получения точных формул приращения и позиционных необходимых условий оптимальности для нескольких классов бесконечномерных управляемых систем. Представленные в автореферате материалы позволяют заключить, что диссертация М. В. Старицына соответствует требованиям пунктов 9–14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.2 — «Дифференциальные уравнения и математическая физика».

Руководитель Исследовательского центра
процессов управления Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Института программных
систем имени А. К. Айламазяна Российской академии
наук, доктор физико-математических наук, доцент

С ?
Ю. Л. Сачков

« 8 » сентября 2026 г.

Специальность: 01.01.02 — дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление

Почтовый адрес: 152021, Ярославская область, Переславский район,
с. Веськово, ул. Петра Первого, д. 4а

Телефон организации: +7 (4852) 695-228

Электронная почта: yusachkov@gmail.com

Я, Сачков Юрий Леонидович, даю согласие на обработку и размещение моих персональных данных в документах, связанных с работой диссертационного совета.

С ?

Ю. Л. Сачков

Подпись Сачкова Юрия Леонидовича заверяю:

Нагайкин Станислав Сергеевич

(должность уполномоченного лица)

С.И.И.

Е.П. Виноградова

(инициалы, фамилия)

« 8 » сентября 2026 г.

