

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Воронова Романа Владимировича на диссертацию Попкова Александра Сергеевича на тему «Оптимальное позиционное управление в нелинейных управляемых системах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Диссертация Попкова А. С. посвящена исследованию алгоритмов построения оптимального управления в нелинейных системах. Рассматривается динамический процесс, который описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений с управлением – неизвестными ограниченными параметрами, которые требуется построить в классе кусочно-постоянных функций. Задача в такой постановке является актуальной, поскольку соответствует широкому многообразию приложений в рамках управляемых процессов в различных областях науки.

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и двух приложений.

**В первой главе** рассматривается линейный вариант задачи управления. Описывается подход с решением задачи в два этапа: на первом шаге исходная задача трансформируется в задачу линейного программирования или выпуклую задачу квадратичного программирования, на втором шаге решается полученная оптимизационная задача с помощью программных средств. Приведен обзор методов решения линейных задач оптимального управления, включающий как классические, так и современные подходы, изложены алгоритмы решения различных выпуклых задач математического программирования, а также представлен сравнительный анализ решателей – программных комплексов решения оптимизационных задач.

**Во второй главе** исследована задача построения множеств достижимости и управляемости для линейной задачи оптимального управления. Несмотря на отклонение от основной темы диссертации, в данной главе дается ответ на вопрос о существовании допустимых управлений, что имеет важную теоретическую значимость. Главным достижением раздела является метод построения множеств достижимости и управляемости. Теоретическую основу метода составляет теорема, на базе которой разработан конструктивный алгоритм построения указанных множеств.

**В третьей главе** к исходной постановке задачи управления добавляется ряд требований. Так, рассматривается задача с линейной системой и управлением, выбираемом в классе кусочно-линейных или же кусочно-квадратичных функций. Использование таких классов приводит к усложнению модели, но может быть востребовано при дополнительных требованиях к непрерывности или гладкости управляющих функций. Также рассматриваются более сложные ограничения на множество управлений. Полученные в данной главе результаты могут иметь прикладную ценность при рассмотрении специфических задач, которые нельзя описать с помощью базовой модели, приведенной в главе 1.

**В четвертой главе** изучается нелинейная задача управления. Динамика управляемого объекта описывается с помощью системы обыкновенных дифференциальных уравнений, нелинейной по фазовым переменным и линейной по компонентам управления. Сформулированы алгоритмы построения управления в двух вариантах: в программном режиме и режиме реального времени (на основе текущего

положения системы). Оба алгоритма основаны на последовательных аппроксимациях нелинейных функций линейными, что приводит к многократному решению линейных задач. Таким образом, в последней главе используются наработки для линейной задачи из предыдущих глав. Также представлено частичное теоретическое обоснование приведенных алгоритмов, а свойства сходимости продемонстрированы на двух содержательных примерах.

В приложениях А и Б приведены программный код алгоритмов решения задачи управления в линейном и нелинейном случаях соответственно.

Результаты, приведенные в данной диссертации, были апробированы нескольких научных конференциях различного уровня, было опубликовано семь статей, индексируемых в Scopus и Web of Science.

Достоверность положений, выявленных закономерностей и выводов обеспечивается корректным использованием математического аппарата, проведением расчетов на конкретных примерах, положительной апробацией на конференциях различного уровня.

**Замечания.** Укажем обнаруженные замечания и недочеты.

1. В разделе 1.3.3 говорится про положительную и отрицательную часть числа  $u$ , что является не очень удачными терминами. К тому же равенство  $|u| = u^+ - u^-$  может достигаться при положительных значениях  $u^+$  и  $u^-$ , тогда как в тексте предполагается, что одно из них неотрицательное, а другое равно нулю. Это действительно будет следовать из свойств данной целевой функции и ограничений, однако автор про это умалчивает.
2. Не указаны размерности входных данных, для которых представленные алгоритмы будут работать за приемлемое время, тем более что некоторые из предложенных алгоритмов работают за экспоненциальное время.
3. Работа не свободна от опечаток в математических выражениях. Например, в формуле (2.7) перепутаны номера индексов (1 и 2).
4. В тексте диссертации имеются орфографические и пунктуационные ошибки. Например, предлог «вследствие» нужно писать слитно (стр. 37, 111 и далее).

Диссертация Попкова Александра Сергеевича на тему: «Оптимальное позиционное управление в нелинейных управляемых системах» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Попков Александр Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета  
Доктор технических наук,  
доцент, профессор кафедры прикладной  
математики и кибернетики Петрозаводского  
государственного университета



Воронов Роман Владимирович

Р.В.  
ЗАВЕРЯЮ

22.12.2022

МЫШИНА Е.Ю.  
2009 г.