

«УТВЕРЖДАЮ»

И. о. директора Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Институт программных
систем имени А.К. Айламазяна РАН, к.т.н.

И.Н. Григоревский

« 05 » 2022 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

о диссертации Урюпина Ильи Вадимовича «**Оптимизация переключений непрерывно-дискретных управляемых процессов**», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации.

Актуальность. Диссертационная работа посвящена исследованию переключаемых систем, разработке методов и алгоритмов их оптимизации. Переключаемые системы управления входят в состав гибридных систем, процессы в которых носят непрерывно-дискретный характер. Применение таких систем востребовано как в авиационно-космической технике (проектирование иерархических систем управления), так и в робототехнике при создании автоматизированных систем управления.

Переключаемые системы служат математическими моделями многорежимных систем автоматического управления движущимися объектами. Непрерывная часть системы описывается дифференциальными уравнениями и задает движение объекта управления. Дискретная часть представляется рекуррентными включениями, которые моделируют работу устройства управления и отвечают за переключения режимов функционирования. Моменты таких переключений заранее не определены, при этом допускается несколько последовательных переключений в фиксированный момент времени.

Целью диссертационного исследования является разработка методов и алгоритмов решения задач оптимизации управляемых гибридных систем, функционирующих с мгновенными последовательными переключениями. Одной из новых оптимизационных задач, относящихся к гибридным системам, являются задачи, связанные с оптимизацией переключений. Теория и численные методы решения таких задач фактически не разработаны. В диссертации Урюпина И. В. рассматриваются задачи минимизации количества переключений, а также предлагаются методы и алгоритмы их решения. Поэтому работа представляется актуальной с практической и теоретической точки зрения.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«20 05 2022»

Структура и содержание работы. Диссертационная работа изложена на 97 страницах, состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка литературы, включающего 153 наименования.

Во введении автором представлена частичная классификация управляемых гибридных систем. Приведен обзор методов решения задач оптимального управления таких систем. Поставлены типовые задачи минимизации количества переключений. Обоснована актуальность и показана практическая ценность работы. Сформулированы цели и задачи диссертационного исследования.

В первом разделе рассматривается задача минимизации переключений гибридной системы. Приводятся постановки задач синтеза оптимального управления с ограниченным количеством переключений, синтеза оптимального управления в линейно-квадратичной задаче с переключениями, а также соответствующие задачи минимизации количества переключений. На основе достаточных условий разработан метод синтеза оптимального позиционного управления. Для линейно-квадратичной задачи предложен численно-аналитический алгоритм поиска оптимального управления и минимизации количества переключений. На основе разработанных методов получены решения линейно-квадратичной задачи стабилизации системы с переключением канала управления при разных значениях параметров объекта управления.

Второй раздел посвящен задаче поиска оптимального кусочно-постоянного управления непрерывными системами. Приводятся формулировки задач поиска оптимального управления в классе кусочно-непрерывных функций и более узком классе – кусочно-постоянных функций. Ставится задача нахождения минимального количества переключений кусочно-постоянного управления, при котором значение функционала качества отличается от оптимального решения задачи с кусочно-непрерывным управлением не более чем на приемлемую величину погрешности. Для поставленной задачи доказываются необходимые условия оптимальности кусочно-постоянного управления. Применение полученных необходимых условий представляется в виде численно-аналитической процедуры, эффективность которой демонстрируется на задаче оптимального гашения колебаний математического маятника в классе кусочно-постоянных управлений. Полученные решения при разном количестве переключений сравниваются с известным решением задачи в классе кусочно-непрерывных управлений. Определяется минимальное количество переключений при заданной величине погрешности.

Третий раздел диссертационной работы посвящен оптимизации маршрутов непрерывно-дискретного движения управляемых объектов при наличии препятствий. Сначала формулируются разные задачи планирования маршрутов на прямоугольной сетке,

в которых требуется найти либо управление, оптимальное по быстродействию, либо управление с минимальным числом поворотов (переключений). Для решения этих задач предлагается ряд алгоритмов, основанных на достаточных условиях оптимальности. При этом применяются специальные, так называемые, двухпозиционные функции цены.

Оптимальные ломаные, полученные при решении задачи планирования маршрута, заменяются траекториями Маркова – Дубинса с промежуточными условиями. Эти условия возникают из-за требования прохождения траектории Маркова – Дубинса через вершины оптимальной ломаной. Доказаны необходимые условия оптимальности таких траекторий. Приведены примеры применения достаточных и необходимых условий оптимальности.

В четвертом разделе рассматривается реализация алгоритмов синтеза оптимальных гибридных систем. Описываются особенности численно-аналитических процедур, применяемых в диссертационной работе. Приведены структура, состав разработанных программных комплексов, реализующих алгоритмы синтеза оптимального управления и минимизации переключений. Получены свидетельства о государственной регистрации (№ 2019614061, № 2021619328)

В заключении сформированы основные результаты диссертационной работы.

Оценивая диссертационную работу Урюпина И.В. в целом, отметим наиболее **важные результаты**. Разработан численно-аналитический метод решения линейно-квадратичной задачи синтеза оптимального управления гибридными системами. Доказаны необходимые условия оптимальности кусочно-постоянного управления непрерывными системами, разработан метод применения этих условий для приближенного решения задачи оптимального кусочно-непрерывного управления. Доказаны необходимые условия оптимальности траектории Маркова-Дубинса с заданными промежуточными состояниями. Обоснован алгоритм решения задачи оптимизации траекторий Маркова-Дубинса плоского движения летательного аппарата при наличии препятствий. Разработаны два программных комплекса решения линейно-квадратичной задачи синтеза оптимального управления гибридными системами и задачи оптимизации траекторий Маркова-Дубинса плоского движения летательного аппарата с промежуточными условиями при наличии препятствий.

По диссертационной работе имеются следующие **замечания**:

1. В алгоритмах синтеза оптимального "управляющего комплекса" не приводятся оценки точности, а также скорости сходимости применяемых методов оптимизации моментов переключений.
2. При реализации алгоритмов синтеза оптимального управления переключаемой системы не исследуются вопросы, связанные с распараллеливанием вычислений.

Использование такой технологии позволило бы существенно сократить затрачиваемое время вычислений в предлагаемых алгоритмах и программных комплексах.

3. В разделе 3 диссертационной работы, в алгоритмах планирования маршрутов плоского движения объекта на сетке с препятствиями, не описана ситуация, для случая не единственного оптимального управления, хотя по решению задачи видно, что эта не единственность учитывается.

4. Не рассмотрены модификации машины Маркова – Дубинса, имеющие более прикладной характер. Например, пространственные траектории Маркова – Дубинса.

Указанные замечания не снижают ценности диссертационного исследования. Диссертация Урюпина И.В. представляет собой законченное научное высококвалифицированное математическое исследование, внесшее значительный вклад в теорию оптимального управления гибридными системами. Полученные в работе основные результаты являются новыми и строго обоснованными. Они полностью опубликованы. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Результаты диссертации могут быть использованы в учебном процессе и в научно-исследовательских институтах, специализирующихся в области авиационно-космической техники, механики, управления, например, МГТУ им. Н.Э. Баумана, МАИ, ФГУ «ФИЦ ИУ РАН», ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, Институт динамики систем и теории управления СО РАН, Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Институт космических исследований РАН.

Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Урюпин И.В., заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации».

Отзыв обсужден и утвержден на заседании Общеинститутского семинара Института программных систем имени А.К. Айламазяна (руководитель семинара – д.ф.-м.н. Сачков Ю.Л.) 05.05.2022 г., протокол № 4.

Руководитель исследовательского центра
процессов управления ИПС им. А.К. Айламазяна РАН,
доктор физико-математических наук

Сачков

Ю.Л. Сачков

Подпись Ю.Л. Сачкова заверяю

Начальник отдела кадров

ИПС им. А.К. Айламазяна РАН

152021, Ярославская обл., Переславский р-н,
с. Вельково, ул. Петра Первого, д.4 «а»
Тел: +7 (4852) 695-228
e-mail: psi@botik.ru



Е.Л. Игнатьева

Сотызов
Урюпин И.В.
20.05.2022