

ОТЗЫВ

научного руководителя о диссертации Коноваловой Анны Александровны «Достаточные условия оптимальности управления дискретными системами автоматного типа», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)

Ряд задач управления космическими аппаратами требует для адекватного описания сложной мультизадачной схемы их функционирования использовать переключаемые системы, применяя рекуррентные уравнения для моделирования работы управляющего комплекса. Теоретические исследования и практические приложения гибридных и переключаемых систем идут, начиная с 90-х годов, с нарастающей интенсивностью. Составной частью этих сложных иерархических систем являются подсистемы, которые производят переключения режимов функционирования. Математической моделью таких переключающих подсистем служит система автоматного типа (САТ), которая изучается в диссертации. Оптимизация САТ позволяет улучшить работу переключаемой системы в целом. Поэтому решение проблемы синтеза оптимальных САТ связано оптимизацией управляющих комплексов в области авиационной и космической техники, что свидетельствует об актуальности темы диссертации.

Исследуемые в диссертации задачи синтеза оптимальных САТ являются новыми в теории оптимального управления. САТ функционирует в непрерывном времени, но меняет свое состояние конечное число раз в некоторые тактовые моменты времени. Эти моменты заранее не фиксированы, что отличает САТ от классических систем с дискретным временем. Более того, количество и моменты переключения служат ресурсами управления и подлежат оптимизации. Поскольку процесс управления САТ определяется конечным числом параметров, то, на первый взгляд, рассматриваемую задачу можно отнести к поиску минимума в конечномерном пространстве. На самом деле размерность этого пространства может быть сколь угодно большой, так как количество переключений у оптимальных процессов может быть неограничено. Поэтому задачу оптимизации САТ следует классифицировать как задачу оптимального управления, т.е. задачу минимизации в функциональном пространстве. Учитывая это обстоятельство, можно сказать, что поставленная задача является одной из самых простых задач оптимального управления. Здесь при сравнении, конечно, исключается более простая классическая задача оптимального управления дискретной системой, которая фактически является конечномерной, а не вариационной.

Работа над диссертацией началась с исследования процессов с однократными переключениями. Были доказаны достаточные условия оптимальности таких процессов, выведены уравнения для синтеза позиционного управления, разработан алгоритм синтеза оптимальных САТ. Из необходимых условий оптимальности динамических систем с автоматной частью были получены необходимые условия оптимальности САТ. Одним из полученных условий стало уравнение для поверхности переключения, которое оказалось равносильным уравнению, выведенному из достаточных условий. Эти результаты отражены в первом разделе диссертации.

Затем были изучены процессы с мгновенными многократными переключениями. Нужно подчеркнуть, что интуитивное понимание таких процессов было заменено в работе строгим определением, использующим, так называемую, конечномерную сходимую кусочно-постоянных функций с ограниченным числом точек разрыва. Обобщая, это определение можно использовать для логико-динамических систем и динамических систем с автоматной частью, в которых оптимальные процессы управления также имеют мгновенные многократные переключения логической или автоматной части соответственно. Применяя предельный переход, доказываются достаточные условия оптимальности для процессов с мгновенными многократными переключениями. Получены уравнения для оптимального позиционного управления при произвольном конечном или заданном максимально допусти-

мом числе переключений однократных или мгновенных многократных. Эти результаты проведены во втором разделе диссертации.

С методической точки зрения, важным для теории является новый подход к формированию достаточных условий. Функцию цены (функцию Гамильтона – Якоби – Беллмана) предлагается строить как нижнюю огибающую семейства вспомогательных функций, так называемых, условных функций цены. Этот подход оказался весьма продуктивным, поскольку уравнения для нахождения условных функций цены вывести и решить проще, чем уравнения для самой функции цены. Этот подход, разработанный для САТ, самой простой переключаемой системы, можно и нужно переносить на другие классы переключаемых систем, в частности, на логико-динамические системы и динамические системы с автоматной частью.

Теоретические результаты в первых двух разделах диссертации иллюстрируются методическими примерами. Все эти примеры новые и не имеют аналогов в теории оптимального управления. Решения всех примеров дублировались. Простые примеры решались аналитически и численно, сложные решались только численно, но двумя разными методами.

В третьем разделе решена задача оптимального вывода спутника на геостационарную орбиту с ограниченным количеством включений двигателя и ограниченной продолжительностью активной фазы полета. Первое из этих ограничений отличает поставленную задачу от классической задачи оптимального управления. Для учета ограничений на количество включений управление тягой двигателя было представлено САТ с заданным максимально допустимым числом переключений. Для решения были использованы необходимые условия оптимальности динамических систем с автоматной частью (разд.1), а также решение проф. Гурмана В.И. этой задачи без ограничений. При численном решении учитывалась ограниченная точность (не менее 1 с), с которой выполняются команды включения и выключения двигателя. Это обстоятельство превращает задачу минимизации в дискретную. Два терминальных ограничения типа равенств по радиусу конечной орбиты и по эксцентриситету делают задачу удивительно "овражной". Локальные вариации продолжительности одного активного участка неприменимы. Они сразу же выводят на "склон оврага". Поэтому после грубой минимизации методом покоординатного спуска приходится выполнять "тонкую" вариацию параметров для учета терминальных ограничений с сохранением величины расхода топлива. Результаты расчетов показали, что используемая на практике трехимпульсная схема вывода спутника разгонным блоком "Бриз-М" является фактически оптимальной.

За время работы над диссертацией Коновалова А.А. показала себя высококвалифицированным специалистом по прикладной математике, упорным и находчивым в решении теоретических и прикладных задач. Основные научные результаты диссертации получены Коноваловой А.А. самостоятельно. Они докладывались на международных конференциях и опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК. Программа для решения задачи вывода спутника на геостационарную орбиту зарегистрирована. Работа была поддержана грантами РФФИ и государственным заданием Минобрнауки РФ.

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую требованиям ВАК, а ее автор, Коновалова А.А., заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника).

Научный руководитель, доктор физ.-мат. наук, доцент,
ведущий научный сотрудник кафедры "Математическая
кибернетика" ФГБОУ ВПО МАИ (НИУ)

Подпись Бортаковского А.С. удостоверяю
/Декан факультета "Прикладная математика и физика"
ФГБОУ ВПО МАИ (НИУ)



Бортаковский А.С.

Крылов С.С.