ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

о работе Проскурякова Александра Игоревича по кандидатской диссертации "Задача оптимизации траектории выведения космического аппарата на целевую орбиту со сбросом отделяемых частей средств выведения в атмосферу Земли", представленной к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин.

Диссертация Проскурякова Александра Игоревича на тему "Задача оптимизации траектории выведения космического аппарата на целевую орбиту со сбросом отделяемых частей средств выведения в атмосферу Земли" посвящена актуальной проблеме решения задач оптимизации траекторий перелётов космического аппарата с двигателем большой тяги с низкой круговой орбиты искусственного спутника Земли на геопереходную орбиту со сбросом центрального блока разгонного блока и дополнительного топливного бака в атмосферу Земли. Необходимость решения рассмотренной в работе задачи механики космического полёта связана с проблемой космического мусора.

Исследование проводится численно-аналитически. На первом этапе рассматриваются задачи в апсидальной импульсной постановке. На этом этапе определяются эффективные схемы перелёта с малыми накладными расходами на сброс ступеней в атмосферу. На втором этапе задача рассматривается в импульсной постановке без априорного предположения апсидальности; учитывается фазовое ограничение на максимальное удаление космического аппарата от Земли. На третьем этапе задача рассматривается в импульсной постановке с аккуратным учетом импульсных воздействий при сбросе дополнительного топливного бака в атмосферу. На четвёртом этапе осуществляется переход от решения задачи в импульсной постановке к задаче оптимального управления перелётом космического аппарата, управляемого реактивным двигателем большой ограниченной тяги; решение рассматриваемой задачи оптимального управления с промежуточными

условиями на основе соответствующего принципа максимума сводится к решению краевой задачи; краевая задача принципа максимума решается методом стрельбы с использованием вычислительной схемы многоточечной прогонки. Получение экстремалей Понтрягина, удовлетворяющих всем необходимым условиям оптимальности принципа максимума («сквозная оптимизация»), является очень нетривиальной задачей, и диссертант с ней успешно справился. Кроме того, рассматривается задача оптимизации перелёта с упрощённой схемой управления и её связь с задачей оптимального управления. Это исследование открывает очень интересные перспективы дальнейших исследований по оптимизации траекторий перелётов космических аппаратов.

Итак, в работе используется стандартная для математического моделирования идея постепенного уточнения и усложнения математической модели. Важно, что такое постепенное уточнение и усложнение не приводит к необходимости решать каждую следующую задачу заново, так скажем из пустоты; наоборот, каждая из рассматриваемых постановок становится очередной ступенькой в «лестнице задач»; при решении следующей задачи уже решённая задача становится отправной точкой, хорошим начальным приближением очередного варианта метода продолжения решения по параметру. На настоящий момент универсального подхода, позволяющего строить экстремали Понтрягина в любой достаточно сложной задаче, не существует. Построение экстремалей остаётся трудной задачей, посильной только высококвалифицированному специалисту — вычислителю, математику и механику. Однако простая, понятная и логичная идея «лестницы задач» при практической реализации приводит к громоздким математическим моделям; без чёткости их формализации, математической корректности и аккуратности дальнейшее исследование обречено на провал. Реализация методики «лестница задач» потребовала от диссертанта отличных знаний соответствующих разделов теоретической механики, оптимального управления и вычислительных методов. Успешным решением целевой задачи

диссертант подтвердил эффективность методики «лестница задач» при решении нелинейных задач оптимального управления сложной структуры и высокой размерности.

Представленные в работе результаты и значительная часть методики исследования (перехода между ступеньками «лестницы задач») являются новыми. Диссертационная работа Проскурякова А.И. в целом представляет собой оригинальное исследование, выполненное на современном научном уровне. Оно удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям, представленным на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности «1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин», что позволяет считать Проскурякова Александра Игоревича достойным соискания степени кандидата физико-математических наук.

Научный руководитель:
доцент каф. Вычислительной математики
механико-математического ф-та
МГУ им. М.В. Ломоносова
к.ф.-м.н. Григорьев И.С.

20 ноября 2025 г.

Подпись И.С. Григорьева заверяю:
Декан механико-математического ф-та
МГУ имени М.В. Ломоносова
член.-корр. РАН, профессор
А.И. Шафаревич