

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Трифонова Максима Викторовича на тему «Синтез алгоритмов управления движением первой ступени ракеты-носителя для повышения эффективности пуска», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»

Актуальность темы диссертации

Из-за возросшей конкуренции на рынке пусковых услуг проблема повышения эффективности пуска ракет-носителей (РН) является одной из ключевых задач современной космонавтики. Перед разработчиками ракетной техники ставится задача снижения затрат на вывод полезной нагрузки в космос, в том числе за счет увеличения эксплуатационного ресурса сооружений стартового комплекса, повышения безопасности стартовых сооружений при нештатных ситуациях на борту РН и применения крупногабаритных головных обтекателей.

В частности, при движении РН на начальном вертикальном участке полета факелы двигателей оказывают негативное тепловое воздействие на сооружения стартового комплекса. Одним из возможных способов защиты стартовых сооружений от такого воздействия является управляемый увод газодинамических струй в термозащищенный сектор на стартовой плоскости. Аналогично, при наступлении отказа двигателя РН в первые секунды полета на РН начинают действовать возмущающие сила и момент из-за потери тяги аварийного двигателя. Для несоударения с кабель-заправочной башней и увода РН от сооружений стартового комплекса на безопасное расстояние необходимо осуществить управляемый увод РН в зону самоликвидации. Наконец, на участке максимальных скоростных напоров на РН действуют повышенные поперечные перегрузки, особенно при использовании крупногабаритных



головных обтекателей и при действии случайного ветра и вариаций плотности атмосферы. Для более точного расчета этих перегрузок на этапе планирования полета необходимо использовать уточненные модели указанных атмосферных возмущений, а для их снижения – использовать адаптированные алгоритмы управления угловым движением РН на данном участке полета.

Для решения перечисленных задач управления на участке полета первой ступени РН необходимо разрабатывать соответствующие алгоритмы управления движением РН, чему и посвящена настоящая диссертационная работа.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа включает введение, пять глав и заключение. Работа хорошо структурирована, главы логически выстроены и дают полное представление о научно-технических проблемах, являющихся предметом рассмотрения диссертации, и о методах решения этих проблем.

Во введении дается обзор рассматриваемых проблем управления на участке полета первой ступени РН и обзор методов синтеза алгоритмов управления. Сформулированы цель и задачи исследования, дается описание объекта исследования.

В Главе 1 формулируется математическая постановка задачи организации управляемого движения РН с использованием теории аналитического конструирования регуляторов (АКОР). Формулируется модифицированный вариант задачи АКОР, ориентированный на формирование регуляторов системы управления движением РН с учетом особенностей исследуемых в работе задач управления, и дается математическое решение данной задачи.

В Главах 2-3 решаются две частные задачи на участке полета первой ступени РН - задача увода струй двигателей РН от сооружений стартового комплекса и задача аварийного увода РН в заданную область самоликвидации при отказе двигателя. Для формирования регуляторов системы управления

движением РН используется математическое решение задачи АКОР с управляемым выходом, полученное в Главе 1.

В Главе 4 решается задача снижения нормальных перегрузок РН на участке максимальных скоростных напоров. Рассмотрена модификация пропорционально-интегрально-дифференцирующего (ПИД) регулятора – регулятор с обратной связью по нормальной перегрузке. Сформированы уточненные модели горизонтального ветра и вариаций плотности атмосферы с применением теории формирующих фильтров. Для статистического анализа возмущенного движения РН применяется метод уравнений моментов. Показано, что использование традиционного метода огибающих для учета случайных атмосферных возмущений – горизонтального ветра и вариаций плотности атмосферы может в определенных ситуациях давать заниженные оценки предельных нормальных перегрузок РН по сравнению с получаемыми при использовании моделей этих возмущений в виде формирующих фильтров.

В заключительной Главе 5 представлены результаты имитационного моделирования движения РН на участке полета первой ступени с использованием алгоритмов, разработанных в главах 2 – 4, и детальной модели системы управления РН. Показано, что алгоритмы, сформированные с использованием упрощенных моделей, сохраняют свою эффективность.

В заключении сделаны выводы по результатам диссертационного исследования.

Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов в диссертации

Автор при формировании алгоритмов управления в своем диссертационном исследовании использует хорошо формализованные, апробированные теории, такие как АКОР и ПИД-управление.

При формировании моделей движения РН в диссертации используются общепринятые уравнения движения, опубликованные в фундаментальных научных работах по динамике полета.

Работоспособность и эффективность разработанных методик и алгоритмов управления подтверждены результатами имитационного моделирования.

Результаты диссертационного исследования неоднократно докладывались на научных конференциях.

Новизна научных положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе, заключается в следующем

1. Решена задача оптимального управления, сформулированная автором как модифицированный вариант задачи АКОР, в котором учтены особенности задач управления движением РН на участке полета первой ступени: вектор выходов зависит от вектора управления, в правой части вектора состояния учитывается детерминированный вектор входов.

2. Разработана методика формирования алгоритма управления уводом струй РН в заданном направлении, как задачи АКОР с управляемым выходом.

3. Разработана методика формирования алгоритма управления аварийным уводом РН при отказе двигателя, как задачи АКОР с управляемым выходом.

4. Разработана методика формирования алгоритма управления угловым движением РН на участке максимальных скоростных напоров с крупногабаритным обтекателем и уточненных моделей горизонтального ветра и вариаций плотности атмосферы, обеспечивающий снижение нормальных перегрузок РН.

5. Разработана имитационная модель и проведен статистический анализ управляемого движения РН с использованием детальной модели движения РН как объекта управления, подтвердивший эффективность разработанных методик и алгоритмов.

Практическая значимость работы

Результаты диссертационного исследования представляют интерес для разработчиков ракетной техники. В настоящее время проектируются несколько

отечественных ракет-носителей в рамках государственных и частных (коммерческих) программ.

Математическая часть диссертационного исследования, связанная с решением задачи оптимального управления (Глава 1) представляет практический интерес для разработчиков алгоритмов управления динамических объектов различных типов, движение которых может быть описано линейной нестационарной системой уравнений, а в качестве критерия управления рассматривается квадратичный терминально-интегральный критерий.

Замечания

1. При изложении методик решения задач управления уводом струй и аварийным уводом РН в качестве управления рассматриваются скалярные переменные. Автор не указывает, применимы ли разработанные методики в ситуациях, когда управлением является вектор? Например, в ситуации, когда сопла отдельных ракетных двигателей отклоняются не синхронно, а по разным законам управления.

2. В диссертации, в разделе 3.4, непонятно чем обусловлен рассмотренный диапазон варьирования времени наступления отказа. А также не исследованы случаи отказов одновременно двух и более двигателей.

3. В моделях РН как объекта управления, использованных в работе, не учитываются упругие колебания конструкции РН, которые могут приводить к ошибкам измерений угла атаки и соответственно к ошибкам оценки параметра нагружения конструкции РН Q .

Заключение о соответствии диссертационной работы установленным требованиям

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на хорошем техническом уровне. Автор является соавтором 3 статей, опубликованных в журналах из списка научных журналов, рекомендованных ВАК. Основные положения работы,

выносимые на защиту, полностью отражены в публикациях. Автореферат соответствует содержанию текста диссертации.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 (ред. от 01.10.2018) и удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Трифонов Максим Викторович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 – Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Официальный оппонент



Купреев Сергей Алексеевич

Доктор технических наук

по специальности 05.07.09, доцент,
профессор департамента «Механика
и мехатроника» Института космических
технологий Инженерной академии РУДН

Дата: 14.10.2019

Подпись официального оппонента **Купреева Сергея Алексеевича** заверяю.

Ученый секретарь Ученого Совета РУДН



В.М. Савчин

Полное наименование и организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов».

Адрес организации: 117198, ЮЗАО, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6.

Телефон: +7 495 955-39-61, e-mail: kupreev-sa@rudn.ru