

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: Д 212.125.12

Соискатель: Трифонов Максим Викторович

Тема диссертации: Синтез алгоритмов управления движением первой ступени ракеты-носителя для повышения эффективности пуска

Специальность: 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:

На заседании 28 ноября 2019 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, установленным Положением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, и принял решение присудить Трифонову Максиму Викторовичу ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: председатель диссертационного совета В.В. Малышев, заместитель председателя диссертационного совета М.Н. Красильщиков, ученый секретарь диссертационного совета А.В. Старков, члены диссертационного совета: В.Т. Бобронников, В.С. Брусов, В.А. Воронцов, В.Н. Евдокименков, А.В. Ефремов, А.И. Кибзун, М.С. Константинов, В.П. Махров, С.Н. Падалко, В.Г. Петухов, В.Н. Почукаев, Г.Г. Райкунов, Г.Г. Себряков, К.И. Сыпало, Ю.В. Тюменцев, А.В. Шаронов.

Ученый секретарь диссертационного совета

Д 212.125.12, к.т.н.



УДС МАИ

 А.В. Старков

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.12

на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
(МАИ)

по диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 28.11.2019 г., протокол № 25

О присуждении **Трифонову Максиму Викторовичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Синтез алгоритмов управления движением первой ступени ракеты-носителя для повышения эффективности пуска» по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением» принята к защите «27» июня 2019, протокол № 12, диссертационным советом Д 212.125.12 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ, Московский авиационный институт), 125993, Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4, приказ о создании совета № 105/нк. от 11.04.2012 г.

Соискатель Трифонов Максим Викторович 1990 года рождения, в 2014 г. окончил с отличием Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ) кафедру «Системный анализ и управление» по специальности «Динамика полета и управление движением летательных аппаратов» с присуждением квалификации «Инженер».

В период подготовки диссертации соискатель обучался в очной аспирантуре кафедры «Системный анализ и управление» института «Аэрокосмический» МАИ, которую закончил в 2019 году с присуждением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

Диссертация выполнена в МАИ на кафедре «Системный анализ и управление».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системный анализ и управление» института «Аэрокосмический» МАИ Бобронников Владимир Тимофеевич.

Официальные оппоненты:

1. Купреев Сергей Алексеевич – гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, профессор департамента «Механика и мехатроника» Института

космических технологий Инженерной академии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН).

2. Царьков Кирилл Александрович – гражданин Российской Федерации, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Математических методов исследования оптимальных управляемых систем им. В.Ф. Кротова» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления имени В.А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН).

Все оппоненты дали **положительные отзывы о диссертации.**

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана), г. Москва, дало **положительное заключение.** Заключение было заслушано и одобрено 09 октября 2019 года на заседании кафедры СМ-3 «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов» МГТУ им. Н.Э. Баумана (протокол заседания от 09 октября 2019 г. № 3), подписано первым заместителем заведующего кафедрой СМ-3 «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов» МГТУ им. Н.Э. Баумана, кандидатом технических наук, доцентом В.В. Коряновым, доктором технических наук, профессором В.В. Бетановым, заверено руководителем научно-учебного комплекса «Специальное машиностроение», доктором технических наук, профессором В.Т. Калугиным. Отзыв утвержден первым проректором-проректором по научной работе МГТУ им. Н.Э. Баумана, доктором технических наук В.Н. Зиминым.

В заключении указано, что диссертация Трифонова М.В. соответствует специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов», является научно-квалификационной работой, в которой решена научная задача синтеза алгоритмов управления движением первой ступени ракеты-носителя (РН) для повышения эффективности пуска. Диссертация соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Основные результаты диссертационной работы изложены в 3-х научных работах, опубликованных в научных журналах, входящих в перечень

рецензируемых научных изданий ВАК, и 1 патенте на изобретение. Всего по теме диссертации соискатель имеет 7 опубликованных работ.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Бобронников В. Т., Трифонов М. В. Методика статистического анализа движения первой ступени ракеты-носителя с учетом случайных ветровых нагрузок // Вестник Московского авиационного института. 2014, №1. С.33-42 – 9,1 с. (8 с. авт.). (№289 в перечне ВАК до 30.11.2015 г.)

Соискателем отражена методика статистического анализа возмущенного движения РН с учетом случайного горизонтального ветра; представлена модель движения РН; представлены результаты моделирования и проанализированы численные результаты решения задачи с использованием разработанной методики методом уравнений моментов, а также методом огибающих и методом Монте-Карло.

2. Альтшулер А.Ш., Бобронников В.Т., Трифонов М.В. Разработка алгоритма управления движением ракеты-носителя на начальном участке полета с использованием метода АКОР // Сибирский журнал науки и технологий. 2017, Т. 18, № 2. С. 314-322 – 8,5 с. (6,5 с. авт.). (№367 в перечне ВАК от 26.07.2017 г., уточнение о переименовании журнала, см. №1824 в перечне ВАК от 22.05.2018 г.)

Соискателем отражена методика решения задачи управления уводом газодинамических струй РН на начальном участке полета с использованием метода АКОР; описана методика решения модифицированной задачи АКОР для формирования регулятора системы управления РН; представлены модель движения РН на участке увода струй и численные результаты решения задачи.

3. Trifonov M. V., Altshuler A. Sh., Bobronnikov V. T. Development of a launch vehicle control algorithm at the initial flight part in case of one of the engines' failure // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение», 2019. № 1. С. 16–29 – 13,2 с. (12 с. авт.). DOI: 10.18698/0236-3941-2019-1-16-29. (№310 в перечне ВАК от 14.01.2019 г.)

Соискателем отражена методика решения задачи управления аварийным уводом РН при отказе одного из ее двигателей; представлен регулятор системы управления РН с использованием решения модифицированной задачи АКОР; описана модель движения РН на участке аварийного увода и приведены численные результаты решения задачи.

4. Трифонов М.В., Альтшулер А.Ш. Следящая система автоматического управления нестационарным динамическим объектом, 2019. Патент № RU2692204C1.

Соискателем запатентована следящая система автоматического управления нестационарным динамическим объектом и представлена соответствующая блок-схема системы; описана методика формирования следящей системы, основу

которой составляет решение модифицированной задачи АКОР с выходом, зависящим от управления; представлено практическое применение разработанной следящей системы на примере задачи управления уводом струй РН на начальном участке полета.

В диссертационной работе отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты, представленные в диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы:

1. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет) (ведущая организация). Отзыв положительный. К диссертационной работе имеются следующие замечания.

1. В тексте автореферата и диссертации неоднократно делается акцент на применение квадратичного критерия качества управления, однако отсутствует пояснение к преимуществам/недостаткам использования такого критерия при решении задач управления движением РН на участке полета первой ступени.

2. В математических моделях движения РН в качестве возмущений не учитываются разбросы геометрических, аэродинамических и массово-инерционных характеристик аппарата.

3. При решении задачи управления аварийным уводом РН основным выходом системы является некоторая характерная точка РН. Как оценивалось выполнение требования безударности РН с кабель-заправочной башней?

4. Математическая модель горизонтального ветра в виде формирующего фильтра второго порядка не учитывает сдвиговую составляющую изменения скорости ветра.

5. В задаче снижения нормальных перегрузок РН проводилось ли сравнение численных результатов параметра нагружения Q , рассчитываемых методом уравнений моментов с методом имитационного моделирования?

2. Купреев Сергей Алексеевич (официальный оппонент), д.т.н. Отзыв положительный, заверен учёным секретарем Ученого совета РУДН, д.ф.-м.н. В.М. Савчиным. К диссертационной работе имеются следующие 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 .

3. Царьков Кирилл Александрович (официальный оппонент), к.ф.-м.н. **Отзыв положительный**, заверен заведующим отделом кадров ИПУ РАН И.А. Гавриловой. К диссертационной работе имеются следующие замечания.

1. В первой главе работы формулируется детерминированная математическая модель исследуемого процесса управления, а в главах 4 и 5 обсуждается возможность моделирования внешних возмущений при помощи элементов теории случайных процессов. В связи с этим возникает вопрос о привлечении стохастической теории динамических систем и теории оптимального управления такими системами к решению основных задач диссертационного исследования. Данный вопрос в работе никак не изучен.

2. В теоретической части диссертации (глава 1) на функцию управления не накладывается геометрических ограничений, а в практической части работы (главы 2 и 3) роль управлений играют углы отклонения сопел РН. При этом их возможный выход за пределы допустимых значений не обсуждается.

3. Постановка задачи оптимального управления в главе 1 сформулирована недостаточно строго: ничего не сказано о степени информированности управляющего устройства о текущем состоянии системы (после чего решается задача с полной обратной связью), а кроме этого не дано никаких комментариев относительно отличий ошибки слежения в конечный момент времени от динамической ошибки слежения на всем остальном интервале.

4. Решаемую в работе проблему оптимального управления предлагается назвать новым термином «задача АКОР с управляемым выходом». Однако данная задача не является новой для математической теории управления. В результате целесообразность введения нового термина вызывает сомнения.

4. ФГУП «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского». Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан руководителем программ реализации научных проектов развития аэрокосмических исследований ФГУП «ЦАГИ», д.т.н. А.С. Филатьевым и утвержден заместителем генерального директора ФГУП «ЦАГИ» - начальником комплекса прочности ЛА М.Ч. Зиченковым.

К работе имеются следующие замечания.

1. При анализе аэродинамических нагрузок на РН не рассмотрен случай бокового ветра, который может быть более критичен для целей исследования.

2. Эффективность предложенного алгоритма снижения нагрузок обосновывается сравнением с номинальным регулятором, настроенным для РН с меньшим головным обтекателем. Но из автореферата неясно, как построен номинальный регулятор и является ли он оптимальным.

3. Не учтена упругость конструкции РН, которая ввиду обратных связей по скорости тангажа и перегрузке может потребовать значительной перенастройки параметров регулятора (уменьшения коэффициентов усиления, фильтрации управляющих сигналов и т.п.) для обеспечения устойчивости РН на частотах упругих колебаний конструкции РН и колебаний топлива в баках.

5. ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва». Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан начальником сектора ПАО «РКК «Энергия», д.т.н. М.В. Михайловым и заверен ученым секретарем ПАО «РКК «Энергия», к.ф.-м.н. О.Н. Хатунцевой.

К работе имеются следующие замечания.

1. При формулировке постановок технических задач исследования - задачи управления уводом струй и задачи управления аварийным уводом РН следовало бы отметить, что эти задачи актуальны для РН, в состав стартовых комплексов которых входит кабель-заправочная башня или другие высотные сооружения в окрестности точки старта.

2. При решении задачи снижения нормальных перегрузок РН (глава 4) используется модификация ПИД-регулятора. В тексте автореферата не сказано о целесообразности рассмотрения такой модификации и нет сравнения с результатами, полученными при применении регуляторов других типов, например, в простейшем случае – классического ПИД-регулятора.

6. Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук». Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан главным научным сотрудником ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, д.т.н. Ю.Г. Сихарулидзе и заверен ученым секретарем ИПМ им. М.В. Келдыша, к.ф.-м.н. А.И. Масловым.

К работе имеются следующие замечания.

1. Автор приводит результаты численного моделирования задач, но не дает основных параметров самой РН, для которых они получены. Например, начальная тяговооруженность, угловое ускорение при отклонении двигателей на 1 градус (эффективность управления), габариты РН и т.д. Поэтому нельзя понять, не упадет ли РН на стартовый стол при отказе одного двигателя из пяти, т.е. при снижении тяги на 20%? Хватит ли эффективности оставшихся четырех

двигателей РН для парирования опрокидывающего момента после отказа? Зазор между РН и КЗБ в 1 метр – это много или мало?

7. ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения». Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан начальником лаборатории, д.т.н. С.И. Кудрявцевым и заверен главным ученым секретарем ФГУП «ЦНИИмаш», д.т.н. Ю.Н. Смагиным.

К работе имеются следующие замечания.

1. Целью диссертационной работы является исследование возможности повышения эффективности пуска РН. Автор не приводит численных результатов, показывающих повышение эффективности пуска с использованием разработанных методик управления по сравнению с известными методиками для выбранных критериев эффективности.

2. Не приведены конкретные примеры, когда известные методы и алгоритмы не обеспечивают, по мнению автора, «достаточной эффективности управления».

3. В четвертой главе работы излагается методика решения задачи получения «более корректных» оценок величины потребной нормальной перегрузки. Автором не приведены недостатки известных методик и преимущества его разработки.

4. В автореферате векторные величины обозначены как скалярные.

5. В качестве возмущающих факторов при статистическом анализе возмущенного движения РН учитываются только вариации плотности атмосферы и скорости горизонтального ветра. Не учтены разбросы характеристик двигателей, аэродинамических и массово-инерционных характеристик РН. Не проведен анализ влияния управления движением РН вокруг центра масс на эффективность предложенных алгоритмов.

6. В уравнениях (9) и (14) расчет аэродинамических ускорений производится без учета скорости ветра.

7. Автор использует модель случайных вариаций плотности атмосферы и скорости ветра, построенную на основе формирующих фильтров. Выбор такой модели не обоснован, не приведены результаты сравнения использованной модели с известными (например, с моделью разработанной в ЦНИИмаш для обеспечения программы «Буран»).

8. АО «Научно-производственное объединение им С.А. Лавочкина». Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан математиком 2-ой категории отдела баллистики и навигации, к.т.н. Е.С. Гордиенко, ведущим математиком отдела баллистики и навигации, к.т.н. А.В. Симоновым и утвержден заместителем генерального директора по научной работе С.Н. Шевченко.

К работе имеются следующие замечания.

1. В тексте автореферата отсутствуют сравнения эффективности разработанных методик (управление уводом струй ракетных двигателей от сооружений стартового комплекса, аварийного увода от сооружений стартового комплекса, движением РН на участке максимальных скоростных напоров) с существующими и используемыми разработчиками систем управления РН – НПЦ АП им. Пилюгина и НПО Автоматики им. Семихатова.

2. Автором не проведен анализ алгоритмической и вычислительной сложности разработанных методик и алгоритмов с точки зрения возможности их реализации на существующих и перспективных БЦВК систем управления РН.

3. Разработанный алгоритм управления аварийным уводом при отказе одного из ракетных двигателей не учитывает ограничений по угловым скоростям разворота корпуса РН, вызванных жесткостью конструкции ее частей.

4. В тексте автореферата не приведена ссылка на числовые характеристики моделей ветра и вариаций плотности атмосферы, используемых для разработки методики снижения располагаемых перегрузок РН на участке максимальных скоростных напоров. Также эти модели не совпадают с наиболее часто используемыми для этих целей согласно ГОСТ Р 53460-2009 или NRLMSISE-00.

5. В работе отсутствует расшифровка аббревиатуры «КЗБ».

6. В списке публикаций по теме диссертации не указан вклад каждого из соавторов в каждую из статей.

9. ФГБОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева». Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан директором НИИ космического машиностроения заслуженным деятелем науки РФ, д.т.н. В.В. Салминым, профессором кафедры космического машиностроения, д.т.н. В.И. Куренковым и заверен ученым секретарем Самарского университета, д.т.н. В.С. Кузьмичевым.

К работе имеются следующие замечания.

1. Из автореферата не ясно, можно ли полученные решения использовать для ракет-носителей, у которых изменение направления вектора тяги осуществляется не поворотом основных двигателей, а специальными рулевыми двигателями.

2. Имеются неточности в обозначениях переменных. Скорость РН на страницах 11-12, 15 автореферата обозначается как V , а на странице 17 – V_B .

10. ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова». Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан заведующим кафедрой «Процессов управления» БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, заслуженным работником высшей школы, д.т.н. О.А. Толпегиним и утвержден проректором по научной работе и инновационно-коммуникационным технологиям С.А. Матвеевым.

К работе имеются следующие замечания.

1. В тексте автореферата нет обоснования выбора нулевых и ненулевых элементов весовых матриц квадратичного критерия при решении задач увода струй двигателей и аварийного увода РН.

2. При решении задачи аварийного увода РН основным выходом системы является характерная хвостовая точка РН. Исходя из этого непонятно, как в работе оценивалось выполнение требования безударности РН с кабель-заправочной башней.

11. Федеральное государственное бюджетное учреждение «4 Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны Российской Федерации». Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный,** подписан заместителем начальником управления, к.т.н. О.А. Касьяновым, начальником отдела П.Е. Мустюковым, старшим научным сотрудником, к.т.н. С.А. Никулиным, заверен ученым секретарем 4 ЦНИИ Минобороны России, к.т.н. А.Г. Боярским и утвержден заместителем начальника 4 ЦНИИ Минобороны России по научной работе, к.т.н. В.В. Шкарбань.

К работе имеются следующие замечания.

1. Не приведены оценки числа обусловленности матриц, содержащихся в матричных уравнениях. Число обусловленности матриц свидетельствует о возможности достоверного численного решения матричных уравнений. При больших числах обусловленности матрицы приходится решать математически некорректно поставленную задачу.

2. В главе 2 рассмотрена линеаризованная модель движения РН на участке увода струй. В автореферате не приведены оценки внесенных таким допущением погрешностей в решение задачи синтеза системы управления движением РН.

12. ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем». Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный,** подписан начальником сектора, к.т.н. В.Н. Ильичевым, начальником сектора, к.т.н. Д.А. Савиным, начальником подразделения д.т.н. Л.В. Вишняковой.

К работе имеются следующие замечания.

1. Из материалов автореферата не вполне понятна методика подбора весовых коэффициентов критерия эффективности (13) в задаче увода струй ракетных двигателей от сооружений стартового комплекса.

2. В автореферате отсутствует расшифровка аббревиатуры КЗБ.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием публикаций в соответствующей сфере исследования, компетентностью в области науки по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов» и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

МГТУ им. Н.Э. Баумана является ведущей организацией в области исследования вопросов динамики и управления полетом летательных аппаратов. К настоящему времени в рамках данного научного направления в МГТУ им. Н.Э. Баумана действуют три научных школы: Управление полетами автоматических и пилотируемых космических аппаратов (руководитель - профессор Соловьев Владимир Алексеевич), Динамика полета управляемых и неуправляемых летательных аппаратов (организатор - профессор Лысенко Лев Николаевич), Управление аэродинамическими характеристиками летательных аппаратов (руководитель - профессором Калугин Владимир Тимофеевич). Отзыв по диссертационной работе подготовили сотрудники научно-учебного комплекса «Специальное машиностроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана, которые являются признанными специалистами по вопросам динамики, баллистике и управлению движением летательных аппаратов.

Купреев Сергей Алексеевич – автор более 50 научных трудов. Область научных интересов – динамика полета, математическое моделирование и механика движения связанных объектов.

Царьков Кирилл Александрович – автор 30 научных трудов. Область научных интересов – стохастическая теория оптимального управления и математические методы исследования управляемых динамических систем.

В дискуссии приняли участие:

Фамилия, имя, отчество	Ученая степень, шифр специальности в совете
КРАСИЛЬЩИКОВ М.Н.	д.т.н., 05.13.01
ТЮМЕНЦЕВ Ю.В.	д.т.н., 05.13.01
РАЙКУНОВ Г.Г.	д.т.н., 05.07.09
КОРЯНОВ В.В.	к.т.н. (МГТУ им. Н.Э. Баумана)
ПОЧУКАЕВ В.Н.	д.т.н., 05.13.01
ВОЛОДИН В.Д.	к.т.н. (ГКНПЦ им. М.В. Хруничева)

Диссертационный совет отмечает, что наиболее существенные научные результаты, полученные лично соискателем, могут быть сформулированы следующим образом:

1. Решение задачи АКОР с управляемым выходом в виде оптимального управления линейной нестационарной системой по квадратичному критерию.

2. Методика формирования алгоритма управления уводом струй ракетных двигателей от сооружений стартового комплекса по заданной программе увода с применением решения задачи АКОР с управляемым выходом.

3. Методика формирования алгоритма управления аварийным уводом РН от сооружений стартового комплекса по заданной программе увода с применением решения задачи АКОР с управляемым выходом.

4. Методика статистического анализа управляемого движения первой ступени РН для оценки нормальных перегрузок, испытываемых РН при движении на участке максимальных скоростных напоров с учетом размеров головного обтекателя и уточненных моделей атмосферных возмущений в виде формирующих фильтров.

5. Структура и коэффициенты регуляторов замкнутой системы управления РН на участке полета первой ступени для решения задач управления уводом струй ракетных двигателей, управления аварийным уводом РН и снижения нормальных перегрузок РН на участке максимальных скоростных напоров с учетом размеров головного обтекателя и случайных атмосферных возмущений.

Новизна полученных результатов заключается в том, что впервые решена модифицированная задача АКОР, особенностью которой является зависимость вектора выхода от вектора управления и учет в правой части уравнения состояния дополнительного вектора входов; разработаны новые алгоритмы управления движением первой ступени РН для решения задач увода струй ракетных двигателей, аварийного увода РН и снижения нормальных перегрузок РН на участке максимальных скоростных напоров; разработаны математические модели движения РН, в том числе имитационные модели; разработаны и исследованы уточненные модели атмосферных возмущений в виде формирующих фильтров.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что решение модифицированной задачи АКОР вносит вклад в развитие теории оптимального управления. Предложенные автором методики формирования алгоритмов управления движением РН и статистического анализа возмущенного движения РН представляют исследовательский интерес для различных типов ЛА.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается следующим.

1. Использование решения задачи АКОР с управляемым выходом при проектировании систем управления движением динамических объектов различных типов позволит расширить область их применения и число решаемых такими динамическими объектами задач.

2. Применение алгоритмов управления движением РН для решения задач увода струй ракетных двигателей и аварийного увода РН способствует повышению требований сохранности и безопасности сооружений стартового комплекса, что приводит к повышению эффективности пуска.

3. Применение методик статистического анализа возмущенного движения РН и перенастройки параметров закона управления приводят к корректной оценке

и снижению нормальных перегрузок РН, что позволит применять крупногабаритные головные обтекатели в конфигурации РН и, следовательно, повышают конкурентоспособность РН.

Результаты диссертационной работы были использованы в учебном процессе кафедры «Системный анализ и управление» МАИ, что подтверждается соответствующим актом о внедрении, который имеется в деле.

Результаты диссертационной работы рекомендуются к использованию при проектировании систем управления модернизируемых и перспективных РН для решения задач увода ракетных струй, аварийного увода РН и снижения нормальных перегрузок РН.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

1. Автор в диссертационном исследовании использует хорошо формализованный, апробированный математический аппарат и признанные теории такие, как теория АКОР и теория ПИД-управления. Численные результаты, полученные разными методами анализа, сравниваются между собой.

2. Разработанные автором алгоритмы управления движением РН подтверждают свою эффективность в составе более точной (детальной) модели движения РН при действии случайных атмосферных возмущений.

3. Диссертация целостно охватывает основные вопросы рассматриваемой научно-технической задачи. Изложение полученных результатов логически связано. В работе использованы фундаментальные научно-технические подходы и современные методы динамики полета, баллистики и управления движением летательных аппаратов.

В диссертационной работе все заимствованные материалы представлены со ссылкой на автора или источник. Тем самым работа удовлетворяет п.14 Положения о присуждении ученых степеней.

Изложенные в диссертационной работе **результаты являются новыми научно обоснованными техническими решениями**, имеющими существенное значение для развития ракетно-космической техники страны в части увеличения эксплуатационного ресурса стартового комплекса, повышения надежности и безопасности пуска, а также повышения конкурентоспособности.

На заседании 28 ноября 2019 г. диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, и принял решение присудить Трифонову Максиму Викторовичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 7 докторов наук по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов», участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 19, против – 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета

Д 212.125.12, д.т.н., профессор  В.В. Малышев

Ученый секретарь диссертационного совета

Д 212.125.12, к.т.н.

 А.В. Старков

« 28 » ноября 2019 г.

И.о. начальника отдела УДС МАИ

Т.А. 

