

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова Российской академии наук



кфмн И.Н. Барабанов

« » 2015г.

ОТЗЫВ

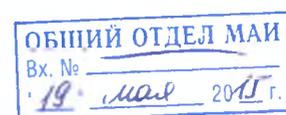
ведущей организации на диссертационную работу
Пушкарева Дмитрия Сергеевича

«Влияние входных давлений компонентов топлива на точность управления и регулирования многорегимных маршевых кислородно-керосиновых ЖРД типа РД191»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

Диссертационная работа Пушкарева Д.С. «Влияние входных давлений компонентов топлива на точность управления и регулирования многорегимных маршевых кислородно-керосиновых ЖРД типа РД191» посвящена совершенствованию бортовых алгоритмов управления многорегимных маршевых кислородно-керосиновых ЖРД.

Главной целью диссертационной работы являлось решение острой технической проблемы, возникшей на этапе проектирования системы управления расходом топлива (СУРТ) центрального блока (ЦБ) РН «Ангара-А5» в части обеспечения требуемой точности поддержания задаваемого системой СУРТ значения коэффициента K_m соотношения расходов компонентов топлива. Маршевый двигатель ЦБ (РД 191) на участке I ступени дроселируется до 30% от номинала, что сопровождается ростом K_m из-за повы-



шения статического давления столбов компонентов, возрастающего по мере роста продольной перегрузки. При выключении двигателей связки боковых блоков РН давление на входе в двигатель скачкообразно падает. Изменение Km в конце работы I ступени может достигать -10% (при допуске $\pm 4,5\%$), что обусловлено повышением коэффициентов влияния давлений компонентов на Km при глубоком дросселировании двигателя.

Если плавные изменения Km с удовлетворительной точностью можно парировать программными (в моменты срабатывания измерительных точек СУРТ) переключками дросселя СУРТ, то для компенсации скачкообразного изменения Km необходимо использовать дополнительную информацию, характеризующую быстропротекающие процессы изменения давления на входе в двигатель на локальном участке спада тяги. Эту задачу решает модифицированный автором алгоритм управления, использующий на участке дросселирования дополнительную измерительную информацию о текущей продольной перегрузке и давлению наддува в баках ЦБ.

В свою очередь, модернизация бортового алгоритма управления двигателем повлекла необходимость изменения методики проведения стендовых отработочных испытаний РД191, предназначенных для идентификации параметров статической модели ЖРД и его настройки, а также проведения дополнительных испытаний для подтверждения работоспособности скорректированного бортового алгоритма в условиях, приближенных к лётным.

Высокая актуальность. В ходе проведенного диссертационного исследования разработаны меры по предотвращению значительного превышения допуска на отклонения значений коэффициента соотношения расходов компонентов топлива в связи с существенным изменением входных давлений окислителя и горючего, что обеспечило необходимую точность реализации управляющих воздействий СУРТ на двигатель РД191 в составе центрального блока РН «Ангара –А5» при первых лётных испытаниях.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- разработан бортовой алгоритм управления двигателем, обеспечивающий требуемую точность поддержания коэффициента соотношения расходов в условиях существенного изменения входных давлений компонентов на участке глубокого дросселирования.

Необходимо отметить, что подобные алгоритмы окажутся востребованными для ракет среднего и тяжелого класса блочной компоновки, поскольку глубокое дросселирование центрального блока на участке работы I

ступени позволяет существенно повысить энергетические характеристики РН этого класса.

В результате исследований по поставленной проблеме автором **выносятся на защиту следующие положения:**

1. Результаты анализа испытаний РД191, выявили существенное влияние входных давлений компонентов топлива на тягу и соотношение расходов компонентов топлива на режимах глубокого дросселирования (~27-30% номинальной тяги) и коэффициенты влияния величин входных давлений компонентов топлива на тягу и соотношение расходов компонентов топлива при работе двигателя на этих режимах.
2. Разработан бортовой алгоритм управления двигателем, согласованный с предприятием-разработчиком РН семейства «Ангара», учитывающий влияние входных давлений компонентов при расчете кодов команд, выдаваемых на привод дросселя горючего.
3. Результаты экспериментальных исследований, показавшие эффективность использования модифицированного алгоритма управления двигателем РД191 при полете РН и при испытаниях двигателя, обеспечивающий требуемую точность работы системы управления расходом топлива РН и работу двигателя в эксплуатационном диапазоне значений тяги и соотношения расходов компонентов топлива в широких пределах изменения входных давлений компонентов топлива на любых режимах работы двигателя, в том числе на участке глубокого дросселирования.

Достоверность полученных результатов. Разработанные алгоритмы, обеспечивающие высокую точность при регулировании, отработаны и подтверждены при проведении летных испытаний РН и «Ангара-А5» 23.12.14г.

Полученные автором результаты диссертационного исследования могут быть востребованы:

- в предприятиях-разработчиках жидкостных ракетных двигателей;
- в предприятиях-разработчиках ракет-носителей;
- Федеральным космическим агентством (Роскосмос).

Диссертационная работа содержит 126 страниц машинописного текста, включая введение, четыре раздела, заключение, список литературы из 78 наименований, 32 рисунка, 11 таблиц.

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель исследования, задачи, методологическая и теоретическая основа, информационная база, достоверность результатов, практическая значимость, апробация работы, личное участие автора в достижении результатов исследования.

Раздел 1 посвящен анализу состояния проблемы обеспечения высокоточного управления и регулирования маршевыми ЖРД в ОАО «НПО Энергомаш».

В разделе описана история совершенствования систем управления и регулирования двигателей производства ОАО «НПО Энергомаш», начиная с двигателей РД107 (РД108), заканчивая современными маршевыми многорежимными двигателями семейства РД170 (РД171М, РД180, РД191).

Проведен анализ литературных источников как отечественных, так и зарубежных по проблеме высокоточного управления и регулирования ЖРД, а также вопросы обеспечения работы двигателя на режимах дросселирования (в т.ч. обеспечение основных параметров двигателя).

В **разделе 2** описаны методика настройки двигателя в процессе первого огневого испытания (КТИ), обеспечивающая его работу в полете в широком диапазоне изменения тяги, алгоритм проведения КТИ, бортовой алгоритм управления двигателя РД191, рассмотрен, разработанный ранее в ОАО «НПО Энергомаш», учет влияния температур компонентов на входе в двигатель.

Раздел 3 посвящен расчетному и экспериментальному исследованию влияния входных давлений компонентов топлива на точность управления многорежимных маршевых кислородно-керосиновых ЖРД типа РД191 и корректировке алгоритма управления двигателя РД191, учитывающей значительное влияние входных давлений компонентов топлива на соотношение расходов компонентов топлива на режимах глубокого дросселирования.

В **разделе 4** представлен один из тестовых примеров для проверки бортового программного обеспечения управления приводами регулятора и дросселя двигателя РД191, предназначенного для центрального блока РН «Ангара-А5».

По содержанию диссертационной работы можно отметить следующие недостатки:

1. В работе недостаточное внимание уделено теоретическому обоснованию предложенного варианта модификации бортового алгоритма. В частности, если критерием выбора алгоритма является точность поддержания заданного значения K_m , то не ясно, почему при оценивании высот уровней жидкости в баках компо-

нентов не используется имеющаяся в БЦВМ информация СУРТ о текущем запасе топлива.

2. Недостаточное внимание уделено вопросам отказоустойчивости предложенного бортового алгоритма к возможным отказам в измерительном тракте по каналам давлений в подушках баков и продольной перегрузки.
3. Значительная часть работы посвящена описанию методик КТИ и дополнительных испытаний РД191. Однако не ясен конкретный вклад автора в модификацию этих методик в связи с модернизацией бортового алгоритма.
4. В тексте диссертации имеется ряд неточностей, в частности отсутствует рис.20, на который имеются ссылки.

Указанные недостатки не носят принципиального характера и не снижают научной и практической ценности диссертационной работы.

Диссертационная научная работа Пушкарева Д.С. является научно-исследовательской работой, содержащей решение задачи, ранее не имеющей аналогов в мировой практике.

Апробация диссертационной работы представляется достаточной, основные результаты работы опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК. Выводы и рекомендации, приведенные в диссертации, достаточно обоснованы.

Считаем, что диссертация Пушкарева Дмитрия Сергеевича «Влияние входных давлений компонентов топлива на точность управления и регулирования многорежимных маршевых кислородно-керосиновых ЖРД типа РД191» удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор достоин присуждения ему степени кандидата технических наук.

Отзыв на диссертацию рассмотрен и утвержден на научном семинаре лаборатории №8 ИПУ РАН (протокол №1 от 14 мая 2015г.).

Заведующий лабораторией №8 ИПУ РАН,
д.т.н.



В.П. Иванов