

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
кандидата физико-математических наук, доцента
Мосолова Сергея Владимировича

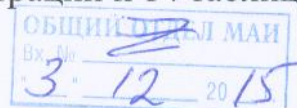
на диссертационную работу **Хохлова Алексея Николаевича** на тему **«Совершенствование технологии уточняющих испытаний ракетных двигателей малых тяг»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Диссертационная работа посвящена решению научно-технической задачи совершенствования технологии уточняющих испытаний ракетных двигателей малых тяг (РДМТ), направленной на сокращение объема их стендовой отработки.

Уточняющие испытания являются этапом экспериментальной отработки, реализуемой на стадии создания аванпроекта или эскизного проектирования двигателей.

В настоящее время при разработках ряда перспективных проектов жидкостных ракетных двигательных установок (ЖРДУ), использующих высокоэнергетические и экологически безопасные компоненты топлива (КТ), рассматривается возможность использования этих КТ для РДМТ систем управления космическими аппаратами (КА) и разгонными блоками. При отсутствии достаточных опытных данных по конструктивным решениям относительно нового класса таких двигателей существует необходимость в реализации требуемого объема уточняющих испытаний при их рациональном планировании. Поэтому тема диссертационной работы – совершенствование технологии уточняющих испытаний ракетных двигателей малых тяг, позволяющей сократить объем испытаний, является весьма актуальной.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка использованных источников из 82 наименований, приложения на 38 страницах. Общий объем диссертации составляет 172 страницы текста, включающего 79 иллюстраций и 14 таблиц.



Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируются цель и задачи исследования, отражены научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе рассмотрены основные проблемы качественного проведения испытаний. Проведен обзор этапов экспериментальной отработки (ЭО) и руководящих документов для проведения испытаний РДМТ на предприятиях ракетно-космической промышленности (РКП). Выбраны основные параметры экспериментальных конструкций двигателей и разработана технология повышения информативности отработки на этапах уточняющих испытаний (УИ).

Проведен анализ работ по применению методов математического планирования испытаний и регрессионного анализа, на основе которого автором предложены оптимальные планы для УИ РДМТ и виды регрессионных моделей для сочетания двух параметров - удельного импульса тяги и максимальной температуры стенки камеры двигателя.

Во второй главе дано описание стенда для огневых испытаний разработанных в МАИ двигателей ДМТ-МАИ-200М (на газообразных компонентах – кислород+метан, тягой 200Н) и ДМТ-МАИ-500П (на компонентах – водорода пероксид высококонцентрированный+керосин, тягой 500Н), который был модернизирован при непосредственном участии автора. Модернизация заключалась в изменении пневмогидравлической схемы, автоматизированной системы управления, автоматизированной системы измерений и системы безопасности огневого стенда.

Разработана методика проведения и анализа результатов испытаний экспериментальных конструкций двигателей.

Следует отметить разработанное автором программное обеспечение для оптимального планирования и статистической обработки эксперимента, на основе которого определены виды регрессионных моделей основных параметров двигателей.

В третьей главе по результатам проведенных огневых испытаний двигателей ДМТ-МАИ-200М и ДМТ-МАИ-500П, с помощью разработанного ПО, построены адекватные регрессионные модели для удельного импульса тяги и температуры стенки камеры двигателя. В качестве входных факторов

выбраны массовые расходы окислителя и горючего. Относительная ошибка полученных регрессионных моделей не превышает 2,3%.

С помощью разработанной методики выполнена оценка параметров двигателей на соответствие заданным требованиям и определены границы их работоспособности.

В четвертой главе подтверждена применимость разработанной технологии для двигателей с другими уровнями тяги и компонентами топлива: РДМТ-100 разработки ГНЦ – ФГУП «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша» (тяга – 100Н, компоненты: газообразные кислород+водород); S10 и S400 разработки EADS Astrium (тяга – 10 и 420 Н, соответственно, компоненты: азотный тетроксид – монометилгидразин АТ+ММГ). Рассогласование между построенными регрессионными моделями и результатами испытаний не превышает 1%.

Обобщение результатов испытаний указывает на применимость разработанной методики для испытаний двигателей в диапазоне тяг от 10 до 500 Н, работающих как на штатных (токсичных) КТ, так и на перспективных экологически безопасных КТ.

В пятой главе приведена структурная схема технологии УИ РДМТ с выделением элементов схемы, которые добавлены или изменены по результатам исследований автора диссертации. Дано подробное описание технологических операций при проведении огневых уточняющих испытаний двигателей.

Разработанная усовершенствованная технология УИ РДМТ, в отличие от существующих, позволит:

- ограничить количество учитываемых параметров и факторов;
- сократить количество испытаний до оптимального уровня;
- повысить информативность и качество испытаний;
- строить регрессионные модели, которые используются для подтверждения выполнения требований к двигателям и оперативной оценки их параметров.

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- усовершенствована технология уточняющих испытаний, основанная на разработках некоторых положений теории математического планирования экспериментов и регрессионного анализа результатов испытаний при огневых стендовых испытаниях РДМТ, работающих на жидких и газообразных КТ;

- разработана методика проведения испытаний РДМТ для определения рационального объема и вида контролируемых параметров при УИ, характеризующих работоспособность объекта испытаний;

- разработано программное обеспечение для формирования планов полного факторного эксперимента с целью проведения испытаний ракетных двигателей и построения моделей регрессионного анализа результатов испытаний;

- получены, в обобщенном виде, математические модели зависимостей удельного импульса тяги и температуры стенки камеры для двигателей на токсичных и экологически безопасных КТ.

Достоверность и обоснованность научных положений подтверждены:

- использованием положений теории математического планирования экспериментов и регрессионного анализа;

- использованием современных физико-технических методов для решения инженерных задач по определению характеристик РДМТ;

- получением и обоснованием данных по результатам испытаний РДМТ на натурном стенде с сертифицированными средствами измерений;

- согласованием результатов теоретических и экспериментальных исследований с точностью, необходимой для определения характеристик РДМТ конкретной конструкции.

По теме диссертации опубликовано 26 работ, из них 6 опубликовано в рецензируемых журналах и изданиях, рекомендованных ВАК, и 1 статья в зарубежном научно-техническом журнале, 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, 17 материалов докладов были представлены в трудах зарубежных, международных и всероссийских конференций. Автореферат диссертации и публикации автора достаточно полно отражают содержание диссертационной работы.

Работа имеет несомненную практическую значимость для дальнейшего совершенствования ракетного двигателестроения. Предложенная

усовершенствованная технология испытаний РДМТ позволяет сократить объем наземной экспериментальной отработки, а полученные на ее основе регрессионные модели могут использоваться при прогнозировании рабочих параметров двигателей, а также при формировании имитационных моделей систем управления стендами и КА.

Можно отметить следующие замечания по содержанию диссертационной работы:

1. Автор, с одной стороны, дает развернутый материал по принципам построения регрессионных моделей для анализа результатов испытаний, с другой стороны, ограничивает собственные исследования разработкой моделей, связывающих только 2 параметра – удельный импульс тяги и температуру стенки камеры. В общем случае, может быть рассмотрено и другое сочетание базовых параметров. В частности, для особенностей режимов работы РДМТ и ЖРДМТ представляет интерес сочетание теплового состояния конструкции с циклограммой работы двигателя или с их ресурсными возможностями по наработке огневой работы и по количеству включений.
2. Автор в целом ряде случаев говорит о моделях для РДМТ, использующих экологически безопасные КТ, базируясь на результатах собственных экспериментов, тогда как подходы и общие принципы построения не должны ограничиваться только перечнем экспериментально апробированных КТ, а выводы должны носить более универсальный характер.
3. Результаты исследований автора основаны преимущественно на анализе собственных экспериментальных работах. Целесообразно было бы протестировать результаты исследований на современных опытно-конструкторских работах, выполняемых в отраслевых КБ.

Отмеченные замечания не снижают общего положительного впечатления о диссертационной работе и не влияют на основные их результаты.

Считаю, что диссертационная работа А.Н. Хохлова «Совершенствование технологии уточняющих испытаний ракетных двигателей малых тяг» является завешенной научно-квалификационной работой, в которой представлено решение задачи сокращения объема

экспериментальной отработки РДМТ, работающих на жидких и газообразных КТ. Диссертационная работа полностью отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Ее автор, Хохлов Алексей Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Официальный оппонент,

кандидат физико-математических наук, доцент

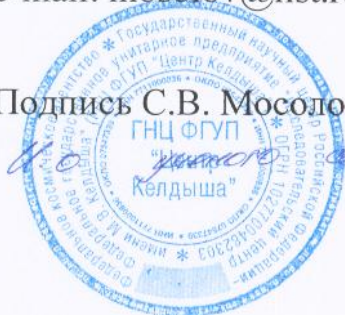
С.В. Мосолов

Адрес: 125438, ул. Онежская, 8, г. Москва

Телефон: 8(495)456-64-85

e-mail: mosolov@list.ru

Подпись С.В. Мосолова удостоверяю



И. С. Курочкин секретаря

И. Курочкин