

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертационную работу
Галеева Антона Валерьевича на тему «Разработка технологии
испытаний криогенных ракетных двигателей с имитацией
воздействующих факторов», представленной на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05
«Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных
аппаратов»**

Диссертация А.В. Галеева посвящена разработке технологии испытаний криогенных ракетных двигателей с имитацией воздействующих факторов. Круг применения решений данной задачи охватывает такие важные этапы создания двигателей, как подтверждение заложенных при разработке характеристик и показателей надежности в процессе стендовых испытаний. Работа носит расчетно-экспериментальный характер. Актуальность темы, практическая и научная значимость диссертации обуславливаются рассмотрением задач имитирования высотности и гидротермодинамических условий в процессе огневых испытаний, обоснованием улучшенных схем компоновки баллонов и технологии заправки, исследованием систем диагностики и аварийной защиты на испытательном стенде.

Научная новизна работы заключается в решении задач:

– обоснования и разработки методики захолаживания магистралей системы подачи (СП), заправки криогенных систем, запуска двигателя с расчетными моделями процессов, оптимизации экспериментальных установок (ЭУ) с вытеснительными и насосными СП компонентов топлива для отработки агрегатов жидкостных ракетных двигателей (ЖРД); применения усовершенствованных систем диагностики и аварийной защиты (СДАЗ) и программного комплекса (ПК) с дополнительными мерами безопасности испытаний ЖРД и двигательных установок (ДУ) на водороде;

– разработки методики отработки сложных технических систем (СТС) для подтверждения работоспособности и их характеристик с ограниченным объемом испытаний;

– обоснования технологии поэтапной отработки криогенных ЖРД с различными сопловыми насадками с имитацией условий эксплуатации.

Диссертационная работа содержит 126 страниц, состоит из введения, 4-х глав, заключения и списка литературы, содержащего 79 наименований.

Во введении и первой главе приводится обоснование актуальности темы диссертации, поставлена цель исследования, обозначены предмет исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту, внедрение результатов. Приведен обзор методологий испытаний ракетных двигателей на основных Российских и зарубежных научных и производственных организациях.

Вторая глава посвящена методике повышения эффективности и безопасности испытаний при экспериментальной отработке криогенных жидкостных ракетных двигателей с имитацией условий эксплуатации. В главе рассматривается наиболее распространенные при огневых испытаниях системы имитации высотности, содержащие диффузор, барокамеру, а в ряде случаев дополнительный смеситель-конденсатор и парэжекторную установку. Определены критерии выбора системы имитации высотности по степени расширения высотного сопла. Предложена, основанная на газодинамических функциях, инженерная методика течения газа от камеры сгорания по длине сопла и далее по системе тракта имитации высотности, рассчитаны давления газа на оси и вдоль стенки системы «сопло – диффузор». Отмечается хорошее совпадение с программным комплексом разработки ЦИАМ и с экспериментальными данными. Предложены рекомендации по технологии проведения огневых испытаний безгазогенераторного кислород/водородного двигателя РД0146Д, оснащенного высотным насадком радиационного охлаждения.

Проведен анализ существующих систем захлаживания магистралей и процессов запуска ДУ. Обобщены экспериментальные результаты, полученные при испытании двигателя КВД1. Результаты обобщения могут использоваться для верификации компьютерных моделей криогенных систем стендов и двигательных установок. Рассмотрены вытеснительные и насосные системы подачи компонентов топлива (КТ) для испытания камеры сгорания и насосных агрегатов ЖРД. Показано, что при параллельно-секционном подсоединении баллонов к коллекторам наддува неравномерность выработки КТ уменьшается в 2 раза, что позволяет увеличить продолжительность испытаний. Тепловой расчет магистрали подачи кислорода, проведенный по предложенной инженерной методике, продемонстрировал высокие потери криогенного компонента в процессе заправки баллонов при вытеснительной системе подачи и обосновывает целесообразность насосной системы подачи водорода с помощью технологического турбонасосного агрегата экспериментальной установки при автономных испытаниях газогенератора и камеры сгорания ДУ.

С целью повышения безопасности испытаний предлагается ряд способов предотвращения взрыва смесей водорода или метана с воздухом.

Замечания к главе 2.

1. Применяется название «неохлаждаемый сопловой насадок», что является не вполне корректно, поскольку данная часть сопла охлаждается радиационно, излучая с нагретой поверхности. Общепринято название «насадок радиационного охлаждения».

2. Не полно раскрыты перспективы внедрения предлагаемых в работе усовершенствований технологии испытания криогенных ЖРД.

3. В тексте, представленной диссертации, автор использует термины по РКТ не соответствующие ГОСТу 17655-89.

В третьей главе рассмотрены задачи разработки и тестирования программных комплексов систем диагностики и аварийной защиты испытаний. Повышенные требования к надежности систем управления при

испытаниях определенным образом влияют на структуру систем и программного обеспечения информационной управляющей системы (ИУС). В диссертации рассмотрены три структуры ИУС: одноканальная (с внутренним дублированием модуля управления), дублированная и троированная система. Отмечается, что одна из основных проблем работы СДАЗ связана с ограниченным быстродействием системы, по результатам обобщения экспериментальных данных приведено время реакции СДАЗ на аварийную ситуацию по различным диагностическим признакам.

Исследованы и классифицированы виды нештатных ситуаций при огневых испытаниях ЖРД, для каждого предложены методы контроля и меры по их предупреждению. Проведен сравнительный анализ анализаторов утечки водорода и предложена к использованию система контроля опасных накоплений на основе совокупности анализаторов водорода, датчиков температуры среды и микроэлектронных датчиков концентрации водорода с опто-волоконными линиями связи.

Замечания к главе 3.

1. Не приводятся рекомендации по выбору мест замера утечек водорода и их необходимому количеству.

2. Представляется целесообразным обратить внимание не только на утечку водорода, как диагностический признак, но и рассмотреть другие варианты развития аварий, связанные с возможным разрушением высоконагруженных агрегатов и узлов (высокотемпературные газопроводы, сопло, газогенератор).

Четвертая глава посвящена планированию отработки сложных технических систем с прогнозированием параметров экспериментальной отработки и оптимизацией объемов испытаний на различных этапах отработки. Разработаны расчетные модели и алгоритмы для прогнозирования динамики изменения показателей надежности в процессе проведения этапов экспериментальной отработки. Приведены исследования по планированию комплексной отработки сложных технических систем, при

этом показано, что уровни надежности и объемы испытаний СТС существенно зависят от числа измеряемых параметров и уровней избыточности анализируемых систем, т.е., при ограниченных объемах испытаний требуется обеспечить высокие уровни коэффициента временного запаса по безотказной работе устройства.

В материалах раскрыто личное участие диссертанта в полученных результатах, они достаточно убедительны. Можно отметить высокую содержательность представленных исследований, соответствие их отраслевым стандартам и использование современного и аттестованного испытательного и измерительного оборудования, что повысило достоверность полученных результатов и обеспечило хорошую сходимость расчетных и экспериментальных данных.

В целом представленные материалы полностью раскрывают тему исследований, подчеркивают непосредственное участие в них автора, указывают на новизну и практическую значимость полученных результатов.

Основные результаты и положения диссертации докладывались на международных и Всероссийских конференциях, отражены в 7 рецензируемых изданиях, что соответствует требованиям ВАК. Автореферат диссертации достаточно полно отражает содержание работы.

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку и не снижают высокого уровня представленной диссертационной работы.

Диссертационная работа «Разработка технологии испытаний криогенных ракетных двигателей с имитацией воздействующих факторов» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой представлено решение важной технической задачи для ракетно-космической отрасли и отвечает требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Галеев Антон Валерьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата

технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Официальный оппонент Исполняющий обязанности заместителя генерального директора, начальник отделения Государственного научного центра Российской Федерации Федерального государственного унитарного предприятия «Исследовательский центр им. М.В. Келдыша», кандидат физико-математических наук, доцент



С.В. Мосолов

Дата 10.08.2018

Почтовый адрес: ул. Онежская, д. 8, Москва, Россия, 125438

Контактный телефон: (8-495) 456-64-85

E-mail: mosolov@list.ru

Подпись официального оппонента Мосолова С.В. заверяю:

Исполняющая обязанности Ученого секретаря ГИЦ РФ ФГУП
«Исследовательский центр им. М.В. Келдыша»



Н.А. Алексеева