

Рисунок 8 - Примеры результатов тестирования спектрометра

Проведенные совместные лабораторные испытания экспериментального образца комплекса средств тестирования и блоков многослойной

УДК 621.317.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗГАРА ТЕПЛОАПРЯЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

Гришин С.А.<sup>1</sup>, Бунчук А.А.<sup>1</sup>, Климентовский В.В.<sup>1</sup>, Буй А.Н.<sup>1</sup>, Ягодников Д.А.<sup>2</sup>, Лапицкий В.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Реактивный двигатель представляет собой сложный технический объект, о состоянии которого можно судить по результатам измерения большого количества различных параметров. Традиционно применяемые контактные средства и способы не всегда могут обеспечить необходимое быстродействие и достоверность контроля, не позволяют проводить раннюю диагностику процессов разгара внутри газового тракта, контроль динамики и оптимальных режимов процессов горения. Поскольку при работе силовые агрегаты становятся источниками различных физических полей, характеристики которых могут нести информацию о состоянии и режимах работы оборудования, то исследование этих характеристик позволяет получать дополнительную информацию для построения систем диагностики состояния и аварийной защиты. Для решения таких задач могут найти применение современные электромагнитные методы и средства контроля, с помощью которых можно определять электрофизические характеристики ионизированного газового потока путем регистрации

сцинтилляционной детекторной системы показали высокую эффективность применения КСТ. Разработанный комплекс средств тестирования позволяет автоматизировать процесс наземных испытаний и контроля блоков бортового сцинтилляционного спектрометра, упрощает разработку и отладку алгоритмического и программного обеспечения, сокращает время и трудоемкость калибровки детекторной системы. Использование комплекса позволяет существенно сократить трудоемкость и повысить качество выполнения процедур контроля основных параметров испытываемой аппаратуры.

1. Создание и применение контрольно-испытательной аппаратуры для проведения экспериментальных исследований и отработки методов калибровки космофизических спектрометров / С.А. Гришин [и др.] // Сб. науч. тр. V Конгресса физиков Беларуси (27–30 октября 2015 г.). – Минск: Изд-во «Ковчег», 2015. – С. 239–240.
2. Аппаратно-программные средства для наземной отработки бортовых спектрометров заряженных частиц / А.Г. Батищев [и др.] // Ядерная физика и инжиниринг. – 2014. – Т. 5. – №3. – С. 247–256.

E-mail: grsamail@mail.ru

полей вблизи от двигателя [1, 2]. Наиболее перспективным представляется использование мультисенсорных систем, основанных на применении электромагнитных, оптических, тепловых и иных методов и средств контроля. В ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника» разработан и изготовлен экспериментальный образец программно-аппаратного комплекса (ПАК), предназначенный для регистрации параметров процессов разгара теплонапряженных элементов конструкции жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) с использованием бесконтактных электромагнитных, оптических, тепловых, акустических, вибрационных и других методов и средств контроля. Комплекс позволяет исследовать процессы возникновения электромагнитных полей высокотемпературных газовых потоков; влияние режимных параметров работы двигателя на электромагнитные характеристики таких потоков; амплитудно-частотные характеристики электромагнитных полей и оптического излучения этих потоков; процессы попадания частиц материалов и конденсированной фазы в газовый

тракт ЖРД; процессы разрушения проточной части ЖРД. В состав ПАК входят, показанные на рисунках 1-3, блок регистрации электрических и магнитных полей, который позволяет регистрировать величины компонент вектора напряженности переменного магнитного поля и напряженность переменного электрического поля; блок регистрации спектров оптического излучения (например излучения факела ЖРД); блок регистрации температур, определяющий параметры теплового поля; а также блок регистрации видеоданных процесса проведения испытаний; блок регистрации вибраций и звуковых колебаний; блок электроники и рабочее место оператора.



Рисунок 1 – Блок регистрации электрических и магнитных полей



Рисунок 2 – Блок регистрации спектров оптического излучения



Рисунок 3 – Блок регистрации температур

Регистрация информативных параметров с помощью ПАК при проведении огневых испытаний модельных ЖРД с охлаждаемым соплом и с разгорающимся вкладышем критического сечения проводилась на стенде филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана. Измерялись переменные магнитные и электрические поля и регистрировались вибрации, спектры оптического излучения факела двигателей. На рисунке 4 показан пример расположения датчиков на ЖРД.

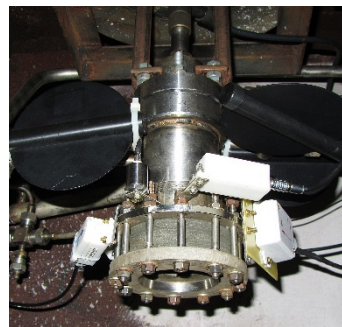


Рисунок 4 – Расположение на ЖРД датчиков магнитного и электрического полей и вибраций

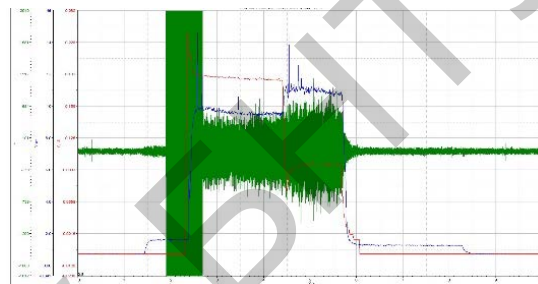


Рисунок 5 – Профиль изменения давления в КС ЖРД, расхода горючего и осциллограмма сигнала с преобразователя переменного магнитного поля

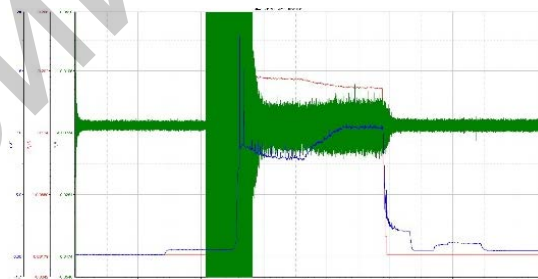


Рисунок 6 – Профиль изменения давления в КС ЖРД, расхода горючего и осциллограмма сигнала с преобразователя переменного электрического поля

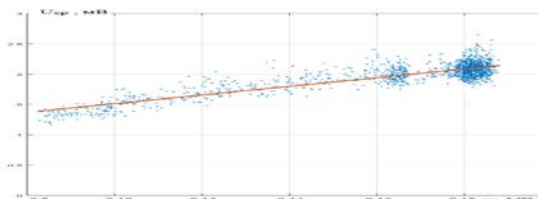


Рисунок 7 – Зависимость величины сигнала преобразователя переменного магнитного поля от давления в КС

Сопоставление информации, полученной при помощи штатных измерительных средств испытательного стенда и при помощи разработанного ПАК позволило выявить взаимосвязь между параметрами работы модельных ЖРД и характеристиками регистрируемых вблизи от них электрического и магнитного полей. Например, на рисунках 5 и 6 приведены осциллограммы сигналов, зарегистрированных при помощи преобразователей переменного магнитного и

электрического полей, соответственно, синхронизированные с профилем изменения давления в камере сгорания (КС) ЖРД и расхода горючего. На них можно определить характерные фазы работы ЖРД: открытие клапана окислителя, включение и выключение системы воспламенения, повышение давления в камере сгорания, закрытие клапана подачи горючего. Максимальный сигнал в обоих случаях регистрируется при работе электроискровой системы воспламенения. Показанная на рисунке 7 зависимость величины сигнала преобразователя переменного магнитного поля от давления в КС оказывается близкой к линейной и может быть использована в качестве диагностического признака при разработке быстродействующей системы аварийной защиты ЖРД. Регистрация спектрального состава излучения факела ЖРД до начала и во время разгара вкладыша критического сечения позволила зафиксировать появление спектральных линий, связанных с излучением выносимых из газового тракта двигателя материалов.

Проведенные исследования подтверждают перспективность разработки бесконтактных методов диагностики, основанных на электрофизических, электромагнитных и иных явлениях, параметры которых существенно зависят от характеристик рабочих процессов и состояния проточной части ЖРД.

1. Гришин, С.А. Результаты регистрации параметров переменных магнитных полей модельного ЖРД с использованием преобразователя индукционного типа / Гришин С.А., Климентовский В.В., Ягодников Д.А. // Электроника-инфо. – 2015. – №12. – С. 51–54.
2. Корреляционный и спектральный анализы электрофизических характеристик продуктов сгорания углеводородного топлива модельного жидкостного ракетного двигателя / Ягодников Д.А. [и др.] // Электронное научно-техническое издание «Инженерный журнал: наука и инновации». - №1(61). – 2017. – С. 1–17.

Email: grs@mail@mail.ru