

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА РАДИАЦИОННОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВНУТРИКАМЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

В.Г.Ефимов, А.А.Назаров, М.А.Федоров, А.В.Финажин

Представлены особенности реализации и экспериментальные результаты использования радиационной визуализации при испытаниях крупногабаритных энергетических установок. Показана эффективность применения метода при определении причины нерасчетной задержки инициирования поверхности горения и величины раскрытия заманжетного зазора

ВВЕДЕНИЕ

Крупногабаритные энергетические установки (ЭУ), являясь технически сложными и дорогостоящими объектами, требуют высокого качества проектных работ, большого объема и точности измерений при испытаниях. В практике испытаний давно проводятся измерения таких параметров как давление, тяга, температура конструктивных элементов, перемещения внешней поверхности корпуса. Сложнее обстоит дело с исследованиями и контролем функционирования в процессе работы отдельных конструктивных элементов, расположенных внутри ЭУ. Радиационная визуализация позволяет существенно восполнить этот пробел в измерениях, т.к. является одним из наиболее информативных методов исследования внутрикамерных процессов. Метод позволяет исследовать перемещение элементов конструкции и фронта горящего топливного элемента (ТЭ) в реальном времени в области, ограниченной площадью радиационно-оптического преобразователя. Внедрение визуализации в практику ОКР вызвано совпадением технической необходимости и технической возможности «заглянуть» внутрь крупногабаритного ЭУ в процессе его работы.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ТЭ НА УЧАСТКЕ ИНИЦИИРОВАНИЯ

Техническая необходимость применения метода связана с разработкой крупногабаритного ТЭ с частично открытыми (горящими) торцами, обеспечивающего уникально высокий коэффициент заполнения [1]. На начальной стадии испытаний подобной конструкции выяснилось, что на участке инициирования наблюдаются большие разбросы внутрибаллистических параметров (ВБП). При этом на основном участке работы ЭУ в интервале времени от 1 до 4 секунд наблюдались нерасчетные подъемы давления величиной от

0,2...0,3 до 1,2 МПа. Расчетно-аналитические методы не позволяли (без увеличения числа испытаний) однозначно выявить место, где происходит задержка инициирования части поверхности и причину этой задержки.

Техническая возможность использования для решения указанной выше задачи метода радиационной визуализации связана с появлением базовых элементов, характеристики которых позволяли получить результаты измерений высокого качества. К числу таких базовых элементов относятся мозаичный радиационно-оптический преобразователь (РОП) размером 0,8·0,8·0,03 м с удельной яркостью свечения 0,1 кд·мин/м²·Р. на основе сцинтиллятора CsI(Tl).

Учитывая размеры изображения, яркость свечения РОП и необходимость получения информации по скоротечному участку инициирования реализована двухканальная телевизионная регистрация изображения. Стандартная телевизионная система обеспечивала регистрацию с частотой 50 кадр/с, вторая, доработанная, с частотой 100 кадр/с.

Для исследования была выбрана зона ТЭ (открытая часть торца), где, по предположениям, могла находиться поверхность, задержки инициирования которой приводили к большим разбросам ВБП.

В процессе исследования было точно установлено место, где произошла задержка инициирования части поверхности ТЭ и установлена причина этой задержки. На рис. 1 представлены кадры, наглядно иллюстрирующие, что несмотря на раскрытие зазора между днищем ЭУ и открытой частью поверхности торца ТЭ, перемещение поверхности ТЭ за счет горения отсутствует.

На рис. 2 приведены характерные опытные зависимости давления от времени на участке инициирования ТЭ, реализованные до проведения доработки (кр.1-3). На этом же рисунке приведены огибающие зависимости

по результатам 7 испытаний, проведенным после доработки (сплошные линии).

Из рисунка видно, что проведенная доработка обеспечила высокий уровень воспроизводимости ВБП участка инициирования ТЭ.

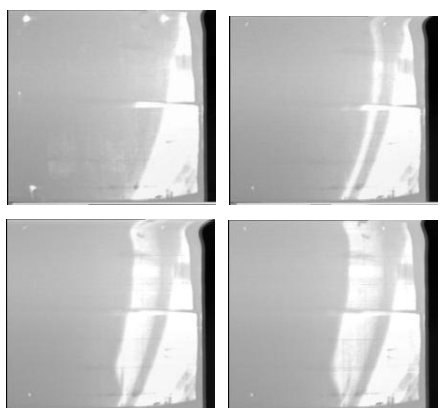


Рис. 1. Развитие поверхности горения

Начало горения фиксируется только в интервале времени от 2 до 4 с. Этот результат подтверждался нерасчетным увеличением давления примерно на 1...1,2 МПа в этот же период времени. По результатам анализа полученной при визуализации информации была проведена доработка конструктивных элементов корпуса ЭУ, ответственных за обеспечение гарантированного инициирования поверхности торца ТЭ.

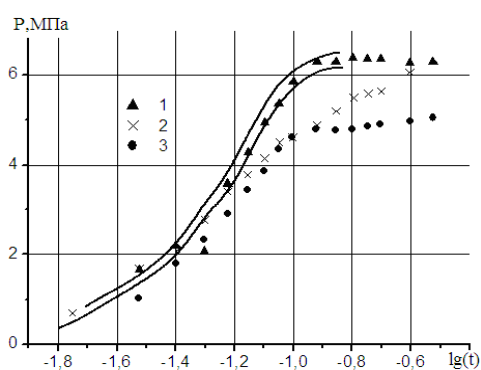


Рис. 2. Зависимости давления от времени: 1 – полное инициирование поверхности; 2 - замедленное инициирование части поверхности; 3 – отсутствие инициирования большей части поверхности с последующим подключением в интервале 2...4 с

Визуализация многократно использовалась при различных испытаниях крупногабаритных ЭУ. Объектами контроля при этом являлись величина и характер раскрытия заманжетных зазоров, функционирование зам-

ков бронирующих и технологических манжет. Получаемая при радиационной визуализации информация позволяет уточнять газодинамические нагрузки на ТЭ (как стационарные, так и нестационарные), интенсивность теплообмена в заманжетных зазорах, параметры напряженно-деформированного состояния ТЭ.

Регистрация быстропротекающих процессов на участке инициирования, основном участке работы ЭУ и при проведении динамических испытаний обеспечивается, помимо применения источника высокой интенсивности и малоинерционных радиационно-оптических преобразователей, решением комплекса методических и технических вопросов, направленных на повышение качества регистрации изображения и точности его обработки.

1 С учетом прогнозируемой скорости перемещения элементов ЭУ на участках нестационарных процессов (до 1 м/с на участке инициирования ТЭ и при динамических испытаниях) для исключения смаза изображения система 100 кадровой ТВ-регистрации переведена в режим импульсного экспонирования.

2 Получаемые при радиационной визуализации изображения характеризуются низкой яркостью и контрастом, высоким уровнем шумов за счет воздействия рассеянного излучения. Однократность и быстротечность процессов исключает возможность повышения качества исходного изображения за счет процедур накопления и усреднения. В этих условиях определение размеров по координатам контуров изображения с помощью традиционных алгоритмов либо невозможно, либо осуществляется со значительной погрешностью. Данная проблема решается с использованием программного комплекса ввода координат с кадра изображения, которое предварительно обработано дискретным вейвлет-преобразованием [2].

3 Вопросы, связанные с наличием ракурсных искажений изображения за счет расходящегося пучка излучения решены юстировкой системы "излучатель-ЭУ-РОП" и соответствующими программами восстановления профиля корпуса ЭУ и ТЭ по координатам контуров в изображении.

Эффективность визуализации иллюстрируется по результатам определения величины раскрытия заманжетного зазора при динамическом испытании ЭУ. Визуализация проводилась в районе III плоскости стабили-

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА РАДИАЦИОННОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВНУТРИКАМЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

зации корпуса. Результаты измерений зазора на одном из радиусов ТЭ показаны на рис.3.

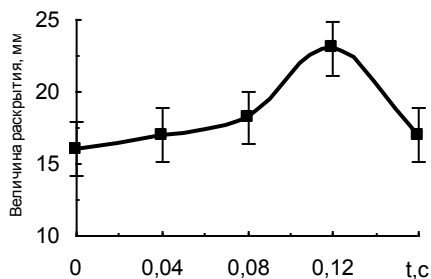


Рис. 3. Динамика раскрытия зазора

Сравнение с данными радиоскопии при $t = 0$ показали совпадение результатов в пределах 40%.

Приведенные результаты достаточно наглядно иллюстрируют динамику изменения зазора и, в частности, момент наступления максимума раскрытия.

Следует отметить, что в настоящее время появились и другие методы регистрации перемещений конструктивных элементов, расположенных внутри ЭУ. Например, для этой цели могут использоваться СВЧ-датчики. Однако СВЧ-датчики и другие дискретные средства измерений позволяют получить только пространственно-временные данные по перемещениям отдельных конструктивных элементов, в то время как визуализация служит для измерений «поля значений» параметра, что имеет ряд преимуществ [3]. В частности позволяет «увидеть» разрыв отдельных конструктивных элементов ЭУ (например, замков технологических или бронирующих манжет), отслоение бронирующих манжет от поверхности ТЭ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Метод радиационной визуализации имеет ряд преимуществ в сравнении с радиографией (позволяет регистрировать динамику развития процессов) и дискретными средствами измерений (позволяет получить «поля значений» измеряемых параметров).

2 Использование метода позволило решить ряд технически сложных задач, в частности, обеспечить высокий уровень воспроизводимости ВБП участка инициирования ТЭ с частично открытым (горящим) торцом, исследовать динамику раскрытия заманжетных зазоров как на нестационарных участках работы ЭУ, так и при динамических испытаниях. Получаемая при радиационной визуализации информация позволяет также проконтролировать функционирование отдельных конструктивных элементов ЭУ, уточнять ряд газодинамических и тепловых параметров, параметров НДС топливных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жарков А.С., Марьяш В.И., Сакович Г.В., Шандаков В.А., Яскин А.В. Опыт создания составов топлива и зарядов РДТТ для БРПЛ // Ракетно-космическая техника. - Сер.14.- Вып. 1(44).- 2000, - С.89-97.
2. Ефимов В.Г. Вейвлет-анализ результатов визуализации крупногабаритных изделий // Доклады III Всероссийской научно-практической конференции «Проектирование, отработка и испытания твердотопливных энергетических установок».- Бийск, 25-27 сентября 2003 г. – С. 103-104.
3. Жарков А.С., Потапов М.Г., Леонов Г.В., Демидов Д.А. Стендовые испытания энергетических установок на твердом топливе // Учебное пособие. Изд-во Алт. гос. ун-та, 2001. – 281 с.