

ДОРЕАКТОРНЫЙ КОНТРОЛЬ ОПЫТНЫХ ТВЭЛОВ — СОСТАВЛЯЮЩАЯ ЧАСТЬ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНЫХ МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИХ ПОСЛЕРАДИАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В.Б. Иванов

Рассмотрены вопросы комплексной автоматизации исследований, обеспечивающих разработку новых типов тепловыделяющих элементов ядерных реакторов. Обсуждены проблемы, возникающие при создании системы технических и программных средств, предназначенных для дореакторного контроля опытных твэлов.

Создание новых тепловыделяющих элементов (твэлов), отличающихся от ранее используемых одним или несколькими признаками, например, материалом, размерами или способом обработки оболочки, составом топлива, его распределением по твэлу и т.д., включает в качестве обязательного этапа массовые реакторные испытания, заключающиеся в облучении по крайней мере нескольких тепловыделяющих сборок (ТВС) с последующими послереакторными исследованиями. В большинстве случаев полный цикл послереакторных исследований позволяет получить информацию о пределах "живучести" твэлов, предельно допустимом выгорании и особенностях эксплуатации активных зон с такими твэлами. Однако точность подобных прогнозов обычно недостаточно высока, что приводит на начальной стадии эксплуатации к необходимости более ранних по сравнению с проектными перегрузок зоны из-за возникновения разгерметизаций или к недоиспользованию ресурсов твэлов, которые могли бы достигать большего выгорания. И то и другое влечет за собой ощутимые экономические потери.

Повысить точность оценки пределов живучести твэлов можно различными способами: увеличением массовости (количества участвующих в цикле твэлов) испытаний, что позволяет получить более высокую статистическую точность результатов; учетом и выявлением корреляционных зависимостей между первоначальными характеристиками твэлов, особенностями режимов облучения и результатами послереакторных материаловедческих исследований и, наконец, созданием точной физико-математической модели поведения твэла в активной зоне реактора. Увеличение массовости испытаний неизбежно ведет к удорожанию исследований из-за чрезмерной загрузки защитных камер, повышения транспортных расходов и т.д. Построение точных моделей поведения твэла под действием облучения — задача сложная, требующая знания многих констант, изменяющихся от реактора к реактору и во времени.

В то же время корреляционная обработка информации от всего цикла "жизни" твэла может помочь в решении проблемы повышения точности при оценке живучести твэлов. Кроме того, в этом случае представляется возможным исходя из результатов послереакторных исследований обосновать требования к номенклатуре

методик контроля, точности и форме представления информации, получаемой в процессе дореакторного контроля твэлов. Обязательным условием использования информации, получаемой при послереакторных исследованиях твэлов, является проведение дореакторного контроля и послереакторных испытаний с применением одинаковых методик измерений и однотипного оборудования. В противном случае корреляционная обработка информации будет затруднена, а иногда и невозможна.

Часто дореакторный контроль твэлов ставит целью определение качества составных частей или всего изделия методом сравнения результатов измерений с отбраковочными пределами (допусками), определяемыми соответствующими техническими условиями, что диктуется требованиями упрощения операций контроля, а следовательно, их удешевления и достижения необходимой производительности. Необходимость совмещения получаемой в процессе контроля информации требует другого подхода, а именно: паспортизации контрольных операций, т.е. фиксации истинных значений параметров, даже если они находятся в пределах поля допусков; выявления всех единичных аномалий и отклонений среднестатистических характеристик по отношению к параметрам конкретного изделия. Устранение этого противоречия возможно только при использовании высокопроизводительной измерительно-обрабатывающей техники, имеющей в своем составе ЭВМ с быстродействующими запоминающими устройствами большого объема. В настоящее время эти условия выполнимы только при контроле опытных твэлов, изготавливаемых в небольшом количестве.

Подбор однотипных методик контроля также сопряжен с определенными трудностями, вызванными тем, что, во-первых, все послереакторные исследования связаны с измерением параметров изделий, обладающих высокой радиоактивностью, что накладывает ограничения на характеристики детекторов, и выполняются только дистанционно, а во-вторых, в конструктивных и топливных материалах происходят физико-химические и структурные изменения, которые в некоторых случаях требуют принципиально новых по сравнению с дореакторными методик исследований. Это касается, в частности, вихревой или ультразвуковой дефектоскопии оболочки, измерения ее толщины, иссле-

дования состава и распределения топливной композиции по твэлу, электро- и теплопроводности и т.д. Совместимости информации можно добиться при условии соответствующей метрологической аттестации используемых методик и средств измерения, что в свою очередь требует создания специальных стандартных образцов и изделий и представляет самостоятельную, достаточно сложную задачу. Кроме того, часто возникает необходимость стандартизировать определенные узлы механического оборудования, например, систем перемещения, датчиков, устройств считывания координат и других, так как несовпадение базовых расстояний, скорости и диапазона перемещения затрудняет комплексную обработку информации.

НИИАР проводит работу по созданию автоматизированной системы реакторных материаловедческих исследований с учетом рассмотренных выше принципов, которая позволит осуществлять комплексную обработку информации, получаемой на всех этапах исследований с выдачей соответствующих рекомендаций [1].

Особое внимание в этой работе уделяется подбору методик и их метрологическому обеспечению. Измерение внешних геометрических размеров твэлов и ТВС, определение размеров топливного столба и его состояния, дефектоскопия оболочки могут быть осуществлены на всех этапах исследований одинаковыми методами с помощью однотипного оборудования. Пока остаются нерешенными проблемы подбора методик для измерения зазора между топливом и оболочкой, толщины оболочки, а также неразрушающих измерений давления газа-наполнителя. В настоящее время изучается возможность применения для этих целей соответствующих термографических, вихретоковых методов, а также методов, основанных на измерении времени теплопередачи после импульсного возбуждения.

В связи с этим особое значение приобретает метрологическое обеспечение соответствующих методик и аппаратуры. Относительно просто решаются вопросы комплексной метрологии измерения внешних размеров твэлов и ТВС, несколько сложнее — измерения размеров топливного столба и его плотности, так как в процессе послереакторных исследований приходится учитывать влияние фона ионизирующего излучения, возможность миграции части осколочных элементов за границы топливного столба и другие факторы. Не решены также вопросы метрологического обеспечения послереакторного дефектоскопического контроля оболочки, когда материал оболочки претерпевает структурные и фазовые превращения; мала по сравнению с дореакторными данными точность определения профиля распределения топлива в выгоревших твэлах.

Рассмотрим основные принципы информативного построения паспортов по данным дореакторного контроля твэлов. Получение в процессе измерений дифферен-

циальной информации о распределении параметров контроля по длине твэла прежде всего приводит к такому виду паспорта, в котором отмечаются параметры контроля, соответствующие каждой координате [2]. На каждой странице, отнесенной к одному кадру экрана дисплея, фиксируется отдельный параметр, например внешний диаметр, толщина оболочки, распределение топлива и т.д. Таким образом, представляется возможным оценить количество аномалий, их координаты и на основании совокупности полученной информации скорректировать программу облучения. Опыт построения паспортов по данным дореакторного контроля показал, что на этапе формирования ТВС количество информации излишне велико и ее анализ в таком виде сопряжен с определенными трудностями. В то же время при обработке данных послереакторных исследований, когда подробно рассматриваются отдельные твэлы, такая информация необходима. Поэтому пришлось остановиться на табличной форме представления информации, которая позволяет собрать массив данных о среднем значении того или иного параметра твэла, экстремальных аномалиях с указанием их координат.

В процессе контроля используется также представление среднестатистических данных по ТВС, полученных на основе информации о твэлах, в виде гистограмм, что дает возможность оценить качество партии (группы) твэлов исходя из возможных отклонений параметров, количества твэлов, имеющих параметры, близкие к границам допуска, и т.д. В случае наличия предельных отклонений внешних размеров, плотности, количества топлива можно автоматически производить контрольные теплогидравлические и теплофизические расчеты, вводя в них реальные значения межтвэльных сечений, реальное количество топливных компонентов и т.д. и при необходимости изменять порядок сборки твэлов и ТВС. Поскольку в процессе анализа паспортной информации приходится участвовать человеку, форма ее представления имеет немаловажное значение.

Полученная в процессе дореакторного контроля информация, составляющая "входной" паспорт твэлов и ТВС, должна храниться в течение всего времени облучения (несколько лет), периода расхолаживания (от нескольких месяцев до года) и всего цикла послереакторных исследований. Такой относительно длительный период "консервации" требует решения таких задач, как оптимальная упаковка данных в архивах или базах данных, своевременная проверка и дублирование информации, меры по защите от несанкционированного использования и искажения. В данном случае под оптимальностью понимается такое формирование массива данных (потвэльно и для каждой ТВС), которое позволит осуществлять быстрый поиск требуемой информации.

Следует иметь в виду, что применение стандартных средств программного обеспечения, имеющегося на достаточно мощных ЭВМ, не всегда приемлемо, так

как информации об отдельных параметрах контроля получают после измерения на различных установках в разное время и формирование паспорта возможно только после комплексной обработки всего массива информации, в который, как правило, входят и данные, полученные в процессе измерения стандартных образцов. Иногда первичная обработка переносится на более поздние сроки из-за высокой скорости поступления экспериментальной информации. В этих условиях возникает необходимость организации оперативных архивов в качестве промежуточных уровней хранения данных и приведения их к виду, пригодному для использования информации. К тому же они разгружают общий архив системы от потока разнородной информации. Поскольку стандартные системы управления файлами на существующих мини-ЭВМ не позволяют оптимально решить эту задачу, представляется целесообразным разработать специальное программное обеспечение. В связи с этим можно рекомендовать представление файла в виде двух частей: справочника и собственно данных, соответствующих одному атрибуту. В справочнике указываются условия и дата проведения измерений, номера датчиков, методика измерения, длина зоны данных и другие сведения. Имя файла формируется следующим образом: ЧС + номер твэла, при послереакторных исследованиях к нему добавляется номер образца и другие дополнительные коды, учитывающие информацию, связанную с изменением ориентации, масштаба измерения, чувствительности, точности и других параметров контроля.

В фактографическую информационно-поисковую систему реакторного материаловедения (ФИИС ИРМА) попадает лишь оцененная информация, являющаяся результатом обработки многих экспериментальных массивов данных, отбор и оценка которой представляет собой самостоятельную, достаточно сложную задачу.

При эксплуатации архивов и ФИИС возникла необходимость представлять часть контролируемых параметров в графическом виде, что объясняется, во-первых, возможностью более оперативного получения интегральной оценки, а во-вторых тем, что простейшие корреляционные зависимости удобнее воспринимаются, если они представлены в виде графиков. При проведении контроля часто возникает необходимость выводить данные об измерениях в нескольких азимутах, показывать состояние внешней и внутренней поверхностей оболочки, приводить распределение интенсивности излучения 3 - 5 или более радионуклидов. В таком случае на видеотерминале или графопостроителе необходимо иметь графическое изображение твэла в плане или изометрии, на котором могли бы условно отображаться те или иные аномалии, обнаруженные в дифференциальных распределениях. При интерпретации результатов немаловажное значение имеет возможность получения на экране видеотерминала изображения сечения

твэла в любом заданном месте с масштабным представлением размеров и условным обозначением отдельных параметров.

Комплекс технических и программных средств, используемых в процессе дореакторного контроля и послереакторных исследований твэлов, накладывает отпечаток и на структуру применяемых систем, которая должна быть разработана таким образом, чтобы можно было обеспечить поэтапное наращивание мощности системы и постоянную модернизацию отдельных элементов; унификацию оборудования, методик измерения и обработки информации для однотипных измерений на ранних этапах исследований; обмен информацией между отдельными частями системы и комплексную обработку больших массивов данных; надежность техники и программного обеспечения; удобство эксплуатации.

В заключение попытаемся сделать выводы, которые, на наш взгляд, могут оказаться полезными при решении проблем, связанных с автоматизацией средств контроля при производстве штатных твэлов энергетических реакторов. Уточнение номенклатуры параметров технологического контроля твэлов в промышленном производстве, оптимизация и обоснование точности такого контроля и допусков на отбраковку не могут производиться без рассмотрения результатов послереакторных исследований этих же твэлов, оценки предела их живучести на данном уровне выгорания и однозначного определения причин выхода из строя. В связи с этим как при создании локальных постов неразрушающего контроля, так и при системном рассмотрении всего комплекса средств оценки качества твэлов необходимо предусмотреть возможность получения информации, совместимой с данными послереакторных исследований. Вопросы метрологического обеспечения методик и аппаратуры, задействованных в постах контроля, должны решаться на основе принципов и средств, применяемых и в послереакторных исследованиях.

На существующем этапе создания системы контроля качества твэлов важно разработать процедуру контроля и подобрать соответствующие технические и программные средства для хранения получаемой информации. Необходимо определить степень "сжатия" информации, подлежащей хранению, длительность и способ хранения, принципы допуска и обращения к такой информации, так как в условиях высокого уровня автоматизации дублирование указанной информации в виде традиционных (бумажных) форм представляется нецелесообразным и неэффективным.

Список литературы

1. Структура автоматизированной системы на базе ЭВМ М-6000 для контроля качества твэлов/Б.Г. Басова, В.Б. Иванов, В.Г. Дворецкий и др. — Вопросы

атомной науки и техники. Сер. Радиационная техника, 1984, вып. 1 (27), с. 103 – 106.

2. Дореакторный контроль опытных твэлов/Б.Г. Басо-

ва, Е.Ф. Давыдов, В.Г. Дворецкий и др.: Препринт НИИАР-47(406). Димитровград, 1979.