

$K_{эф}$, чем в системах того же состава без полостей [2]. Это различие достигает максимума при $l \approx 10$ см и затем начинает уменьшаться, что связано, по-видимому, с уменьшением доли нейтронов, достигающих другой половины системы из-за вылета нейтронов через полость наружу (табл. 2).

4. Импульсный α -метод определения реактивности может быть успешно использован при изучении систем, имеющих весьма значительные полости.

Поступило в Редакцию 21.IV.78

УДК 621.039.5

Определение методом трековых детекторов степени загрязнения ядерным топливом натриевого теплоносителя первого контура реактора

КОРОЛЕВА В. П., ОТСТАВНОВ П. С., ШЕРЕШКОВ В. С.

Для определения содержания примеси ядерного топлива в натриевом теплоносителе и загрязненности оборудования первого контура быстрых реакторов в настоящее время широко применяются химические и радиохимические методы [1, 2]. В основу этих методов положен отбор пробы теплоносителя из контура, ее химическая обработка для выделения и концентрирования соответствующих элементов и последующий радиометрический или колориметрический анализ на содержание делящихся элементов. Основной недостаток этих методов — сложность выделения из пробы делящихся элементов, которые могут находиться в различных химических соединениях с теплоносителем, продуктами деления и с имеющимися в теплоносителе примесями.

Применяемый для определения проникновения топлива в теплоноситель первого контура из поврежденных твэлов метод взвешивания твэлов до и после облучения [3] характеризует не столько содержание топлива в теплоносителе, сколько суммарное изменение массы твэлов за счет потерь ядерного топлива, утечек газообразных продуктов деления и проникновения в твэл теплоносителя.

В настоящей работе исследовалась возможность применения трековых детекторов из нитроцеллюлозы для оценок степени α -загрязненности поверхностной пленки теплоносителя на оборудовании первого контура реактора БР-10 [4] ядерным топливом.

Твердые трековые детекторы (стекла, слюды, полимерные пленки, нитроцеллюлоза и т. п.) обладают рядом существенных достоинств для широкого использования их в реакторных экспериментах [5]: достаточно высокой эффективностью регистрации заряженных частиц, нечувствительностью к γ - и β -излучению, простым и надежным способом обработки, отсутствием радиоэлектронной аппаратуры, небольшими размерами детекторов, неограниченной памятью и др. Из различных трековых детекторов для регистрации α -частиц топлива была выбрана нитроцеллюлоза, применение которой более предпочтительно по сравнению с другими видами трековых детекторов, например со стеклами. В этом случае используется естественная α -активность делящихся элементов, в то время как для стекол, регистрирующих осколки деления, необходимо облучение в нейтронном потоке. Кроме того, обладая достаточной

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nelkin M. In: Proc. Symp. «Pulsed Neutron Research». Karlsruhe, 10—14 May 1965, v. II, p. 85.
2. Стумбур Э. А. В кн.: Теоретические и экспериментальные проблемы нестационарного переноса нейтронов. М., Атомиздат, 1972, с. 80.
3. Clark H. «Nucl. Sci and Engng», 1963, v. 15, N 1, p. 20.
4. Николайшвили Ш. С., Поливанский В. И. В кн.: Вопросы физики защиты реакторов. Вып. 5. М., Атомиздат, 1972, с. 64.

гибкостью, нитроцеллюлоза может принимать любую форму изогнутых поверхностей, поэтому ее можно применять в труднодоступных для других детекторов местах.

Определялась α -активность внутренней поверхности байпасного трубопровода с остаточным пленочным слоем натрия, сдренированного при температуре $\sim 200^\circ\text{C}$, торцового среза трубопровода и отмытой от натрия поверхности технологического прибора, находящегося в радиоактивном контуре. В качестве детектора α -частиц урана и плутония использовали нитроцеллюлозу (основа рентгеновской пленки марки РФ-5) толщиной 0,12 мм. Для большей надежности результатов на каждую исследуемую поверхность в плотном контакте помещали по три образца нитроцеллюлозы в разных точках. После экспонирования образцы нитроцеллюлозы протравливали в водном растворе щелочи NaOH 30%-ной концентрации (по весу) при температуре 60°C в течение 30 мин. Затем детекторы из нитроцеллюлозы визуальным просматривали на микроскопе ПМТ-3 ($\times 360$). Треки от α -частиц топлива наблюдались на образцах нитроцеллюлозы, бывшей в контакте с внутренней и торцовой поверхностями трубопровода, покрытыми пленкой натрия. На поверхности прибора, отмытого от остаточного слоя натрия, треки от α -частиц топлива не обнаружены. Для количественного определения плотности треков на внутренней поверхности трубопровода было посчитано 120 микрополей (диаметр микрополя 0,46 мм) примерно по 140 треков на каждом. С учетом фоновых микрополей подсчитано всего $\sim 17\,000$ треков. Получено, что средняя плотность треков за вычетом фона составляет 630 треков/мм².

Число фоновых треков определяли с помощью контрольных образцов нитроцеллюлозы, также установленных на исследуемых поверхностях, но защищенных от воздействия α -частиц. Химическую обработку контрольных образцов проводили вместе с рабочими образцами. В описываемом эксперименте фон составлял $\sim 23\%$. Разброс плотностей треков для трех образцов нитроцеллюлозы, который характеризует также и неравномерность распределения топлива, равен $\sim 15\text{—}20\%$.

На образцах нитроцеллюлозы, экспонированных на торцовом срезе трубопровода, микрополя с треками α -частиц располагались по линии четко выраженной

окружности с диаметром, соответствующим внутренней поверхности трубопровода. Эти микрополя просматривались только качественно. Ранее определенная абсолютная эффективность регистрации нитроцеллюлозы для α -частиц урана и плутония с учетом различия в них энергии для данного режима травления равна $25 \pm 5\%$. Для этой эффективности регистрации α -активность внутренней поверхности трубопровода составляет $(2,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-5}$ мкКи/см². Следует добавить, что измеренная поверхностная загрязненность остаточной пленки теплоносителя на оборудовании еще не характеризует загрязненность всего контура и теплоносителя в целом. Для полной картины требуются дальнейшие исследования загрязнения по всему тракту контура и объему теплоносителя.

На основе проведенных работ можно сделать вывод о применимости методики трековых детекторов для определения α -загрязнения ядерным топливом оборудования и нагревного теплоносителя первого контура реактора. Возможность использования нитроцеллюлозы для подобных целей ограничивается практически

только соотношением между экспонированными треками и собственными фоновыми треками нитроцеллюлозы.

Поступило в Редакцию 24.VII.78

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марков В. К. и др. Уран. Методы его определения. М., Атомиздат, 1960.
2. Hart R. Distribution of Fission Product Contamination in the SRE. NAA-SR-6890. North American Aviation, 1961.
3. Thorley A., Findlay F., Hooper A. Fission and Corrosion Product Behaviour in Primary Circuit of LMFBR'S. Specialists meeting. Dimitrovgrad, USSR, 1975.
4. Аристархов Н. Н. и др. В кн.: Труды II симп. СЭВ «Состояние и перспективы работ по созданию АЭС с реакторами на быстрых нейтронах». Т. 1, Обнинск, изд. ФЭИ, 1975, с. 374.
5. Кузнецов В. А. и др. «Атомная энергия», 1972, т. 32, вып. 6, с. 481.

Новые книги

Аборина И. Н. Физические исследования реакторов ВВЭР. М., Атомиздат, 1978. 120 с. 1 р. 10 к.

Книга вышла в серии «Физика ядерных реакторов». Эксперименты, выполняемые на физических стендах для ВВЭР, имеют почти 25-летнюю историю. Результаты этих экспериментов позволили скорректировать методы расчета активных зон водо-водяных реакторов, разработать рекомендации по повышению надежности и безопасности эксплуатации действующих реакторов и предложения по созданию более мощных и экономичных реакторов. Основное внимание уделено экспериментам, которые предшествуют вводу реактора в эксплуатацию. При этом показана сложившаяся в процессе исследований схема и последовательность проведения экспериментов.

Книга состоит из введения, двух глав и заключения. Во введении кратко перечислены основные достоинства ВВЭР, рассматривается активная зона, ее конструкция и системы управления в пределах, необходимых для последующего описания техники экспериментов.

Первая глава посвящена исследованиям на подкритических и критических сборках, т. е. в основном экспериментам, обеспечивающим подтверждение концепции водо-водяных реакторов, проверку основных методических предположений, отработку расчетных методов исследования. В экспериментах определены материальные параметры различных решеток, спектры нейтронов, коэффициенты размножения и их составляющие (в приближении «формулы четырех сомножителей»). Изложены и проанализированы различные методы определения каждого параметра, техника проведения экспериментов и их методическая основа. Описаны исследования спектров нейтронов и методы измерения реактивности, включая исследования органов регулирования.

Во второй главе описаны эксперименты, выполняемые в период пуска реактора. Пусковые эксперименты

в значительной степени отличаются от экспериментов на физических стендах как по условиям проведения, так и по используемым методам и аппаратуре. Важно то, что на эти эксперименты отводится обычно крайне сжатый срок, что требует особой тщательности в его планировании и организации работ. В ходе пусковых экспериментов выявляется асимметрия свойств активной зоны, определяется запас реактивности и эффективность средств ее компенсации, измеряются температурные и некоторые другие коэффициенты реактивности.

В заключении автор намечает некоторые области экспериментальных исследований, которые желательно расширить. К ним относятся эксперименты по определению малоизученных эффектов в верхних областях энергии нейтронов, анизотропия диффузии нейтронов в неоднородных средах, определение эффективной доли запаздывающих нейтронов. Многочисленные эксперименты должны быть проведены в связи с переходом в ВВЭР на борное регулирование. Необходимо экспериментально проверить такой важный параметр реактора, как накопление плутония, требуют проверки методы внутрореакторного контроля, а также раннего обнаружения отклонений от нормального режима эксплуатации, включая статистические методы исследования. Все это говорит о том, что в изучении физики ВВЭР предстоит сделать еще очень много. И к одному из недостатков книги следует отнести то, что эти задачи лишь перечислены, но не рассмотрены в необходимой степени. Это сделало бы книгу гораздо более полной и полезной.

Трудно согласиться с автором, мотивирующим отсутствие в книге некоторых экспериментальных результатов для серийных ВВЭР: они были бы весьма полезны для тех, кому предназначена книга, — специалистам и студентам.

В целом книга безусловно интересна. Многие из изложенных в ней материалов применимы не только к водо-водяным реакторам, но и реакторам других типов.

ПУШКАРЕВ В. И.