

**О контроле прочности корпуса реакторов с водой под давлением
при продлении срока эксплуатации**

Цоглин Ю. Л., Карцовник В. И. НПО „KIW- Gesellschaft e. V“ Дрезден, Германия
y.tsoglin@gmail.com; ykartovnik@gmail.com

После аварии на АЭС Fukushima Daiichi во всём мире с помощью стресс-тестов была проверена устойчивость АЭС к внешним воздействиям и было продекларировано достижение высокого уровня эксплуатационной безопасности, соответствующего «международным требованиям».

Однако, учитывая опыт хотя бы двух аварий – Армянская АЭС 1982 и ЧАЭС 1986 (в ликвидации последствий которых один из авторов принимал участие) – мы не должны были бы с уверенностью это декларировать. Вне поля зрения остаются внутренние скрытые факторы – возможные источники аварий или их развития. Они не дают о себе знать до определённой ситуации, и потому, не учитываются никакими документами типа «Вероятностный анализ безопасности» или «Отчёт по анализу безопасности» и не могут быть вскрыты стресс-тестами.

Один из таких скрытых факторов – **Контроль радиационной нагрузки на материал корпуса реактора и оценка его последствий**. Возможность его преодоления исследуется в настоящем докладе.

Скрытый, не учитываемый при анализе безопасности, дефект заложен в неадекватном определении величины нейтронного воздействия (нейтронной экспозиции) и в ограниченности оценки его последствий при использовании «метода образцов-свидетелей». Особенно велика вероятность проявления дефекта при оценке остаточного ресурса в связи с общей тенденцией продления срока эксплуатации реакторов.

Сегодняшний регламент этих оценок (РБ-007-99, Россия, Украина...) предписывает задавать нейтронную экспозицию флюэнсом нейтронов с $E_n > 0,5$ МэВ, измеренный нейтронным активационным детектором ^{237}Np .

Но, во-первых, работа с делящимся детектором осложнена целым рядом серьёзных ограничений и, практически не проводится. Во-вторых, эффективный порог E_{eff} в спектре ВВЭР в районе корпуса реактора по нашим оценкам составляет 1÷1,5 МэВ и вклад не учитываемых групп нейтронов в так называемый «повреждающий поток» составляет 35 – 40 %. По нашим сведениям, например, в Украине, организации занимающиеся исследованиями по программе «образцов – свидетелей», нейтронную экспозицию задают вообще с помощью экспериментально адаптированного расчётного спектра.

На самом деле, как показывают исследования, проведенные нами в 1979-81г.г. совместно с ЦНИИ «Прометей» (Санкт-Петербург), учёт радиационного воздействия будет более адекватным и физически обоснованным, если его задавать величиной энергии, переданной нейтронами в процессе их рассеяния (упругого и неупругого) в облучаемом материале. В таком подходе контроль состояния корпуса реактора в процессе эксплуатации должен осуществляться через интегральные показатели радиационных эффектов.

Мерой радиационного воздействия – нейтронная экспозиция – в этом случае становится величина интегральной нейтронной дозы в i -м материале (D_i^n).

Что касается использования «метода образцов-свидетелей» для оценки изменения прочностных свойств и остаточного ресурса корпуса реактора при его эксплуатации, то его реализация, в виде облучаемых не в нагруженном состоянии образцов и их испытаний на ударную вязкость в извлечённом состоянии после облучения, позволяет лишь оценить состояние металла на момент испытания и

определить, насколько изменилась – увеличилась – температурная граница наступления хрупкого состояния и насколько близко свойства материала подошли к предельно допустимым характеристикам. Прогнозирование же остаточного ресурса корпуса реактора невозможно. В то же время исследования ползучести при облучении образцов в нагруженном состоянии показали серьезное ухудшение прочностных свойств материала по сравнению с испытаниями облученных образцов, проведенными вне реактора [2].

Таким образом используемый в настоящее время комплекс мер по контролю за облучением корпуса реактора не может дать надёжного обоснования для продления (сверх установленного исходным регламентом) срока эксплуатации реакторной установки.

Проведение внутриреакторных испытаний ползучести под постоянной нагрузкой позволит прогнозировать время достижения предельных заданных деформаций ползучести при использовании концепции Эйринга о влиянии внешних напряжений на изменение энергии активации при пластических деформациях твердых тел [5, 6].

Такой подход можно реализовать, если в «линейке эксплуатируемых энергетических реакторов» будет находиться исследовательский материаловедческий реактор, в котором будут реализованы «ускоренные радиационные испытания под нагрузкой» образцов материалов соответствующих реакторов.

В этом случае при перенесении и при сравнении результатов ускоренных испытаний на действующие энергетические реакторы радиационный эффект нормируется на интенсивность (нейтронная доза в водороде), а нейтронная экспозиция задаётся в функции от спектрального параметра нейтронного поля.

Метод определения on-line нейтронной дозы в любом материале и спектрального параметра P_{f-H} , определяющего влияние формы спектра на функцию повреждения, с использованием комплекса специальных внутризонных калориметрических детекторов [7], разработан и предложен нами [3, 4].

Литература:

[1] Е. Крамер-Агеев, С. Огородник, В. Попов Ю. Цоглин «О нейтронной экспозиции при исследовании радиационных повреждений материалов в ядерных реакторах» Атомная энергия т..34, выпуск 4, Москва 1973

[2] А. Паршин и др. «Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Радиационное материаловедение» Издание Технического Университета, С-Петербург, стр. 331, 2003

[3] Ю. Цоглин, С. Огородник «Определение поглощённой дозы нейтронов при рассеянии их в материалах, облучаемых в ядерных реакторах» Сб. Вопросы атомной науки и техники, Вып.136, стр.123, М.1974

[4] Ю. Цоглин, С. Огородник «Спектральный параметр реакторного гамма-излучения» т.38, вып. 2, М. 1975

[5] A. S. Krausz and H. Eyring, «Deformation kinetics» Wiley-Interscience, New York, 1975, 398 pp.

[6] V. I. Kartsovnik. «Changes of Activation Energy during Deformation of Rubber» Journal of Macromolecular Science, Part B, Physick, 50: 75-88, 2011

[7] М. Коротенко, М.Назарчук, С.Огородник, А. Рябчинский, С.Слесаревский, С.Стельмах и Ю.Цоглин «Радиационно-термический дивергатор интегрального потока энергии» Патент СССР № 230914, Информ. Бюллетень №35, Москва 1968