

## Возможные решения по улучшению эксплуатационной безопасности АЭС

by Dr.-Ing. Juri Tsoglin

The Society of Sciences & Engineering „KIW- Gesellschaft e. V“, Dresden, [y.tsoglin@gmail.com](mailto:y.tsoglin@gmail.com)

После аварии на АЭС Даичи (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 Chernobyl 1986 (в ликвидации последствий которых автор 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.

Некоторые из скрытых факторов и возможности их преодоления исследуются в настоящем докладе.

**Один из них – это системы ВРК (In-core monitoring-systems, IMS),** основанные на нейтронной идеологии контроля и на нейтронных детекторах в качестве первичных датчиков. Скрытый, не учитываемый при анализе безопасности дефект заложен в отсутствии надёжного метрологического обеспечения нейтронных детекторов и во влиянии процессов выгорания топлива и материалов детектора (processes burnout) на достоверность измерений и результирующей информации. Учёт этих факторов связан с большим объёмом привлекаемых допущений, побочных данных и вспомогательных вычислительных операций [1, 2]. Это обуславливает наличие огромного сложного математического обеспечения (soft-ware) в современных системах ВРК, что может обернуться несостоятельностью штатной системы в аварийной ситуации выдать информацию, необходимую для принятия адекватных решений.

Дефект может быть устранён, если дополнить нейтронные IMS системой на основе контроля плотности потока гамма-излучения, которая точно связана количественно со скоростью делений.

Проект такой системы был реализован нами на 2-м блоке Армянской АЭС в 1985 [3]. В качестве первичных датчиков использовались специально разработанные калориметрические гамма-детекторы (КГД) [4] рис. 1, 2, 3, 4. Основные достоинства такой системы: надёжность метрологического обеспечения первичных датчиков – наличие градуировочного элемента внутри детектора, отсутствие эффектов выгорания и простота алгоритма перехода от показаний датчиков к энерговыделению в кассете.

В многочисленных наладочных экспериментах и длительных ресурсных испытаниях на блоке была проверена, информативность и надёжность гамма-датчиков и измерительных каналов – калориметрических зондов, достоверность и надёжность алгоритмов контроля (рис. 4, 5). Система выдержала, без потери функций, и аварию на АЭС по общей причине (1982), и аварийную ситуацию при землетрясении в Спитаке –1988 (в зоне АЭС было 7 баллов).

Комбинированная система ВРК – на базе двух независимых каналов контроля – может быть реализована на уровне энергоблока как система диагностики с функциями раннего прогнозирования и обнаружения аномальной ситуации в технологическом процессе (рис. 6), а также реализован поставарийный мониторинг реакторной установки. Это в совокупности существенно повысит уровень эксплуатационной безопасности АЭС.

**Второй из них – Контроль радиационной нагрузки на материал корпуса реактора и оценка его последствий.** 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 реактора.

Сегодняшний регламент этих оценок (РБ-007-99, Россия, Украина...) предписывает задавать нейтронную экспозицию флюэнсом нейтронов с  $E_n > 0,5 \text{ MeV}$ , измеренный нейтронным активационным детектором  $^{237}\text{Np}$ . Но, во-первых, работа с делящимся детектором осложнена целым рядом серьёзных ограничений и, практически не проводится. Во-вторых, эффективный порог  $E_{\text{eff}}$  в спектре PWR в районе корпуса реактора по нашим оценкам составляет  $1 \div 1,5 \text{ MeV}$  и вклад неучитываемых 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»(Sankt-Petersburg), 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. То есть величиной поглощённой нейтронной дозы в

данном материале [5, 6]. В таком подходе, нейтронная экспозиция задаётся для величины радиационного эффекта, нормируемого на интенсивность (нейтронная доза в  $i$ -м материале  $D_i^n$ ), в функции от спектрального параметра нейтронного излучения в контролируемой области. Метод определения on-line нейтронной дозы в любом материале и спектрального параметра  $P_{f-n}$ , определяющего влияние формы спектра на функцию повреждения, разработан и предложен нами [7, 8]. В качестве измерителя здесь также используется выше упомянутый калориметрический детектор.

**Третий скрытый фактор – отсутствие международной системы** коллективной ядерной безопасности и экспертной поддержки оперативного персонала АЭС в нештатных ситуациях.

Для реализации такой международной системы экспертной поддержки АЭС необходимо организовать Диагностический центр высшего 4-го уровня при IAEA и подключить к нему сегодняшние региональные центры кризисного управления всех стран эксплуатирующих АЭС. При этом IAEA должно из консультативного органа превратиться в директивный – Совет коллективной ядерной безопасности – по типу Совета безопасности ООН (UNO). Но для этого необходимо, конечно, принять решение на уровне глав правительств все стран, эксплуатирующих АЭС.

Региональный центр кризисного управления, технически – это диагностический центр верхнего уровня в 3-х уровневой системе предотвращения ядерных аварий каждого государства – члена IAEA. Он обеспечивает оперативную поддержку операторов аварийного блока экспертами своего высокого уровня одновременно концентрируя экспертные возможности своих АЭС (NPP's). Предполагается, что первоначальный и основной уровень экспертной поддержки безопасной эксплуатации должен обеспечиваться кризисным центром данной АЭС и системой диагностики блока.

Концепция такой региональной системы для Украины была разработана нами и опубликована в 1995.[9] К настоящему времени на Украине реализованы все компоненты такой системы [10] за исключением как раз нижнего уровня – системы диагностики. Поэтому, создание на блоке IMS с комбинированной гамма-нейтронной идеологией и двумя независимыми каналами первичных датчиков, позволяющей сделать её системой диагностики с функциями раннего прогнозирования аномальных ситуаций (рис. 6) является приоритетной в задаче, существенно повысить эксплуатационную безопасность реакторной установки.

Следует отметить, что современннй уровень обеспечения блоков контрольно-измерительными средствами, общий уровень развития информационных технологий и средств коммуникации – позволяет решить обозначенные задачи весьма быстро и без особых проблем.

Возможность и эффективность дистанционного мониторинга высокоопасной технической системы была подтверждена при организации дистанционной поддержки операторов системы диагностики «Шатёр» («SHATIOR»), созданной нами на разрушенном 4-м блоке Чернобыльской АЭС. Вычислительный комплекс системы был связан двумя некоммутируемыми парами телефонных проводов с аналогичным комплексом в Киеве (150 км), который контролировался физиками – участниками ликвидации последствий аварии непосредственно на блоке. Их знание объекта и опыт радиационноопасных работ оказывали существенную оперативную помощь новому персоналу блока при возникновении ситуаций с серьёзными отклонениями параметров от безопасного уровня [11].

Литература:

- [1] V. Mitin, O.Mitina „Metrological characteristics of IMS-M“ Atomic Energy v.103, №2, 2007 (Russian)
- [2] A.Kurchenkov, A.Kalinushkin, V.Mitin “Way of definition of energy release in the reactor core according to indications of neutron detectors in use VVER reactors” Patent RF 2451348 vom 10.08.2012, Moskau
- [3] Y. Tsoglin „, About possibility of In-core Monitoring System for Reactors VVER-type based on the alternative physical ideology of energy-release monitoring” Magazine of Work of Science from Sevastopol University of Nuclear energy and industry, v. 1(37) p.73, 2011, Sevastopol, Ukraine (Russian)
- [4] M. Korotenko, C. Ogorodnik... and Y. Tsoglin „Radiation-thermal divergentor of integrated energy flux” Patent of the Soviet Union № 230914 Publ. Info. Bulletin №35, Moskau 1968 (Russian)
- [5] E. Kramer-Ageew... and Y.Tsoglin „Of neutron exposure in the study of radiation damage of materials in nuclear reactors” Atomic Energy v.34, №4, Moskau 1973 (Russian)
- [6] A. Parshin et. al. „Material science. Technique of structural materials. Radiation material science” Publishers of Technical University, S.-Petersburg, p. 331, 2003 (Russian)
- [7] Y. Tsoglin, S. Ogorodnik „The definition of absorbed dose from neutron scattering in materials irradiated in nuclear reactors”Bull. „Problems of atomic science, the nuclear constants series” №136, p.123, M.1974
- [8] Y.Tsoglin, S.Ogorodnik „Spectral parameter of the reactor gamma radiation” Atomic Energy v.38, №2, 1975
- [9] Y. Tsoglin et. al.”Ukraine early warning: on-line diagnostics and computer networks for monitoring, accident prevention and response”, Nuclear Engineering, Vol. 40, Nr.490, pp. 31-33, May 1995
- [10] I. Klimenko, L.Taranenko ivl@ivl.ua, Mag.“Mir Avtomatisazii“№1, Kiew, Maerz 2010 (Russsian)
- [11] Y. Tsoglin “Standard diagnostics system in the collapsed reactor of the Chernobyl NPP”, Report of annual meeting on Nuclear Technology`94, Publishers of “INFORUM GmbH” Bonn, Germany, 1994