

КОНТРОЛЬ ОСТРОВЕЦКОЙ АЭС АНТИНЕЙТРИННЫМ ДЕТЕКТОРОМ (БРАНДОМ)

Игнатович И. О.

Научный руководитель – Архангельская Т. М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Беларусь

Аннотация. Данная статья написана для понимания безопасности АЭС и существования методов ее защиты. Она была написана на старом программном обеспечении (для избегания конфликта между старым и новым).

Введение

В ближайшем будущем в Беларуси будет построено и введено в работу два блока АЭС тепловой мощностью около 3,6 ГВт каждый. Такой реактор производит $6,6 \cdot 10^{20}$ антинейтрино в секунду, что на расстоянии 10 м от активной зоны дает поток $5,36 \cdot 10^{13}$ частиц, проходящих через 1 см^2 в секунду. Измерение потока и энергетического спектра этих частиц даст возможность получать дополнительную информацию о процессах в реакторе независимо от систем реактора и в реальном времени. Установка будет располагаться на расстоянии 7 м от центра активной зоны реактора. При этом плотность потока антинейтрино на детекторе, по расчетам, будет достигать $2,7 \cdot 10^{13}$ антинейтрино на квадратный сантиметр в секунду. Набор данных будет достигать при работающем ("on") и заглушенном реакторе ("off") в течение четырех лет. Продолжительность измерений в режимах "on" и "off" составила 19000 и 4600 часов, соответственно.

Источником энергии реактора является реакция деления урана, где дочерние ядра переобогащены нейтронами и подвержены бета-распаду, что, в свою очередь, и является источником около 6 антинейтрино на каждое деление. Основными источниками антинейтрино выступают изотопы: урана 235 и 238, плутона 241 и 239, которые дают антинейтрино с разными энергетическими спектрами. Измерение потока и энергетического спектра этих частиц даёт

возможность получать дополнительную информацию о процессах в реакторе независимо от систем реактора и в реальном времени. Детектирование возможно с помощью реакции обратного бета-распада в среде объемом ~ 1 м³ с большим содержанием водорода может регистрировать около 10 тыс. событий в сутки. Эта реакция позволяет уменьшить число фоновых срабатываний, так как состоит из двух событий, разделенных промежутком времени: сначала регистрируется аннигиляция позитрона с электроном среды, порождая 2 фотона с достаточной энергией у каждого, и затем нейтрон поглощается гадолинием, добавленным в небольшом количестве в детектирующую среду, что порождает широкий всплеск света. Эта последовательность подтверждает детектирование искомой реакции.

Расположение антинейтронного детектора

Изначально предполагалось 3 места, удобных для расположения детектора. Место 1 имеет расстояние между нижней точкой активной зоны и дном детектора около 4 м. Эта комната относится к обслуживаемым и имеет прямой вход с дверью. Из-за близости к активной зоне в ней должен быть большой поток нейтронов. Место, обозначенное цифрой 2, находится в 7 м от активной зоны расположена в ловушке распада. Расстояние от дна активной зоны до места 3 составляет около 12,6 м, размещение в запасном коридоре обеспечивает быстрый доступ. Что касается запроектной аварии с расплавлением активной зоны, то детектор ничему помешать не сможет, а окажется дополнительным жертвенным материалом. Тем не менее последняя информация с детектора может оказаться очень важной. По последним данным было выбрано место 2.

Материалы и геометрия детектора

Предлагаются следующие варианты конструкции детектора:

1. Пластиковые полосы (DANSS).

Детектор строится из метровых пластиковых брусков. Пластик является богатой водородом средой (мишенью) и сцинтиллятором для детектирования позитрона. Брусочек покрыт Gd-содержащим зеркалом и имеет РМТ с электроникой на одном из своих торцов. Монтируемым блоком является слой, составленный из брусочков. Детектор может быть использован для измерения параметров стандартного водяного реактора (например, ВВЭР-12000) и реакторов на быстрых

нейтронах (БН800, БН1000). Ожидаемая скорость счета антинейтрино около 10000 событий в сутки, что соответствует статистической точности измерений 1%. В настоящее время мы закончили расчетные и опытные работы и приступили к изготовлению детектора. За три года будет изготовлен сам детектор антинейтрино, его активная и пассивная защита, сопутствующая электроника и программное обеспечение, проведены полные лабораторные испытания. Заинтересованность в выполнении данного проекта выражена администрацией отдела МАГАТЭ, отвечающего за контроль над продуктами ядерного деления на атомных станциях.

2. Борированная вода в технических емкостях.

Как альтернативу отдельному прибору можно использовать борированную воду, содержащуюся в многочисленных емкостях внутри герметичной оболочки (или даже залить воду в ловушку расплава), что дает огромный чувствительный объем. Необходимо только установить РМТ (чрезвычайно чувствительный детектор света) на стенах объема. Свет от позитрона и реакции нейтронов с бором дают сигналы на фотоумножители, которые различаются своим фронтом и могут легко различаться электроникой.

Выбор конструкции детектора обсуждается.

Заключение

Когда речь идет о строительстве АЭС на территории страны, уже пострадавшей от атомной энергетики, будут применяться все методы и средства защиты. Контроль антинейтринным детектором идея не новая: я знаю, что в 1982 в СССР данный метод уже применялся на Ровенской АЭС.

Разрабатываемый дизайн детектора предполагает модульную, быстромонтируемую конструкцию. В настоящее время активно развивается антинейтринная диагностика ядерных реакторов во всем мире: строятся как небольшие детекторы, так и очень большие установки. Антинейтринный детектор позволяет непрерывно получать информацию по совершенно новым параметрам, альтернативным стандартным тепловому и нейтронному каналам. К 2020 году будет изготовлено и установлено несколько таких детекторов. Контроль Островецкой АЭС будет осуществлен всеми возможными методами.

Литература

1. Young, D. A. Etching of Radiation Damage in Lithium Fluoride / D. A. Young Nature. –1958. – V. 182. – P. 375–377.
2. Silk, E. C. M. Study antineutrino's detectors of electron methods / E. C. M. Silk, R. S. Barnes // Philos. Mag. – 1959. – Vol. 7. – P. 970-972.
3. Дюррани, С. Твердотельные ядерные детекторы / С. Дюррани, Р. Балл. – М : Энергоатомиздат, 1990. – 263 с.