

УДК 621.039.53

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ БЛОКИ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ИОНИЗАЦИОННЫХ КАМЕР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРОННЫХ ПОЛЕЙ

К.Н. СУРИКОВ, И.Н. АРИСТОВ, Г.В. ПОЛЁТОВ

*Научно-исследовательский институт технической физики и автоматизации
115230, г. Москва, Варшавское шоссе, д.46, Москва, 115230, Россия*

Поступила в редакцию 30 января 2015

Приведено описание промышленно доступных российских блоков детектирования (БД) ионизационных камер для регистрации нейтронных полей в системах управления и защиты реакторных установок. Выполнен анализ существующих технологий производства блоков детектирования для решения различных задач. Приведены результаты испытаний опытных образцов БД при температурах минус 120 °С и 500 °С. Определены дальнейшие пути совершенствования блоков детектирования и ионизационных камер для систем управления и защиты ядерных установок.

Введение

Блоки детектирования на основе ионизационных камер и газоразрядных счетчиков играют важнейшую роль в управлении технологическими процессами на ядерных энергетических установках. С их помощью осуществляют контроль нейтронного поля около и в активной зоне реактора при выводе на мощность, работе на номинальной мощности в системах управления и защиты ядерных реакторов [1]. Разнообразие типов ядерных установок отличающихся габаритными размерами активной зоны, рабочими температурами, диапазонами регистрации плотности потока нейтронных полей и т.д., требует от разработчиков блоков детектирования создания большой номенклатуры серийно выпускаемых изделий.

Типичный блок детектирования на основе нейтронной камеры состоит из одной или нескольких ионизационных камер (ИК) и линии связи. Количество камер выбирается, исходя из поставленной задачи. Сама по себе ИК уязвима к внешним воздействующим факторам, а именно, к повышенной влажности, электромагнитным помехам различных частотных диапазонов, дезактивирующим растворам, повышенным температурам (могут достигать 500 °С) и т. д. Таким образом, корпус блока детектирования служит защитой ИК, а линия связи передает полезный сигнал выработанной ИК к аппаратуре для дальнейшей обработки.

Ионизационная камера представляет из себя герметичный корпус, изготовленный чаще всего из нержавеющей стали, заполненный смесью инертных газов. Внутри ИК расположены электродные системы, изолированные друг от друга и от корпуса камеры. Как правило, одна или несколько электродных систем покрыты специальным веществом – радиатором. Радиаторы – это вещества, имеющие достаточно высокие сечения деления при взаимодействии с нейтронами. Именно наличие радиатора в конструкции ИК позволяет регистрировать нейтроны. Количество электродных систем зависит от решаемых задач ИК; их, как правило, две или больше. На одну электродную систему подается, например, положительное напряжение, а другую подключают к регистрирующей аппаратуре. Для регистрации тепловых нейтронов в ИК в качестве радиаторов используют: уран-235, бор-10, гелий-3. Уран-235, бор-10 наносят тонкими пленками на электродные системы ИК, так называемые твердые радиаторы. Газообразными радиаторами гелий-3 и трифторидом бора (при производстве газа используют

бор-10) наполняют рабочий объем ИК. При взаимодействии тепловых нейтронов с радиаторами происходит деление или расщепление ядра радиатора с образованием двух осколков деления или иных частиц, разлетающихся в противоположных направлениях. Эти осколки, при попадании в газовый промежуток, создают свободные электроны и ионы газов, наполняющих ИК. При движении в электрическом поле между электродными системами свободные заряды во внешней цепи создают импульс тока, регистрируемый аппаратурой. Как правило в системе управления и защиты (СУЗ) применяются ИК с радиаторами уран-235 и бор-10.

Камеры деления – ионизационные камеры с радиатором уран-235 эксплуатируются в импульсном, флуктуационном и токовом режимах. ИК с радиатором бор-10 из-за малой величины заряда в импульсе эксплуатируются только в токовом режиме.

Серийно выпускаемые ионизационные камеры и блоки детектирования

АО «НИИТФА» продолжает более чем 60-летние традиции исследований, разработок и серийного производства ионизационных камер и блоков детектирования на их основе. Родоначальником направления ионизационных камер были специалисты Отдела 100 НИИВТ имени А.С. Векшинского, созданного в 1951 г., большая часть которых перешла в АО «НИИТФА» в 1989 г. [2].

На данный момент подразделения АО «НИИТФА» являются ведущими разработчиками и производителями ионизационных камер, газоразрядных счетчиков и блоков детектирования на их основе. АО «НИИТФА» серийно выпускает более 40 наименований ионизационных камер и блоков детектирования для регистрации тепловых нейтронов. Выпускаемые изделия эксплуатируются на ядерных установках типа БН-800, ВВЭР, РБМК.

Результатом последних разработок является широкодиапазонная камера с урановым и борным радиаторами КНУ-3. Камера содержит две электродные системы с урановым радиатором, работающие в импульсном режиме, и одну электродную систему с борным покрытием, работающую в токовом режиме. Диапазон регистрации камеры КНУ-3 перекрывает двенадцать десятичных порядков и обеспечивает контроль плотностей нейтронного потока в диапазоне от 0,1 до 1011 нейтр. \cdot см⁻² \cdot с⁻¹. Пластинчатая конструкция электродных систем с борным покрытием позволяет достигать в токовом режиме коэффициент гамма-компенсации более 400.

Камеры деления условно можно разделить на высокочувствительные и низкочувствительные. Образцом низкочувствительной камеры является малогабаритная камера деления с коаксиальной конструкцией КНТ 26. Диаметр камеры 3 мм. Конструкция имеет охранный электрод и позволяет подключать камеру к аппаратуре по дифференциальной схеме. Камера КНТ 26 является первичным преобразователем блока детектирования СУЗ-В. Конструкторские решения блока детектирования позволяют эксплуатировать ее как в импульсном, так и в токовом режимах при температурах до 300 °С. Диаметр блока детектирования в месте расположения камер деления не более 5 мм. Чувствительность блока детектирования СУЗ-В к тепловым нейтронам в импульсном и токовом режимах равны 0,01 имп. \cdot см² и 1 \cdot 10⁻¹⁵ А \cdot см² \cdot с соответственно. Образцом высокочувствительной камеры деления является камера КНТ 27. Чувствительность к тепловым нейтронам в импульсном режиме составляет 10 имп \cdot см² \cdot с⁻¹. Диаметр камеры КНТ 27 – 80 мм, длина 300 мм. В АО «НИИТФА» на основе камеры деления КНК 15М, камеры с твердым радиатором бор-10 КНК 17-1 и коронного счетчика тепловых нейтронов с твердым радиатором бор-10 разрабатываются блоки детектирования с линией связи из триаксиального кабеля с минеральной изоляцией типа КНММС. Чувствительность к тепловым нейтронам блока детектирования на основе коронного счетчика составляет 8 имп/см²с при гамма устойчивости 1,93 \cdot 10⁻³ Гр/с (800 Р/ч). В настоящий момент разработки находятся на завершающей стадии.

За счет оптимизации состава газового наполнения камер деления удалось увеличить амплитуду на ~20 % к ранее выпускаемым камерам.

Исследования стойкости БД к внешним воздействиям

В рамках работы по расширению рабочего температурного диапазона детекторов в АО «НИИТФА» были проведены испытания экспериментальных образцов блоков детектирования с камерами деления по определению возможности эксплуатации при минус 120 °С и при 500 °С.

Испытания при пониженных температурах были выполнены с помощью программного замораживателя Кгуо 360 – 3.3 фирмы Planer. Экспериментальный образец БД помещался в крио камеру и охлаждался до минус 120 °С. После выдержки в течение двух часов БД облучали нейтронами и сравнивали с показаниями при нормальных условиях. Амплитудный спектр импульсов экспериментального образца БД не изменился по сравнению с нормальными условиями, что свидетельствует о сохранении чувствительности БД. При этом было замечено, что время собирания заряда при температуре минус 120 °С по сравнению с нормальными условиями сократилось на 25 %.

На основе камеры деления КНТ 54-2 был создан опытный образец высокотемпературного блока детектирования. Испытания БД при температурах эксплуатации до 500 °С были выполнены в муфельной печи типа СНОЛ. При различных температурах измерялись дискриминационные характеристики БД при облучении тепловыми нейтронами, показанные на рис.1. При температуре 500 °С ложный выходной сигнал возрастает с $1,1 \cdot 10^{-8}$ до $1,4 \cdot 10^{-8}$ А. Результаты измерений показывают возможность создания высокотемпературного блока детектирования на основе камеры деления. Также с помощью ускоренных испытаний было выполнено подтверждение температуры эксплуатации 500 °С с минимальной наработкой на отказ 20000 ч.

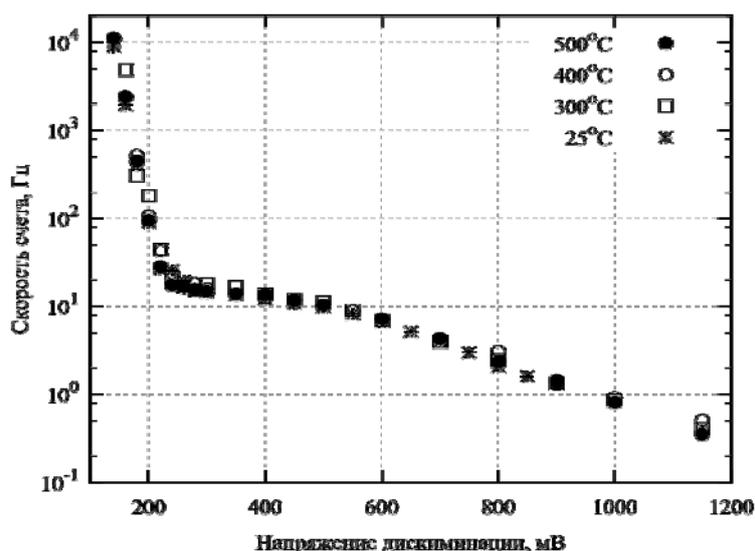


Рис. 1. Дискриминационные характеристики БД на основе камеры деления, измеренные при различных температурах

Выполнено исследование влияния фотонного излучения в импульсном режиме работы камер деления. Работа выполнялась на гамма-установке ГУ 200М. Блок детектирования на основе камеры деления облучался нейтронами при различных мощностях фотонного излучения. Результаты измерения дискриминационных характеристик приведены на рис. 2. Анализ этого рисунка показывает, что выбором уровня дискриминации можно полностью исключить влияние внешнего фотонного излучения.

Блоки детектирования, разрабатываемые АО «НИИТФА», по электромагнитной совместимости технических средств имеют III группу исполнения по устойчивости к помехам и устойчивы к механическим воздействиям, возникающим от удара самолета, падающего на АЭС, и от ударной воздушной волны.

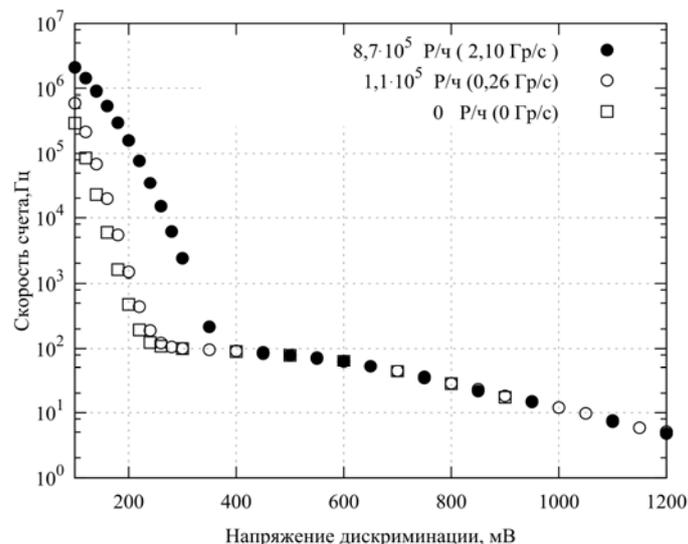


Рис. 2. Дискриминационные характеристики БД на основе камеры деления, измеренные при различных мощностях доз фотонного излучения

Выводы

АО «НИИТФА» обладает широкими технологическими возможностями производства ионизационных камер и блоков детектирования на их основе, необходимыми для удовлетворения потребностей разработчиков систем управления и защиты ядерных установок.

Опытные образцы БД, разработанные АО «НИИТФА», показали возможность создания изделий, эксплуатируемых в широком температурном диапазоне от минус 120 °С до 500 °С. Следующим этапом развития блоков детектирование планируется увеличение температуры штатной эксплуатации до 600 °С.

Список литературы

1. Малышев Е.К., Засадыч Ю.Б., Стабровский С.А. Газоразрядные детекторы для контроля ядерных реакторов. М., 1991.
2. Борисов В.П., Аммосова Л.М., Золотенина Н.С. и др. Научно-исследовательский институт вакуумной техники им. С.А. Векшинского (1947–2007 гг.) М., 2007.