

7. Вергелбный В. П. и др. В кн.: Труды конф. «Нейтронная физика». Ч. 2. Обнинск, изд. ФЭИ, 1974, с. 104.
8. Cabell M. «J. Inorg. Nucl. Chem.», 1968, v. 30, p. 897.
9. Беланова Т. С. и др. Препринт НИИАР П-6(272). Димитровград, 1976.

10. Als-Nielsen J. «Phys. Rev.», 1964, v. 133, p. B925.
11. Ribon P. e.a. CEA-N-1832, NEANDC(E)-1672, 1975.

Поступило в Редакцию 04.12.78

УДК 621.387:539.1.074

Широкодиапазонная камера деления для СУЗ ядерных реакторов

МАЛЫШЕВ Е. К., БЕЛОЗЕРОВ В. Г., ШЕТИНИН О. И.

При эксплуатации ядерных реакторов необходимо вести устойчивый контроль примерно от 10^{-10} до 100% номинальной мощности. Как правило, такой контроль осуществляется измерением плотности нейтронного потока с помощью нейтронных ионизационных камер. Наиболее удобным детектором представляется ионизационная камера деления с радиатором, содержащим ^{235}U , которая используется последовательно в режимах регистрации отдельных импульсов и измерения среднего ионизационного тока. Для обеспечения высокой надежности контроля важным является перекрытие границ двух режимов работы камеры в пределах приблизительно одного десятичного порядка изменения нейтронного потока. Выпускаемые промышленностью камеры деления типа КНТ-31, КНТ-54-1 и КНТ-15 [1] не удовлетворяют этому требованию, так как нижняя граница токового режима этих камер определяется собственным фоном α -излучения радиатора, достигающим $1 \cdot 10^{-8}$ А. Верхний предел импульсного режима ограничен быстрейшим действием как самой камеры, так и применяемой электронной аппаратуры, а в ряде случаев и наличием ложных сигналов, обусловленных наложением большого числа единичных импульсов, инициируемых γ -излучением реактора [2]. В связи с этим перекрытие двух режимов работы камеры деления до последнего времени требует применения в СУЗ реакторов одновременно различных типов детекторов. Как правило, камеры деления применяют только в импульсном режиме в диапазоне 10^{-10} — 10^{-1} % номинальной мощности реактора; в других случаях используют токовые камеры с борным или гелиевым радиатором, имеющие дополнительный рабочий объем для компенсации фона γ -излучения (камеры КНК-53М, КНК-3, КНК-4 [1]). К недостаткам таких систем относятся большое количество применяемых детекторов и соответственно линий связи, усложнение вторичной аппаратуры. Применение одного широкодиапазонного детектора способствовало бы упрощению СУЗ наряду с повышением ее надежности и экономичности.

В настоящее время впервые в СССР разработана и освоена в промышленном производстве широкодиапазонная нейтронная камера деления КНК-15-1 с повышенной степенью компенсации фона γ -излучения. На рис. 1 показана конструкция этой камеры. Электродная система образована набором из 89 пластин диаметром 44 мм, объединенных в две секции: нейтронную, чувствительную к нейтронам и γ -излучению, и компенсирующую, чувствительную только к γ -излучению. Пластины нейтронной секции покрыты слоем U_3O_8 толщиной 1 мг/см^2 . Каждая имеет по три выступа, заходящих в отверстия стоек, установленных в опорных изоляторах на фланцах (3, 8). Расположение отверстий в стойках обеспечивает межэлектродный зазор $1,6 \text{ мм}$. Электрический контакт пластин со стойками достигается точечной сваркой. Электродная система заключена в цилиндрический корпус с фланцами 2 и 9, один из которых несет три металлокерамических узла, служащих электровводами камеры. Герметичность камеры обеспечивается аргодуговой сваркой. Основные металлические части изготовлены из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т, изоляторы — из высокоглиноземистой керамики. Камера наполняется смесью газов 96% $\text{Ar} + 2\% \text{He} + 2\% \text{N}_2$ при давлении 3,5 ат. Добавка гелия служит для контроля герметичности камеры после ее изготовления. Конструк-

ция камеры обеспечивает механическую устойчивость к вибрациям и ударам в соответствии с ГОСТ 16962—71. Диаметр камеры 50, длина 260 мм, масса 950 г. Электрическая емкость каждой секции 360 пФ. При рабочем напряжении от 250 до 400 В время собирания электронов ионизации (50 ÷ 100) нс. Камера допускает эксплуатацию при температуре 315°C в течение 25 тыс. ч. Срок службы 5 лет.

В отличие от аналогичной камеры КНК-15 радиатор камеры КНК-15-1 содержит меньшее количество ^{234}U , определяющего α -активность радиатора. Благодаря этому собственный фон камеры не превышает $5 \cdot 10^{-10}$ А, что позволило более чем на порядок уменьшить нижнюю границу токового режима. При этом чувствительность к тепловым нейтронам составляет $(2,6 \pm 0,3) \cdot 10^{-13}$ А/нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$.

Для выравнивания чувствительности к γ -излучению часть пластин компенсирующей секции изготовлена из тантала. Это позволило существенно уменьшить возможную раскомпенсацию камеры при изменении спектра γ -излуче-

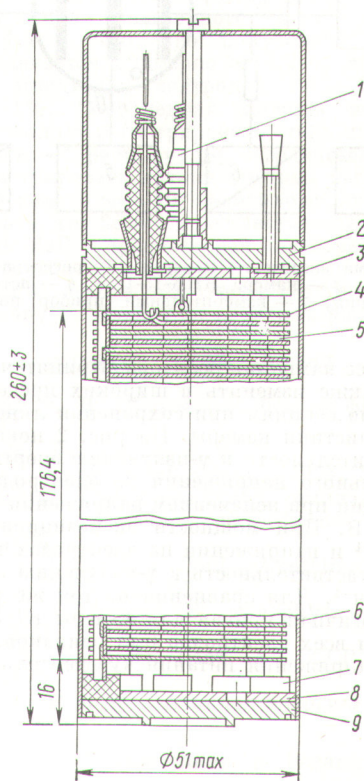
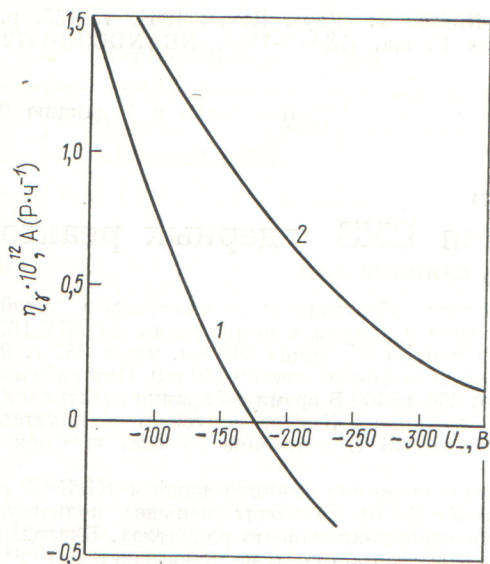
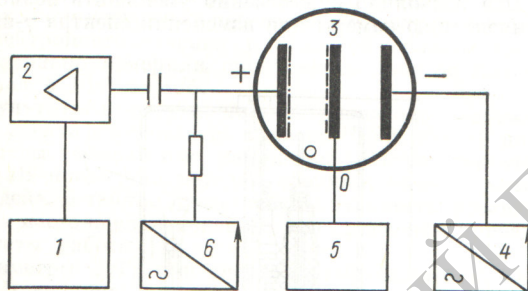


Рис. 1. Конструкция ионизационной камеры КНК-15-1: 1 — металлокерамические узлы; 2, 3, 8, 9 — фланцы; 4 — пластины электродной системы; 5 — стойки; 6 — корпус; 7 — опорные изоляторы

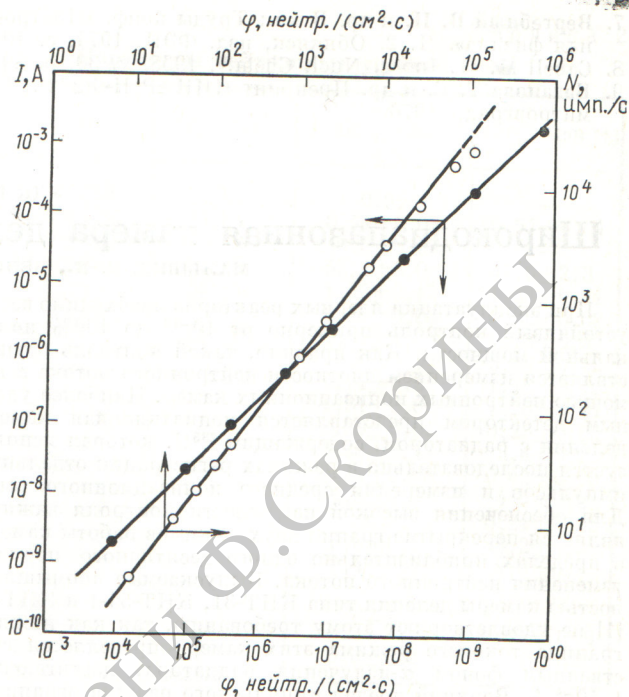


Р и с. 2. Зависимость чувствительности камеры к γ -излучению от напряжения U_- компенсирующей секции при $P_{\gamma} = 1,6 \cdot 10^5$ P/ч: 1 — для КНК-15-1; 2 — для КНК-15



Р и с. 3. Схема включения камеры: 1 — регистратор импульсов; 2 — усилитель; 3 — камера КНК-15-1; 4, 6 — источник постоянного напряжения; 5 — измерительный прибор постоянного тока

ния в процессе кампании реактора. Принятая конструкция позволяет также изменять в широких пределах токораспределение по секциям при сохранении линейности рабочей характеристики камеры. На рис. 2 показана зависимость чувствительности к γ -излучению энергией 1,25 МэВ от отрицательного напряжения на электродах компенсирующей секции при неизменном напряжении в нейтронной секции 250 В. При мощности экспозиционной дозы до $1 \cdot 10^5$ A/P·ч⁻¹ и напряжении на электродах камеры +250 и -175 В чувствительность к γ -излучению не превышает $1 \cdot 10^{-13}$ A/P·ч⁻¹. Для сравнения на том же рисунке приведена аналогичная кривая для камеры КНК-15, в которой материал всех электродов был одинаков. При тех же значениях напряжения питания чувствительность к γ -из-



Р и с. 4. Рабочие характеристики камеры КНК-15-1 для импульсного (O) и токового (●) режимов

лучению последней камеры существенно выше, а полная компенсация не достигается.

В режиме без компенсации чувствительность к γ -излучению камеры КНК-15-1 $2 \cdot 10^{-10}$ A/P·ч⁻¹. Камера сохраняет линейность рабочей характеристики при токе $5 \cdot 10^{-3}$ А и напряжении +350 В в нейтронной секции и -235 В в компенсирующей.

При работе в импульсном режиме средний заряд электронов ионизации равен $1,0 \cdot 10^{-13}$ Кл $\pm 20\%$. В зависимости от порога дискриминатора чувствительность камеры в импульсном режиме составляет 0,1—0,5 имп./нейтр.·см². На рис. 3 показана схема включения камеры, позволяющая использовать ее одновременно в двух режимах: импульсном и токовом, причем в токовом режиме заземленный корпус играет роль охранного электрода. Схема была опробована на реакторе ИРТ-2000-МИФИ и хорошо себя зарекомендовала. На рис. 4 представлены зависимости скорости счета импульсов N и тока камеры I от плотности потока нейтронов. Из приведенного графика следует, что камера обеспечивает необходимое перекрытие диапазонов, контролируемых в разных режимах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев А. Б., Малышев Е. К. Нейтронные ионизационные камеры для реакторной техники. М., Атомиздат, 1975.
2. Дмитриев А. Б. и др. «Атомная энергия», 1972, т. 32, вып. 3, с. 230.

Поступило в Редакцию 11.12.78