

## ДЕТЕКТОР МОЩНОСТИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ТИПА КГК-2 ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПОЛЕЙ ИЗЛУЧЕНИЙ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ В ДИАПАЗОНЕ ОТ 1 мкГр/с ДО 100 Гр/с

А. С. Кошелев, Л. Е. Довбыш, В. Х. Хоружий

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 607188, г. Саров Нижегородской обл.

С. В. Чукляев

АНО НИИ технологии материалов, 123557, г. Москва

Дано краткое описание конструкции детектора мощности  $\gamma$ -излучения типа КГК-2. Диагностические возможности детектора продемонстрированы на примере результатов измерения мощности дозы в энергетических пусках реакторов БР-К1 и БР-1М, осуществленных в режиме генерирования импульсов деления на запаздывающих нейтронах. Возможности использования детектора КГК-2 для постимпульсной  $\gamma$ -диагностики продемонстрированы на примере результатов измерений в импульсе делений на мгновенных нейтронах реактора БР-1М.

**Ключевые слова:** мощность  $\gamma$ -дозы, газонаполненный  $\gamma$ -детектор, импульсный ядерный реактор, постимпульсная релаксация.

**KGK-2 TYPE DETECTOR OF GAMMA-RADIATION POWER FOR DIAGNOSIS OF NUCLEAR REACTOR RADIATION FIELDS WITHIN THE RANGE FROM 1  $\mu$ Gy/s TO 100 Gy/s / A. S. KOSHELEV, L. Ye. DOVBYSH, V. Kh. KHORUZHYY, S. V. CHUKLYAEV** // There is given a brief description of a design of a KGK-2 type detector of  $\gamma$ -radiation power. The diagnostic potentialities of the detector are demonstrated by the example of dose rate measurement results in energy start-ups of BR-K1 and BR-1M reactors that were realized in the mode of generating fission pulses on delayed neutrons. The possibilities of using KGK-2 detector for post-pulse  $\gamma$ -diagnostics are demonstrated by the example of measurement results in fission pulse on prompt neutrons of BR-1M reactor.

**Key words:**  $\gamma$ -dose rate, gas-filled  $\gamma$ -detector, pulse nuclear reactor, post-pulse relaxation.

Использование реакторных установок ВНИИЭФ в качестве мощных источников радиационного воздействия как исследовательской, так и прикладной направленности предопределяет необходимость постоянного развития и совершенствования арсенала измерительных средств и методов их применения в полях излучений комбинированного состава с варьируемым содержанием нейтронной и  $\gamma$ -составляющих.

Целевая задача дозиметрии (диагностики) полей излучений реакторных установок – «предоставить исследователям сведения о составе и энергетическом спектре излучения или информацию о мере радиационного воздействия, которая была бы адекватна изменениям свойств материалов независимо от энергетического распределения нейтронов или фотонов» [1].

Спектрометрия как нейтронного, так и фотонного излучений в пространственных координатах полей реакторных установок, используемых для размещения облучаемых объектов, с использованием классических спектрометров практически невозможна (отсутствуют действенные методы разделения полезного и фоновых сигналов и учета угловых характеристик исследуемого излучения на формирование энергетически информационного отклика детектирующего элемента).

Применение метода интегральных нейтронных детекторов (см., например, [2]) в определенной степени решает задачу предоставления сведений о составе и энергетическом спектре нейтронов, позволяющих рассчитать (оценить) меру радиационного воздействия по спектрально конкретизированному фактору. Для реакторного  $\gamma$ -из-

лучения метод, подобный вышеупомянутому, отсутствует.

В рамках сложившейся во ВНИИЭФ практики принято определять энергетический спектр  $\gamma$ -составляющей комбинированного  $n$ - $\gamma$ -поля реакторных установок расчетно (с преимущественным использованием методики расчета С-007 [3]), а меру радиационного воздействия (нагрузки) – экспериментально, с преимущественным использованием до настоящего времени интегральных детекторов в виде стекол ИС-7 (методика ИКС [4]) или ДТС [1] (современный аналог СО ПД(ДТС)-0.05/10).

Приоритетно импульсный режим работы реакторных установок ВНИИЭФ (генерирование импульсов делений на мгновенных нейтронах с шириной на полувысоте от  $\sim 50$  мкс до  $\sim 5$  мс; см., например, [5]) predeterminedил внедрение в практику  $\gamma$ -измерений детекторов мощности поглощенной дозы типа ВЭД-2 [6]. Для калибровки чувствительности детекторов в условиях, максимально приближенных к условиям проведения измерений, на реакторе БР-К1 совместно с сотрудниками метрологической организации ФГУП «ВНИИФТРИ» был создан и аттестован специализированный гамма-источник (СГИ) [7]. В рабочем пространстве СГИ объемом  $500 \text{ см}^3$  (параллелепипед  $100 \times 100 \times 50$  мм), конструктивно воспроизводимом во внутризонной полости реактора, может быть реализован средний уровень мощности дозы по поглощению в воде в диапазоне от  $1 \cdot 10^{-4}$  Гр/с до 10 Гр/с.

Чувствительность ВЭД-2, в зависимости от модификации детектора, находится в диапазоне от  $\sim 2 \cdot 10^{-9}$  Кл/Гр до  $\sim 4,5 \cdot 10^{-9}$  Кл/Гр. Информационно достоверный уровень регистрации токового отклика детектора используемыми во ВНИИЭФ регистраторами ИМТК [8], в присутствии фоновой составляющей  $\sim 10^{-12}$  А, ограничивается величиной  $\sim 10^{-11}$  А, что соответствует мощности дозы  $\sim 2 \cdot 10^{-3}$  Гр/с.

По сравнению с вакуумированной конструкцией детектора чувствительность газонаполненного детектора той же конструкции увеличивается в несколько тысяч раз за счет ионизации газа и возникновения дополнительных носителей электрического заряда в чувствительном объеме детектора. Успешное использование детекторов типа ВЭД-2 не только в режиме генерирования импульсов делений на мгновенных нейтронах, но и в режиме стационарной или медленно меняющейся мощности (секунды и более), с одной стороны, и перспектива снижения контролируемого уровня мощности дозы до значений менее

$10^{-6}$  Гр/с, с другой стороны, predeterminedили целесообразность реализации  $\gamma$ -детектора в размерах ВЭД-2, но с газовым наполнением.

Для практической проверки ожидаемого расширения диагностических возможностей  $\gamma$ -составляющей полей излучений используемых реакторных установок по заказу ВНИИЭФ в НИИ технологии материалов был разработан и изготовлен детектор мощности  $\gamma$ -излучения, получивший наименование КГК-2.

Детектор КГК-2 изготовлен аналогично КНВК [6, 9]. Содержит систему из трех электродов, выполненных из аустенитной нержавеющей стали, которые размещены в герметичном цилиндрическом корпусе внешним диаметром 50 мм и толщиной стенки 0,8 мм из того же материала. Сигнальный электрод набран из 10, а два других – из 5 и 6 дисков диаметром 44 мм и толщиной около 0,36 мм. Диски каждого из электродов закреплены тремя металлическими рейками. Рейки изолированы от корпуса опорными изоляторами из высокоглиноземистой керамики. Каждый диск одного электрода, который является сигнальным, размещен между дисками двух других электродов, образующих с ним две секции. Расстояние между соседними дисками разноименных электродов 1,6 мм. Рейки разноименных электродов соединены токоведущими проводниками с отдельными электрическими вводами, изготовленными из спая корундовой керамики с коваром и вваренными в крышку корпуса.

После отжига в вакуумной печи при температуре 750 К детектор заполнили смесью гелия, азота и аргона до давления 0,45 МПа. Парциальные давления гелия и азота одинаковы и составляют по 0,9 кПа.

Сопротивление изоляции электрических вводов детектора после отпайки откачной трубки выше  $5 \cdot 10^{-12}$  Ом, электрическая прочность выше 1,8 кВ, собственный фоновый ток не превышает  $1 \cdot 10^{-12}$  А в нормальных климатических условиях. Рабочее напряжение питания от 100 В до 1 кВ. Наклон вольт-амперной характеристики (в поле нуклидного источника  $^{60}\text{Co}$ ) при напряжении питания детектора 360 В составляет  $5 \cdot 10^{-5} \text{ В}^{-1}$ .

В процессе освоения детекторов типа ВЭД-2 во ВНИИЭФ была выработана и совместно с метрологической службой института формализована процедура калибровки детекторов указанного типа в СГИ БР-К1. С учетом практики использования дозовых параметров во ВНИИЭФ было признано целесообразным представление поглощенной дозы в единицах «Гр(вода)» заменить на пред-

ставление в единицах «Гр(воздух)» путем расчетно обоснованного множителя 0,9, зафиксированного в регламентирующей калибровку ВЭД-2 методике. Далее по тексту статьи все размерности Гр соответствуют размерности Гр(воздух).

Неотъемлемой составляющей методического инструментария является программа расчета изменения мощности дозы в СГИ в калибровочных энергопусках реактора. В качестве основной расчетной модели прецизионного отображения функционала мощности поглощенной дозы в СГИ принята модель с использованием временных зависимостей выхода запаздывающих  $\gamma$ -квантов в форме, предложенной Петровым [8]. Для реализации избранной расчетной процедуры разработана соответствующая FORTRAN-версия компьютерной программы «Доза  $pd\Pi$  СГИ» с жесткой фиксацией следующих входных параметров: значение дозы от поглощенных в воздухе мгновенных (*prompt*)  $\gamma$ -квантов в расчете на одно деление в АЗ реактора  $D_p = 4,968 \cdot 10^{-16}$  Гр/дел.АЗ; значение дозы от поглощенных в воздухе запаздывающих (*delay*)  $\gamma$ -квантов в расчете на одно деление в АЗ  $D_d = 1,853 \cdot 10^{-16}$  Гр/дел.АЗ.

На рис. 1 в графической форме представлены изменения мощности реактора, изменения мощности дозы по показаниям ВЭД-2 с использованием чувствительности, следующей из реализованной дозы в СГИ в данном калибровочном пуске согласно методическим предписаниям, и изменение

мощности дозы, рассчитанное с использованием программы «Доза  $pd\Pi$  СГИ». Для наглядности использовано представление мощности реактора в условных единицах, формат которых устанавливался по соотношению  $P = 0,19P/2,962 \cdot 10^{14}$  (0,19 Гр/с и  $2,962 \cdot 10^{14}$  дел.АЗ/с – значения мощности дозы и мощности реактора непосредственно перед прерыванием энергопуска возвратом органов регулирования реактивности (ОРР) реактора в исходные положения,  $P$  – текущее значение мощности).

После вывода реактора на стационарный уровень  $2,97 \cdot 10^{14}$  дел.АЗ/с обеспечивается устойчивость этого уровня в течение  $\sim 1400$  с в границах не более  $\pm 0,8$  %. Указанному времени работы реактора на стационарном уровне соответствует отношение расчетной мощности дозы к экспериментально измеренной, равное 1,0003 в границах не более  $\pm 0,4$  %.

Методические рекомендации, разработанные для калибровки ВЭД-2, были распространены на процедуру калибровки КГК-2. На рис. 2 в графической форме представлены изменения мощности реактора, изменения мощности дозы по показаниям ВЭД-2 с использованием чувствительности, следующей из реализованной дозы в СГИ в данном калибровочном пуске согласно методическим предписаниям, и изменение мощности дозы, рассчитанное с использованием программы «Доза  $pd\Pi$  СГИ». Для наглядности использовано представление мощности реактора в условных едини-

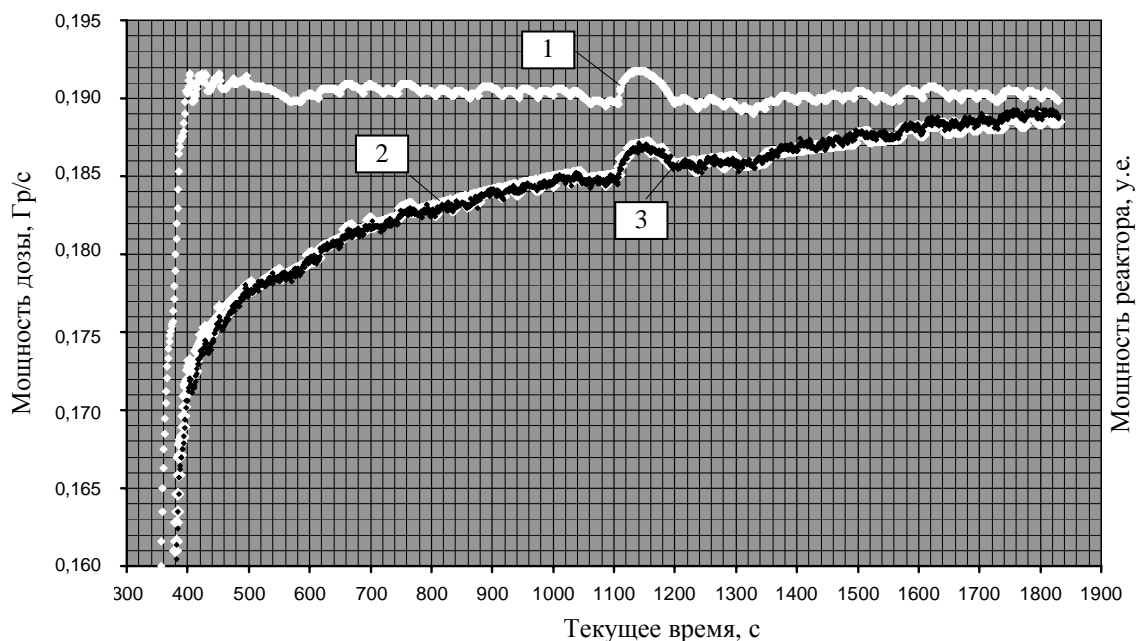


Рис. 1. Изменение мощности реактора и мощности дозы в энергопуске калибровки ВЭД-2: 1 – мощность реактора, 2 – мощность дозы ВЭД-2, 3 – расчетная мощность дозы

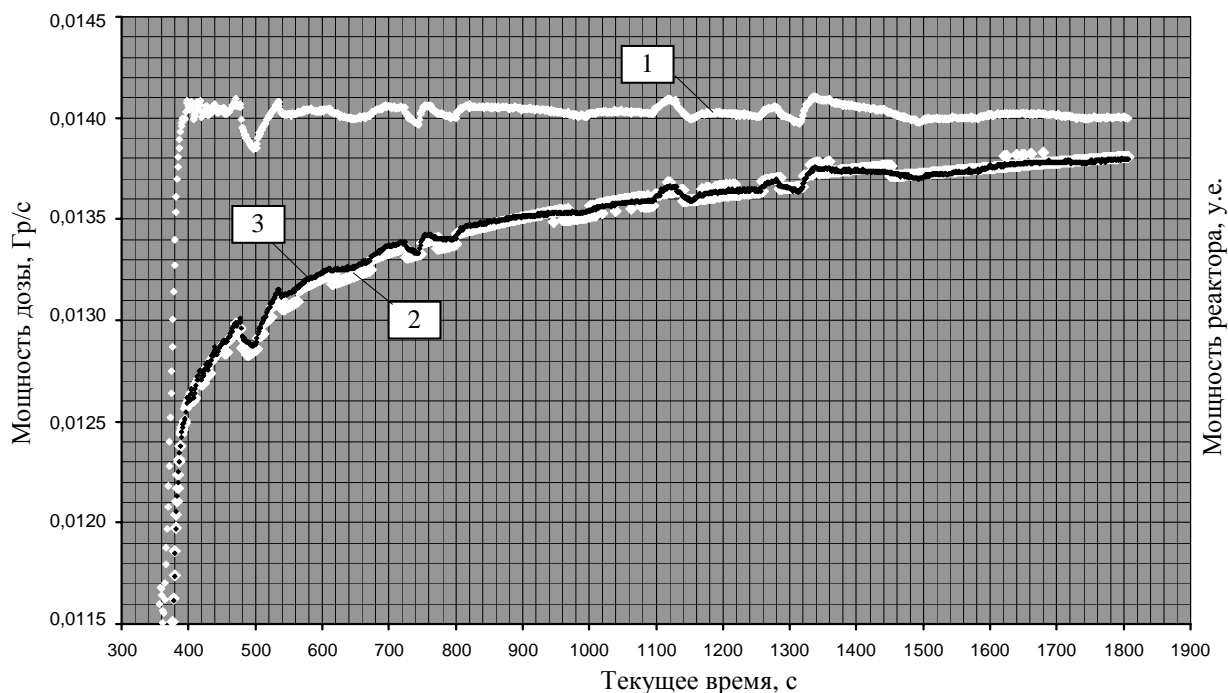


Рис. 2. Изменение мощности реактора и мощности дозы в энергопуске калибровки КГК-2:  
1 – мощность реактора, 2 – мощность дозы по КГК-2, 3 – расчетная мощность дозы

цах, формат которых устанавливался по соотношению  $P = 0,014P/2,173 \cdot 10^{13}$  (0,014 Гр/с и  $2,173 \cdot 10^{13}$  дел.АЗ/с – значения мощности дозы и мощности реактора непосредственно перед прерыванием энергопуска возвратом ОРР реактора в исходные положения,  $P$  – текущее значение мощности).

После вывода реактора на стационарный уровень  $2,18 \cdot 10^{13}$  дел.АЗ/с обеспечивается устойчивость этого уровня в течение  $\sim 1400$  с в границах не более  $\pm 1,3\%$ . Указанному времени работы реактора на стационарном уровне соответствует отношение расчетной мощности дозы к экспериментально измеренной, равное 0,9993 в границах не более  $\pm 0,4\%$ .

Полное совпадение результатов эксперимента и расчета в энергопуске калибровки КГК-2, соответствующее таковому в энергопуске калибровки ВЭД-2, показывает отсутствие различий в формировании дозовых откликов указанных детекторов в поле излучений СГИ. Полученный результат показывает, что в полях излучений реакторных установок с подобным полю излучений СГИ соотношением нейтронной и  $\gamma$ -компонент показания детектора КГК-2 адекватны показаниям детектора ВЭД-2. Заметим, что выборочно полученные к настоящему времени результаты совместного использования детекторов КГК-2 и ВЭД-2 в полях излучений реакторов БР-1М, БР-К1 и ГИР-2 [5]

не выявили расхождений в сопоставимых дозовых показаниях указанных детекторов в пределах методически установленных погрешностей измерений.

Возможности и особенности  $\gamma$ -диагностики полей излучений реакторных установок ВНИИЭФ, обусловленные использованием детектора КГК-2, иллюстрируют экспериментальные данные, представленные в графической форме на рис. 3–5.

На рис. 4 представлено изменение мощности дозы в сравнении с мощностью реактора в энергопуске реактора БР-К1, осуществленном в форме импульса делений на запаздывающих нейтронах с асимптотическим периодом разгона 21,8 с и максимально достигнутой мощностью  $1,77 \cdot 10^{16}$  дел.АЗ/с ( $\sim 0,5$  МВт). Детектор КГК-2 размещался в реакторном зале длиной 14 м, шириной 10,4 м, высотой 8 м в  $\sim 9$  м от центра АЗ реактора на одной с центром АЗ высоте над уровнем пола.

Для наглядности использовано представление мощности реактора в условных единицах, формат которых устанавливался по соотношению  $P = 0,0453P/1,768 \cdot 10^{16}$  (0,0453 Гр/с и  $1,768 \cdot 10^{16}$  дел.АЗ/с – фактически реализованные пиковые значения мощности дозы и мощности реактора,  $P$  – текущее значение мощности).

Значительное расстояние от АЗ, как источника фонового  $\gamma$ -излучения осколков деления, и благоприятный уровень фонового тока регистрационно-

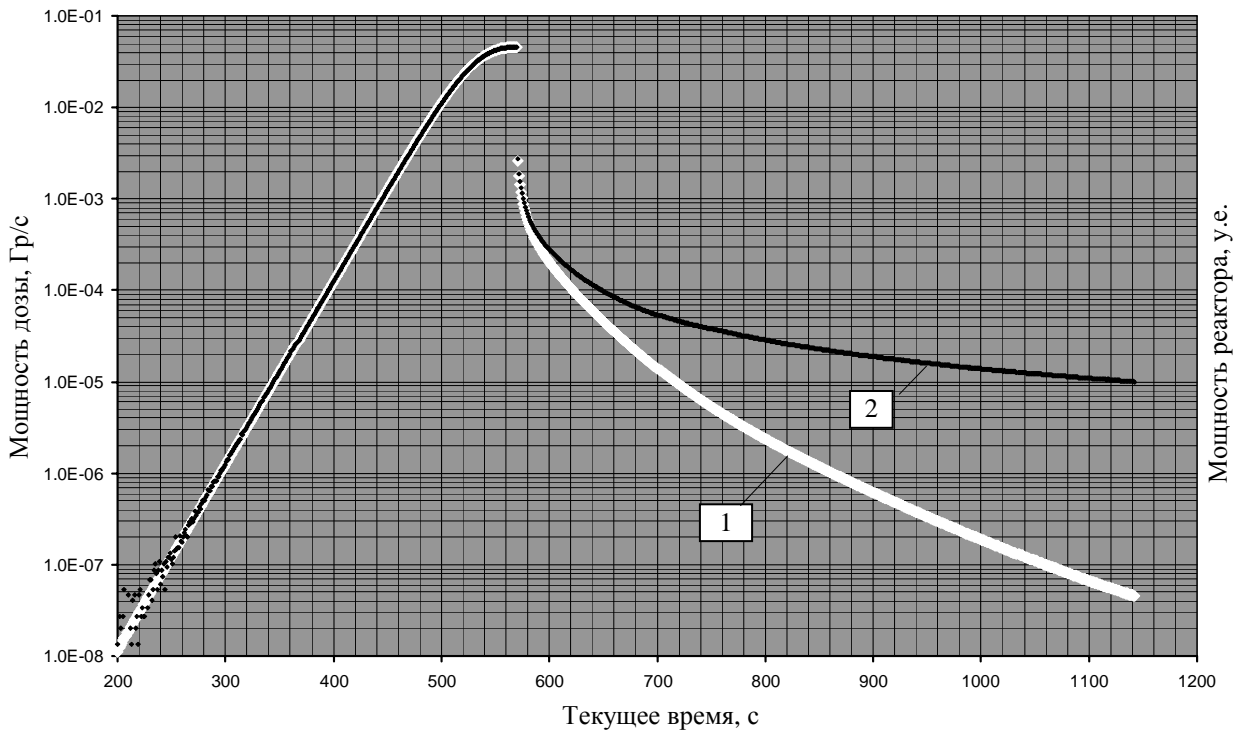


Рис. 3. Изменение мощности дозы в импульсе реактора БР-К1 на запаздывающих нейтронах при размещении КГК-2 в реакторном зале в ~9 м от центра АЗ:  
1 – мощность реактора, 2 – мощность дозы

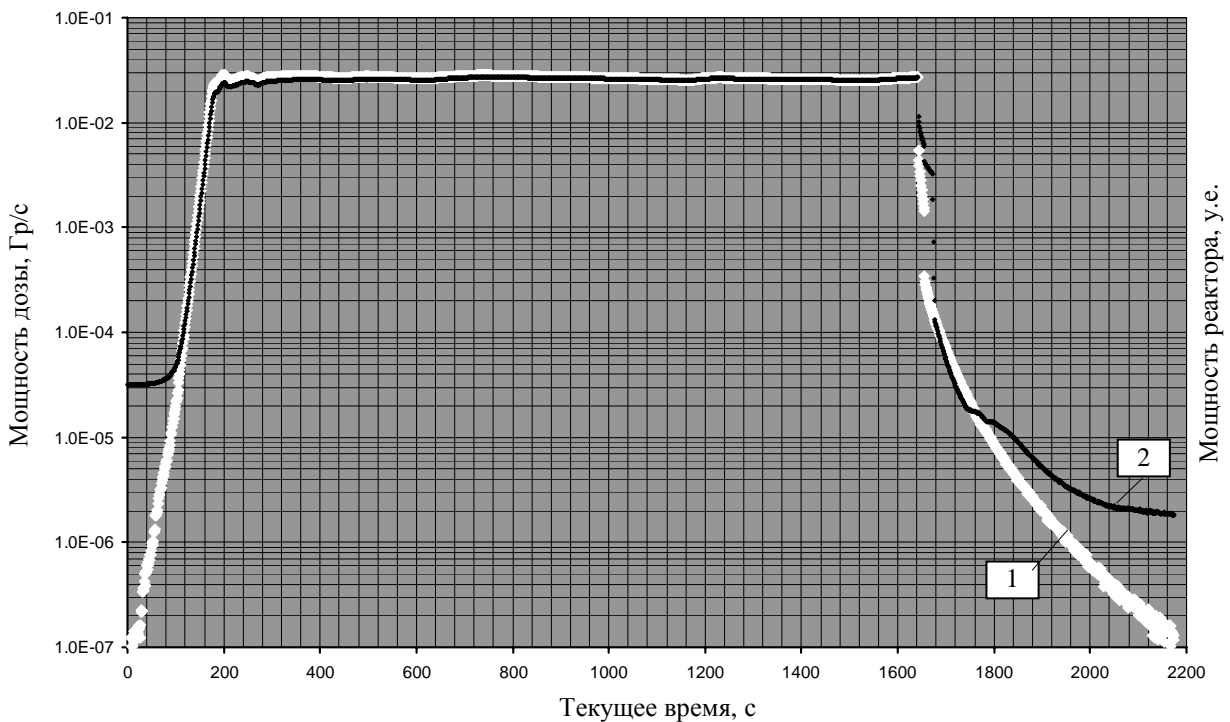


Рис. 4. Изменение мощности дозы в управляемом импульсе реактора БР-1М на запаздывающих нейтронах при размещении КГК-2 в КВЗ АЗ:  
1 – мощность реактора, 2 – мощность дозы

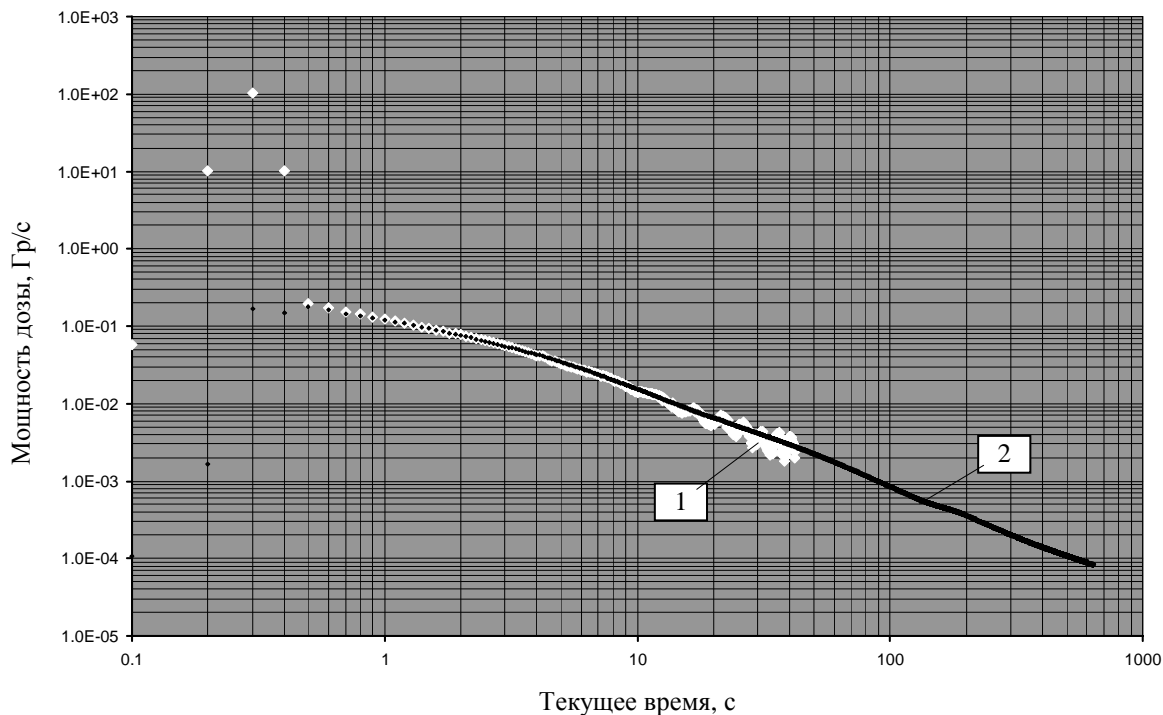


Рис. 5. Изменение мощности дозы при генерировании импульса делений реактора БР-1М на мгновенных нейтронах по показаниям КГК-2 и ВЭД-2 в  $\sim 3$  м от центра АЗ:  
 1 – мощность дозы по ВЭД-2 (увеличено в 540,62 раза), 2 – мощность дозы по КГК-2

го тракта с КГК-2 ( $\sim 10^{-13}$  А) обеспечили возможность количественно достоверной регистрации мощности дозы с уровня  $10^{-7}$  Гр/с, соответствующего мощности реактора  $\sim 3,5 \cdot 10^{10}$  дел.АЗ/с ( $\sim 1$  Вт). На всем активном участке реализации энергопуска имеет место фактическое соответствие изменения мощности дозы изменению мощности реактора. Изменение мощности дозы в контролируемых границах характеризуется величиной  $\sim 4,5 \cdot 10^5$  раза.

По завершению энергопуска, осуществленного возвратом всех ОРР в исходные положения в момент достижения реактором максимума мощности, ограничиваемого коэффициентом теплового гашения, проявляется различие в спаде мощности реактора, определяемом спадом мощности источников запаздывающих нейтронов, и спаде мощности дозы, определяемом значительно более медленным спадом мощности источников запаздывающих  $\gamma$ -квантов.

На рис. 5 представлены результаты измерений детектором КГК-2 в импульсе делений реактора БР-1М на запаздывающих нейтронах с внешним регулированием процесса формирования импульса. Детектор располагался в контейнере вертикальной загрузки (КВЗ) во внутризонную полость АЗ и в процессе генерирования импульса находился в положении полного ввода в нее.

Так же, как и в случае энергопуска БР-К1, в интересах визуальной наглядности использовано представление мощности реактора БР-1М в условных единицах, формат которых устанавливался по соотношению  $P = 0,027P/3,266 \cdot 10^{12}$  ( $0,027$  Гр/с и  $3,266 \cdot 10^{16}$  дел.АЗ/с – значения мощности дозы и мощности реактора непосредственно перед прерыванием энергопуска возвратом ОРР в исходные положения,  $P$  – текущее значение мощности).

Значительный уровень мощности дозы в начале регистрационного цикла обусловлен высоким уровнем осколочной  $\gamma$ -активности АЗ действующего реактора. На интервале изменения мощности дозы от  $\sim 10^{-3}$  до  $\sim 10^{-2}$  Гр/с асимптотический период разгона реактора по показаниям КГК-2 11,20 с полностью совпадает с периодом по изменению мощности реактора 11,16 с. Характер расхождения мощности дозы и мощности реактора в области выдержки реактора на стационарной мощности  $\sim 3,2 \cdot 10^{12}$  дел.АЗ/с ( $\sim 90$  Вт) в течение  $\sim 1400$  с аналогичен таковому при калибровке КГК-2 в СГИ (см. рис. 2).

Своеобразный характер изменения мощности дозы по завершении процедуры генерирования импульса реактора путем отвода всех ОРР в исходные положения обусловлен перемещением КВЗ после прихода ОРР в исходное состояние,

включающим в себя вывод КВЗ из АЗ и отвод его на расстояние  $\sim 2$  м.

В практике  $\gamma$ -диагностирования полей излучений импульсных реакторных установок особое место занимает так называемое постимпульсное диагностирование, призванное обеспечить достоверное измерение мощности дозы фактически с момента уменьшения ее уровня после импульса делений на мгновенных нейтронах ниже регистрационных возможностей детекторов импульсной мощности дозы (в настоящее время – это только детекторы типа ВЭД-2).

Возможности КГК-2 как детектора постимпульсной  $\gamma$ -диагностики в составе регистрационного тракта с измерителем тока типа ИМТК (см., например, [8]) демонстрируют данные, представленные на рис. 5. Измерения выполнены в импульсе на мгновенных нейтронах БР-1М с пиковой мощностью  $\sim 2,1 \cdot 10^{21}$  дел.АЗ/с ( $\sim 60$  ГВт), полушириной 86 мкс и полным энерговыделением  $\sim 2,2 \cdot 10^{17}$  дел.АЗ ( $\sim 6,3$  МДж). Одновременно с токовым откликом  $\gamma$ -детектора КГК-2 по аналогичной схеме регистрировался токовый отклик батареи из шести параллельно соединенных  $\gamma$ -детекторов ВЭД-2-03 (наиболее чувствительная модификация детектора ВЭД-2). Для усиления токового сигнала все детекторы были окружены оболочкой из материала, конвертирующего реакторные нейтроны в  $\gamma$ -кванты (спрессованная смесь полипропилена с окисью кадмия в массовом соотношении  $\sim 9$  к 1). Для визуальной наглядности токовый отклик батареи детекторов ВЭД-2-03 увеличен в 540,62 раза.

Генерирование импульса делений БР-1М осуществляется с минимизированного уровня начальной мощности (после не менее 20-минутного «высвечивания» в отсутствие внешнего источника нейтронов), поэтому до начала развития импульса делений регистрируются только фоновые уровни токовых сигналов соответствующих регистрационных трактов с ИМТК ( $\sim 10^{-12}$  А).

Полученные ранее в импульсных измерениях данные о пиковом токе батареи ВЭД-2-03 в перерасчете на пиковую мощность реактора  $\sim 2 \cdot 10^{21}$  дел.АЗ/с позволяют оценить ток шести ВЭД-2-03 в пике рассматриваемого импульса  $\sim 1,2 \cdot 10^{-4}$  А при допустимом рабочем токе одного ВЭД-2-03 10 А. Данное обстоятельство позволяет исключить из рассмотрения перегрузку детекторов ВЭД по току и имеющий место характер изменения дозового отклика  $I$  на рис. 5 отнести исключительно к реакции ИМТК на импульсный всплеск тока на его входе (максимально зафиксированный ток, с уче-

том масштабного множителя, равен  $\sim 3,2 \cdot 10^{-6}$  А).

Фактическое совпадение токовых откликов вакуумированного детектора ВЭД-2 и газонаполненного детектора КГК-2 через  $\sim 0,7$  с после импульса делений БР-1М можно рассматривать как экспериментально установленный факт, позволяющий утверждать, что не позже 1 с после импульса с практически максимально разрешенным для генерирования на БР-1М энерговыделением (установленное для планирования предельное значение  $2,7 \cdot 10^{17}$  дел.АЗ) регистрационный тракт с газонаполненной КГК-2 и регистратором тока ИМТК завершил процесс релаксации и функционирует в режиме нормальной (неискаженной) регистрации.

Верхняя граница регистрируемого КГК-2 диапазона мощности дозы 100 Гр/с в настоящее время представляет собой прогнозную оценку, выполненную на основании анализа токовых характеристик [6] подобных по конструкции газонаполненных промышленных камер. Принималось во внимание, что в детекторе КГК-2 имеются две одинаковые независимые секции, за счет чего верхний предел рабочего тока детектора вдвое выше такового для отдельной секции при параллельном включении секций. При установленной чувствительности исследованного образца КГК-2  $1,48 \cdot 10^{-5}$  Кл/Гр мощности дозы 100 Гр/с соответствует ток камеры 1,5 мА и, соответственно, ток секции 750 мкА.

В настоящее время изыскивается возможность осуществления экспериментального определения верхнего предела регистрационных возможностей детектора КГК-2 с целенаправленным достижением уровня мощности дозы 100 Гр/с.

## Список литературы

1. Брискман Б. А., Генералова В. В., Крамер-Агеев Е. А., Трошин В. С. Внутриреакторная дозиметрия. Практическое руководство. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 200 с.
2. Севастьянов В. Д., Кошелев А. С., Маслов Г. Н. Характеристики полей нейтронов. Источники мгновенных нейтронов деления, генераторы 14 МэВ нейтронов, исследовательские и энергетические реакторы, устройства, конвертирующие нейтронное излучение. Справочник / Под ред. д-ра техн. наук В. Д. Севастьянова. – Менделеево: «ВНИИФТРИ», 2007. – 654 с.
3. Житник А. К., Донской Е. Н., Огнев С. П. и др. Методика С-007 решения методом Монте-Карло связанных линейных уравнений переноса

нейтронов, гамма-квантов, электронов и позитронов // ВАНТ. Сер. Математическое моделирование физических процессов, 2011, вып. 1, с. 17–24.

4. Бочвар И. А., Гимадова Т. Н., Кеирим-Маркус И. Б. и др. Метод дозиметрии ИКС. – М.: Энергоатомиздат, 1977. – 224 с.

5. Колесов В. Ф., Кувшинов М. И., Воронцов С. В. и др. Критические стенды и импульсные реакторы РФЯЦ-ВНИИЭФ // 65 лет ВНИИЭФ. Физика и техника высоких плотностей энергии: – В 2-х выпусках. – Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2011. Вып. 1. С. 136–164.

6. Чукляев С. В., Грудский М. Я., Артемьев В. А. Вторично-эмиссионные детекторы ионизирующих излучений. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 368 с.

7. Генералова В. В., Жанжора А. П., Кошелев А. С., Нарожный А. Т. Специализированный источник гамма-излучения, пространственно совмещенный с моделирующим опорным полем нейтронов МОП-К2 // Измерительная техника, 2010, № 1, с. 24–27.

8. Кошелев А. С., Хоружий В. Х., Овчинников М. А., Пикулина Г. Н. Возможности и перспективы развития компараторного варианта калибровки детекторов мощности гамма-излучения в поле специализированного гамма-источника реактора БР-К1 // ВАНТ. Сер. Физика ядерных реакторов, 2011, вып. 3, с. 10–18.

9. А.с. 1106278 СССР МПК Кл G01T 3/00. Вакуумная камера деления КНВК / Чукляев С. В., Щетинин О. И. // Открытия. Изобретения. 1985, № 19.

Контактная информация –

Кошелев Александр Сергеевич,  
ведущий научный сотрудник ИЯРФ, РФЯЦ-ВНИИЭФ,  
тел. (831 30) 3-06-87

Статья поступила в редакцию 31.08.2012.

Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов, 2012, вып. 3, с. 43–50.