
ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 539.1.074: 004.315

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ РАДИАЦИОННОМ КОНТРОЛЕ

Д.В. Моисеев

Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности

В работе выполнен анализ данных по радиационной обстановке на АЭС и выявлены основные факторы внешнего радиационного воздействия. Показано, что существующие СИТ гамма-излучения в реальных условиях приходится использовать в расширенном энергетическом диапазоне.

Для повышения точности измерения с одновременным расширением энергетического диапазона уровней гамма-излучения предложен метод автоматической компенсации дополнительной погрешности за счет ЭЗЧ во всем диапазоне измерения в масштабе реального времени путем введения заранее рассчитанных поправочных коэффициентов. Выполнено моделирование работы предложенного схемотехнического решения.

Введение

Практика эксплуатации АЭС показывает, что основным фактором внешнего радиационного воздействия на персонал является гамма-излучение, которое по своей природе является высокочастотным электромагнитным излучением с длиной волны менее 10^{-11} м, обладающим высокой проникающей способностью. Оно и определяет степень опасности для окружающей среды и здоровья не только персонала АЭС, но и населения [1, 2].

В этой связи для уменьшения степени воздействия гамма-излучения на человека, окружающую среду и технику необходимо проводить мероприятия по ядерной, радиационной, физической безопасности на АЭС и радиоэкологическому мониторингу природных объектов совместно с обеспечением контроля условий труда [2].

Наряду с усовершенствованием технологического процесса существует задача усовершенствования средств, методов и методик измерения уровней радиации, повышения точности и достоверности их измерений, решение которой является актуальной на сегодняшний день [3, 4].

При решении данной задачи важную роль играет применение информационно-измерительных систем (ИИС), предназначенных для получения исходной информации, ее обработки и выработки на этой основе сигналов управления [5, 6].

Постановка цели и задач

Цель данной научной работы – формализовать основные методы повышения точности измерения уровней гамма-излучения при радиационном контроле.

Для достижения заданной цели необходимо решить следующие задачи:

– определить вклад гамма-излучения в суммарную активность в различных режимах работы, определить реальный энергетический диапазон гамма-излучения на АЭС;

- провести анализ метрологических характеристик современных средств измерения (СИ) гамма-излучения;
- разработать метод повышения точности измерения дозы и мощности дозы гамма-излучения путем автоматической компенсации энергетической зависимости чувствительности (ЭЗЧ) первичного преобразователя (ПП);
- разработать новые СИ уровней гамма-излучения на основе разработанного метода повышения точности измерения дозы и мощности дозы гамма-излучения путем автоматической компенсации ЭЗЧ ПП в масштабе реального времени;
- усовершенствовать методику применения вероятностной формы представления данных для использования ее в ИИС в целях уменьшения их аппаратного объема, повышения точности, помехозащищенности и быстродействия.

Решение поставленных задач

Как показывает опыт эксплуатации АЭС, доза облучения персонала, в главной степени, обусловлена гамма-излучением ЯЭУ и ее технологического оборудования. Персонал подвергается облучению остальными видами ИИ только при выполнении ремонтных работ в центральном зале реактора. При этом на долю нейтронного облучения приходится не более 15 %, остальные 85 % приходятся на долю гамма-излучения [1, 2].

Как известно, гамма-излучение - это высокоэнергетическое фотонное излучение, возникающее при изменении энергетического состояния атомного ядра, ядерных превращениях или аннигиляции частиц. Энергия гамма-квантов, образующихся при протекании этих процессов, охватывает диапазон 0,01...10 МэВ, а соответствующая им длина волны – $10^{-11} \dots 10^{-16}$ м [2].

Положение спектра гамма-излучения в общем спектре ионизирующего электромагнитного излучения представлено на рис. 1.

Однако нормированный энергетический диапазон измерения уровней гамма-излучения составляет 0,01...3 МэВ, что значительно меньше реально существующего (0,01...10 МэВ).

Таким образом, применяемые средства измерительной техники (СИТ) гамма-излучения при радиационном контроле в реальных условиях приходится использовать в расширенном энергетическом диапазоне, что, в свою очередь, приводит к дополнительным погрешностям измерения, разбросу результатов, значительным погрешностям при производстве градуировочных и поверочных операций [3].

До недавнего времени уровни гамма-излучения было принято измерять с помощью СИ экспозиционной дозы или мощности экспозиционной дозы. В настоящее время, в соответствии с рекомендациями комиссий различных уровней, интенсивность гамма-излучения измеряется поглощенной или эквивалентной дозой [7]. Ранее указывалось, что спецификой измерения гамма-излучения является большая погрешность за счет энергетической зависимости чувствительности (ЭЗЧ) вследствие неучтенных систематических погрешностей при практических измерениях [4].

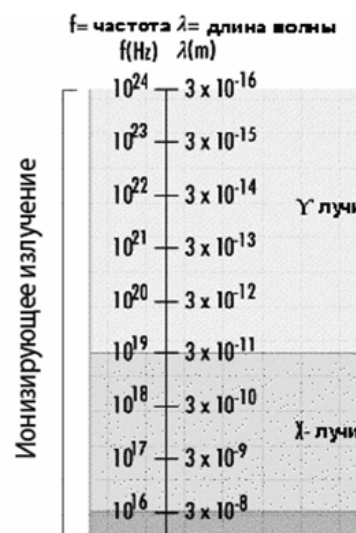


Рис. 1. Диапазон гамма-излучения в спектре ионизирующего электромагнитного излучения

Для приборов дозиметрического контроля в соответствии с ГОСТ 14337 – 87 [8], действующим на территории Украины, их энергетическая зависимость определяется как зависимость чувствительности СИТ от энергии измеряемого излучения. Существующие на данный момент СИТ уровней гамма-излучения обладают высокой погрешностью, основной вклад в которую, помимо основной погрешности, составляющей величину порядка 20 %, вносит погрешность за счет ЭЗЧ первичных измерительных преобразователей, в отдельных случаях достигающая величины до 1500 % [3 – 5].

Как известно, особенностью дозиметрических СИ является зависимость их чувствительности от энергии излучения E_{gx} .

При проектировании и поверке СИ в метрологических лабораториях чувствительность определяют для некоторой образцовой энергии $E_{gобр}$, в качестве которой, как правило, используется энергия либо Cs-137 ($E_{gx} = 0,662$ МэВ), либо Co-60 ($E_{gx} = 1,25$ МэВ).

От энергии гамма-излучения E_g , в свою очередь, зависит отношение чувствительности СИ h_x при данной энергии излучения E_{gx} к чувствительности $h_{обр}$ при образцовой энергии $E_{gобр}$ [4]:

$$\text{ЭЗЧ}(E_g) = \frac{h(E_{gx})}{h(E_{gобр})}. \quad (1)$$

В соответствии с нормативными документами использование СИТ возможно только при энергиях, при которых суммарная погрешность основной и дополнительной погрешности не превышает заданной величины 30 %. Дополнительная же погрешность может достигать нескольких порядков, поэтому она и определяет энергетический диапазон дозиметрических приборов, что приводит к значительному его сужению.

Существуют несколько факторов, определяющих величину ЭЗЧ того или иного СИТ радиационного контроля. Основной из них - различие в коэффициентах передачи энергии для вещества детектора средства измерения и воздуха - m_{nmz} , m_{nme} .

При этом большую роль играют значения эффективных атомных номеров материала детектора Z_m и воздуха Z_B . Под эффективным атомным номером сложного вещества понимается атомный номер такого условного простого вещества, для которого электронный коэффициент передачи энергии излучения является таким же, как и для данного сложного вещества [4].

В связи с вышесказанным материал детектора выбирается из так называемых "воздухоэквивалентных" материалов с Z_m , близкой к $Z_B = 7,64$. Графически эта зависимость выглядит, как представлено на рис. 2 [4].

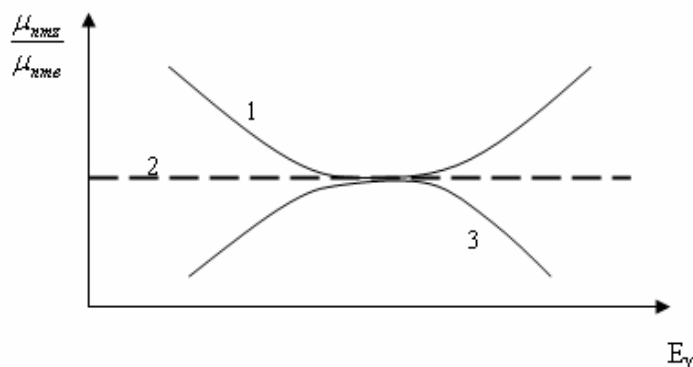


Рис. 2. Зависимость отношения коэффициентов передачи энергии в веществе и в воздухе от величины энергии

На рис. 2 следующие обозначения: 1 – $Z_m > Z_B$; 2 – $Z_m = Z_B$; 3 – $Z_m < Z_B$.

Поскольку значение E_g изменяется на три порядка, то счетчиковые детекторы имеют очень большую величину дополнительной погрешности. Влияние этих трех факторов приводит к различной ЭЗЧ для токовых и импульсных приборов.

Реально существующий на АЭС энергетический диапазон гамма-излучения 0,01...10 МэВ наиболее полно покрывает сцинтилляционный ПП, работающий в импульсном режиме, для которого значение ЭЗЧ рассчитывается по формуле [4]

$$\text{ЭЗЧ} = \frac{(1 - e^{-m_{zx}h})m_{\text{гобр}}E_{\text{гобр}}}{(1 - e^{-m_{\text{гобр}}h})m_{\text{вх}}E_{\text{гх}}}, \quad (2)$$

где m_{zx} , $m_{\text{вх}}$, $m_{\text{гобр}}$, $m_{\text{гобр}}$ – значения линейных коэффициентов ослабления гамма-излучения в материале детектора или в воздухе для энергии $E_{\text{гх}}$ и для образцовой энергии $E_{\text{гобр}}$.

Для уменьшения влияния ЭЗЧ в настоящее время применяются компенсационные фильтры, обеспечивающие снижение величины дополнительной погрешности за счет ЭЗЧ до указанного уровня в заданном диапазоне энергий. Однако применение данного способа приводит к нечувствительности СИТ к составляющим спектра с малой энергией, что, в свою очередь, ведет к сужению измеряемого энергетического диапазона. Использование компенсационных фильтров со сквозными отверстиями позволяет повысить чувствительность к низкоэнергетическим квантам, но, в свою очередь, ухудшает ЭЗЧ детектора вследствие того, что толщина компенсационных фильтров выбирается по значению одной энергии, дающей максимальную погрешность, а влияние остальных энергий при этом не учитывается. Наибольшую ЭЗЧ, а следовательно и наибольшую погрешность (60 %), ПП имеют при малых энергиях гамма-излучения - менее 0,05 МэВ [4].

Для расчета ЭЗЧ с учетом сочетания различных компенсационных фильтров со сквозными отверстиями формула (2) примет вид

$$F = \prod_{i=1}^n \frac{\frac{S_{\text{отв}}}{S_{\phi}} + \left(1 - \frac{S_{\text{отв}}}{S_{\phi}}\right) \exp(-m_{\text{фх}} \cdot h_{\phi})}{\frac{S_{\text{отв}}}{S_{\phi}} + \left(1 - \frac{S_{\text{отв}}}{S_{\phi}}\right) \exp(-m_{\text{гобр}} \cdot h_{\phi})}, \quad (3)$$

где $\frac{S_{\text{отв}}}{S_{\phi}}$ – отношение площадей отверстий и фильтра;

$m_{\text{фх}}$, $m_{\text{гобр}}$ – линейные коэффициенты ослабления гамма-излучения веществом фильтра при энергиях $E_{\text{гх}}$ и $E_{\text{гобр}}$;

h_{ϕ} – толщина фильтра.

На рис. 3 приведена зависимость ЭЗЧ в случае использования различных компенсационных фильтров.

Из представленного графика следует, что в случае использования компенсационных фильтров из алюминия при заданной толщине нижняя граница диапазона измерения начинается с 0,03 МэВ, а из железа – с 0,08 МэВ.

Сочетание компенсационных фильтров из различных материалов с отверстиями позволяет компенсировать ЭЗЧ, однако лишь в достаточно узком энергетическом диапазоне 0,05...1,00 МэВ.

Таким образом, существующие методы корректировки ЭЗЧ сводятся к подбору компенсационного фильтра с рассчитанными параметрами - материалом фильтра и степенью перфорации. Поэтому для покрытия всего предложенного энергетического диапазона 0,01...10 МэВ в настоящее время приходится использовать несколько детекторов, рассчитанных на работу в различных энергетических диапазонах.

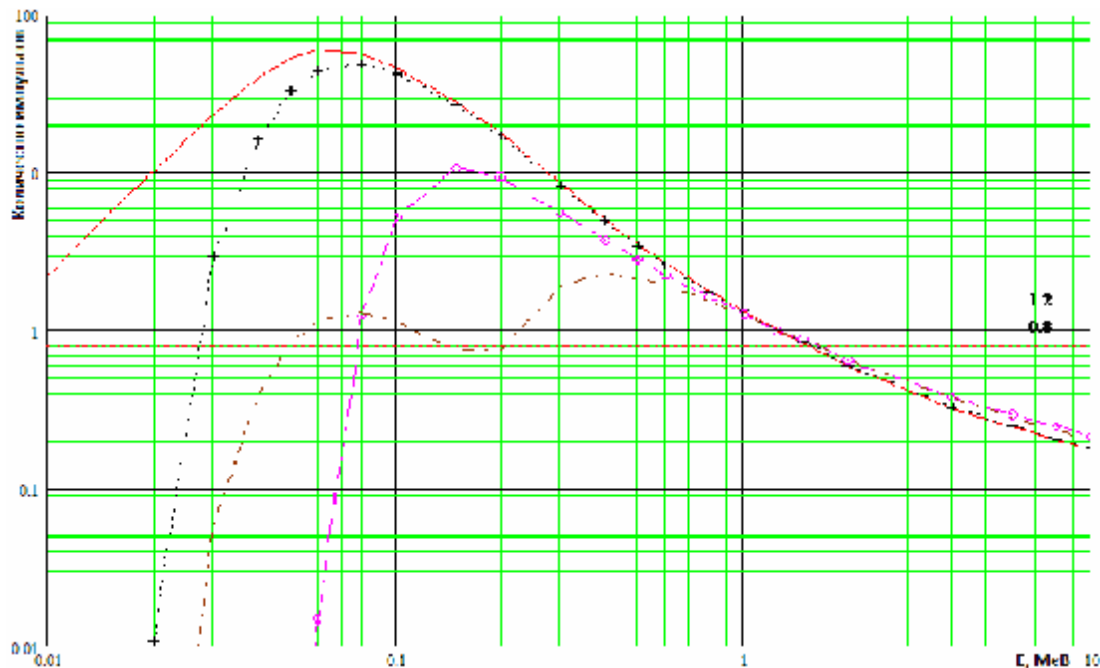


Рис. 3. ЭЗЧ ПП с различными компенсационными фильтрами и их сочетанием:

- — ЭЗЧ ПП без фильтра;
- +++ — ЭЗЧ ПП с фильтром из алюминия, 1 мм;
- ⊕⊕⊕ — ЭЗЧ ПП с фильтром из железа, 1 мм;
- — ЭЗЧ ПП с сочетанием фильтров из свинца и алюминия, 1 мм

Кардинальным решением проблемы ЭЗЧ является введение в прибор спектрометра, который измеряет энергию каждого гамма-кванта и вносит поправку на ЭЗЧ детектора [5].

Предлагаемый метод автоматической компенсации ЭЗЧ сводится к расчету поправочных коэффициентов для детектора с заданными характеристиками по формуле (3) и дальнейшей загрузки их в разработанное схмотехническое устройство – широкодиапазонный гамма-спектрометр повышенной точности [3, 5, 9]. Предложенный метод автоматической компенсации ЭЗЧ позволяет не только повысить точность измерения уровней гамма-излучения, но и расширить энергетический диапазон измерения уровней гамма-излучения 0,01...10 МэВ [3, 9].

Разработано схмотехническое решение – амплитудный анализатор широкодиапазонного гамма-спектрометра повышенной точности, – реализующее предложенный метод повышения точности измерения уровней гамма-излучения, позволяющее измерять спектр, дозу и мощность дозы гамма-излучения во всем энергетическом диапазоне 0,01...10 МэВ с заданной точностью в масштабе реального времени [3].

Решение технической задачи достигается путем использования вероятностной формы представления данных, что, в свою очередь, позволило значительно уменьшить аппаратный объем разрабатываемого устройства и увеличить его помехозащищенность за счет свойства интегрирования помехи [5, 9].

Предлагаемая функциональная схема вероятностного амплитудного анализатора сцинтилляционного спектрометра изображена на рис. 4.

В состав схемы входят:

- аналоговая схема сравнения (АСхС);
- генератор тактовых импульсов (ГТИ);
- Q разрядная цифровая схема сравнения (ЦСхС);
- генератор псевдослучайных равномерно распределенных чисел (ГПРРЧ);
- счетчик количества испытаний;
- блок мультиплексирования (БМ), состоящий из Q логических элементов «ИЛИ» на L входов;
- счетчик реального времени (СЧРВ);
- L логических элементов, выполняющих суммирование по модулю 2 (mod2);
- блок логических элементов;
- L регистров памяти на Q разрядов, хранящих поправочные коэффициенты в цифровом позиционном коде (Рг);
- L+2 двоичных накопительных счетчиков результатов измерений, где L – число поддиапазонов измерения.

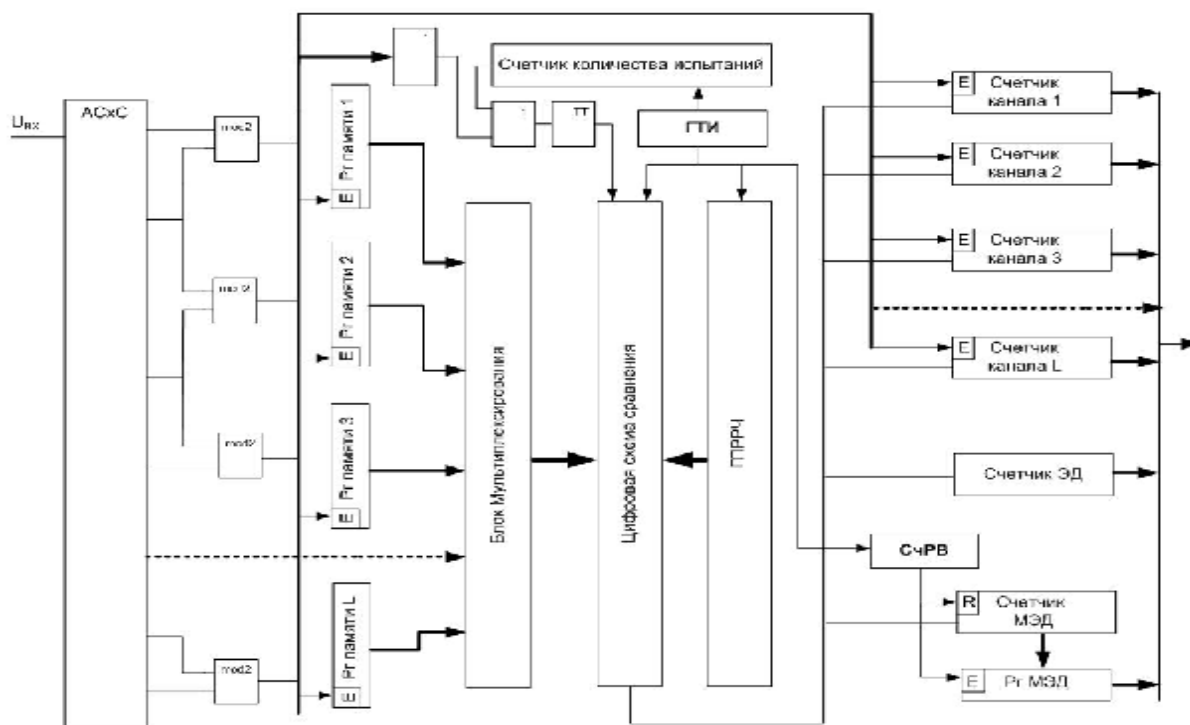


Рис. 4. Функциональная схема вероятностного амплитудного анализатора широкодиапазонного гамма-спектрометра повышенной точности

Произведено моделирование работы разработанного амплитудного анализатора широкодиапазонного гамма-спектрометра повышенной точности, результаты которого полностью согласуются с теоретическими изысканиями [5, 3].

Измерения начинаются после подачи на схему электропитания и программирования блока L регистров памяти. Ионизирующее излучение, взаимодействуя с веществом детектора, вызывает в нем сцинтилляции, по интенсивности пропорциональные энергии ионизирующих частиц. За счет оптической связи сцинтилляций с катодом ФЭУ на

последнем формируются электрические импульсы, амплитуда которых пропорциональна интенсивности отдельных сцинтилляций, то есть энергии ионизирующих частиц. Эти импульсы с выхода ФЭУ усиливаются предусилителем, который, как и сцинтиллятор и ФЭУЮ, на схеме не показан и передается на вход амплитудного селектора, выполняющего функцию преобразователя амплитуды в унитарный L -разрядный двоичный код, где L – число поддиапазонов измерения.

АСХС представляет собой амплитудный селектор, выполняющий функцию преобразователя амплитуды в унитарный L -разрядный двоичный код, где L – число поддиапазонов измерения. Таким образом, каждой амплитуде импульса с выхода ФЭУ будет соответствовать «своя единица» на выходе i -го сумматора по $\text{mod}2$, где $i = 1, 2, \dots, L$. Эта «единица», подается на разрешающий вход i -го регистра памяти, хранящего поправочный коэффициент, после чего значение поправочного коэффициента через блок мультиплексирования попадает на первые параллельные входы цифровой схемы сравнения. На вторые входы ЦСХС подается значение с ГПРРЧ, в результате чего происходит вероятностное преобразование значений поправочных коэффициентов. Эта же «единица» через L входовую схему «ИЛИ» переключает счетный Т-триггер в единичное состояние, подавая разрешающий сигнал на ЦСХС и тем самым начиная подцикл измерения. Эта же «единица» подается на разрешающий вход счетчика i -го канала. Вероятностные отображения с выхода ЦСХС поступают через элементы «ИЛИ» на счетчики-интеграторы, счетчик экспозиционной дозы (ЭД) и через счетчик реального времени на счетчик мощности экспозиционной дозы (МЭД).

С каждым импульсом с ГТИ значение в счетчике количества испытаний инкрементируется на 1, при достижении значения, равного K , счетчик количества испытаний вырабатывает сигнал обнуления, который, проходя через схему «ИЛИ», переключает счетный Т-триггер в нулевое состояние, заканчивая тем самым подцикл измерения.

После окончания измерений на параллельных выходах счетчиков-интеграторов, соответствующих каждому энергетическому каналу, будет находиться энергетический спектр измеряемого сигнала: на выходе счетчика-интегратора ЭД – экспозиционная доза, а на выходе счетчика-интегратора МЭД – мощность экспозиционной дозы в заданную единицу времени.

В целях проверки работоспособности предложенного метода повышения точности измерения дозы и мощности дозы гамма-излучения за счет автоматической компенсации ЭЗЧ во всем энергетическом диапазоне измерения 0,01...10 МэВ проведено моделирование его работы в разработанном программном продукте, написанном на языке Delphi, позволяющем задавать различные параметры входного сигнала и выбирать количество каналов от 8 до 32768 [6].

Моделируемый широкодиапазонный спектрометр повышенной точности имеет 32 энергетических канала и построен по схеме, приведенной в [5], энергетический диапазон измерения 0,01...10 МэВ.

Каждый энергетический канал соответствует своему энергетическому диапазону. Таким образом, измеряя активность в каждом энергетическом канале, мы определяем спектр, дозу и мощность дозы гамма-излучения. Для повышения точности измерения дозы и мощности дозы гамма-излучения необходимо учесть дополнительную погрешность за счет ЭЗЧ, которая, как было показано ранее, может как завышать, так и занижать значение активности в энергетическом канале.

На рис. 5 показана корректировка энергетического спектра входного сигнала согласно алгоритму работы предложенного спектрометра во всем диапазоне с помощью заранее рассчитанных значений в соответствии с разработанной методикой повышения точности измерений гамма-излучения при радиационном контроле [3 - 6].

На графике (рис. 5) светлые столбцы соответствуют энергетическому спектру до коррекции ЭЗЧ, темным цветом отмечен выходной спектр после автокомпенсации ЭЗЧ во всем энергетическом диапазоне.

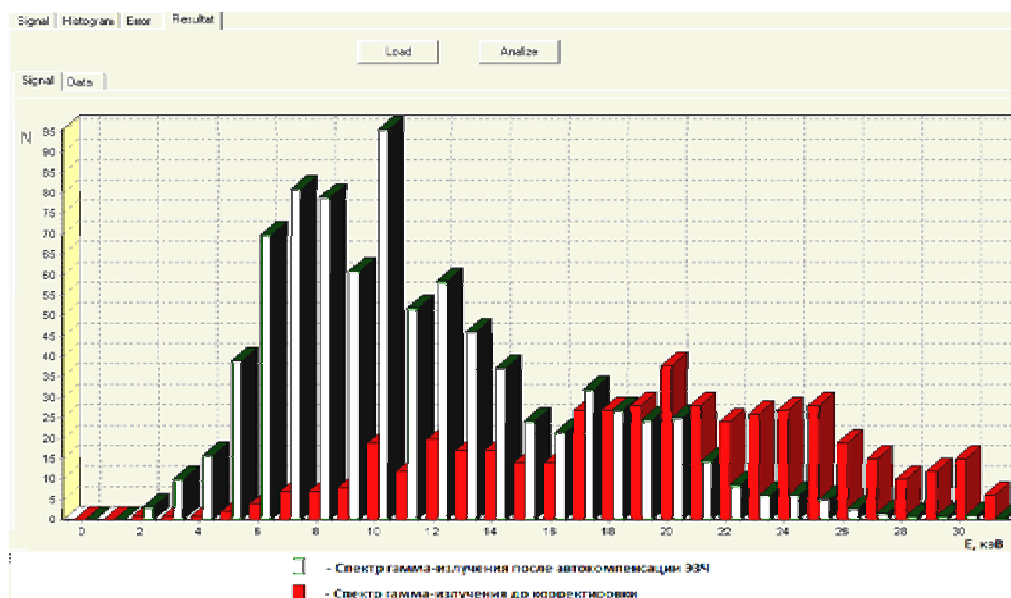


Рис. 5. Энергетический спектр исходного и откорректированного сигнала

Как видно из рис. 5, эффективность использования предложенного широкодиапазонного спектрометра повышенной точности, реализующего предложенный метод повышения точности измерения дозы и мощности дозы гамма-излучения, проявляется во всем энергетическом диапазоне, что позволяет конструировать СИТ гамма-излучения с расширенным энергетическим диапазоном.

Выводы

В работе решена важная научно-практическая задача повышения точности измерения гамма-излучения при радиационном контроле на АЭС на основании разработанного широкодиапазонного гамма-спектрометра повышенной точности, который реализует метод автоматической компенсации ЭЗЧ во всем энергетическом диапазоне измерения 0,01...10,0 МэВ, работает в масштабе реального времени и обладает малым аппаратным объемом.

На основании проведенных исследований получены следующие научные и практические результаты:

- установлено, что основным фактором внешнего радиационного воздействия на АЭС в штатном режиме работы и в аварийных ситуациях является гамма-излучение с суммарным вкладом в общую радиоактивность $\approx 85\%$, с непрерывным энергетическим спектром в диапазоне 0,01...10 МэВ, в котором и предлагается производить радиационный контроль;

- установлено, что существующий парк СИТ гамма-излучения зачастую не покрывает даже нормативный энергетический диапазон 0,01...3,0 МэВ, в случае использования данных СИТ для измерения дозы и мощности дозы гамма-излучения в предложенном энергетическом диапазоне приводит к дополнительным погрешностям измерения, разбросу результатов, значительным погрешностям при градуировочных и поверочных операциях;

– доказано, что существующие методы корректировки ЭЗЧ сводятся к подбору и сочетанию компенсационных фильтров с рассчитанными параметрами - материалом фильтра и степенью перфорации, однако данный подход позволяет компенсировать ЭЗЧ лишь в очень узком энергетическом диапазоне и не охватывает весь необходимый диапазон 0,01...10 МэВ;

– разработан метод автоматической компенсации ЭЗЧ во всем предложенном энергетическом диапазоне 0,01...10 МэВ за счет введения поправочных коэффициентов, позволяющий повысить точность измерения больше чем на 200 %. Разработан программный пакет, реализующий данный метод в целях расчета поправочных коэффициентов ЭЗЧ для детекторов с заданными характеристиками;

– предложено и реализовано схемотехническое решение – амплитудный анализатор широкодиапазонного гамма-спектрометра повышенной точности, позволяющее измерять спектр, дозу и мощность дозы гамма-излучения во всем предложенном энергетическом диапазоне 0,01...10 МэВ с заданной точностью в масштабе реального времени;

– предложено применение вероятностной формы представления данных, что позволило значительно уменьшить аппаратный объем вероятностного широкодиапазонного гамма-спектрометра повышенной точности.

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ГАМА-ВИПРОМІНЮВАННЯ ПРИ РАДІАЦІЙНОМУ КОНТРОЛІ

Д.В. Моїсєєв

Виконано аналіз даних щодо радіаційних умов на АЕС і виявлені основні чинники зовнішнього радіаційного впливу. Показано, що існуючі ЗВТ гамма-випромінювання в реальних умовах доводиться використовувати в розширеному енергетичному діапазоні.

Для підвищення точності вимірювання з одночасним розширенням енергетичного діапазону рівнів гамма-випромінювання запропоновано метод автоматичної компенсації додаткової похибки за рахунок ЕЗЧ у всьому діапазоні вимірювання в масштабі реального часу шляхом введення заздалегідь розрахованих поправкових коефіцієнтів. Виконано моделювання роботи запропонованого рішення схемотехніки.

UPGRADING of GAMMA-RADIATION MEASUREMENTS EXACTNESS at the RADIATION MONITORING

D. Moiseev

The NPP' radiation conditions data were analyzed. The basic factors of external radiation influence were revealed. The existing gamma-radiation measuring means in the real conditions are shown to be used in the extended power range.

For the upgrading the measuring exactness with the simultaneous expansion of the power gamma-radiation levels range, the method of the automatic compensation of the additional error was suggested due to power dependence of sensitivity in all measuring range in the scale of the real time by introduction of the beforehand expected correction coefficients. The introduced circuit device work was modelled.

Список использованных источников

1. *Носовский А.В.* Дезактивация: монография // А.В. Носовский, В.М. Гавриш, А.А. Ключников, Д.А. Ткачев. – К.: Основа, 2009. – 304 с.
2. *Носовский А.В.* Вопросы дозиметрии и радиационная безопасность на АЭС / А.В. Носовский. – Славутич: Укратомиздат, 1998. – 402 с.
3. *Афанасьев А.В.* Пути решения проблемы анализа изотопного состава радиоактивных инертных газов и аэрозолей в практике радиационной безопасности / А.В. Афанасьев, Н.Е. Сапожников, Д.В. Моисеев // Зб. наук. пр. СНУЯЕтаП. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2008. – Вып. 4 (28). – С. 63 – 67.

4. *Моисеев Д.В.* Разработка метода автоматической компенсации энергетической зависимости чувствительности / Д.В. Моисеев, Л.И. Лукина // Зб. наук. пр. СНУЯЕтаП. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2011. – Вып. 2 (38). – С. 124 – 130.
5. *Сапожников Н.Е.* Вероятностный широкодиапазонный спектрометр повышенной точности / Н.Е. Сапожников, Д.В. Моисеев // Вісник СевНТУ. Серія інформатика, електроніка, зв'язок. — Севастополь: СевНТУ, 2011. — Вып. 114. – С. 119 – 122.
6. *Сапожников Н.Е.* Моделирование работы широкодиапазонного спектрометра повышенной точности / Н.Е. Сапожников, Д.В. Моисеев // Зб. наук. пр. СНУЯЕтаП. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2009. – Вып. 2 (30). – С. 170 – 175.
7. ДСТУ 3231 – 95. Метрологія. Еталони державні та вторинні одиниць вимірювань. Основні положення, порядок розроблення, затвердження, реєстрації, зберігання та застосування: – 80 с.
8. ГОСТ 27451 - 87. Средства измерений ионизирующих излучений. Термины и определения: - М.: Изд-во стандартов, 1987.
9. *Моисеев Д.В.* Усовершенствование спектрометрического контроля в практике радиационной безопасности на предприятиях ЯТЦ / Д.В. Моисеев, Л.И. Лукина // Зб. наук. пр. СНУЯЕтаП. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2010. – Вып. 4 (36). – С. 94 – 101.

Надійшла до редакції 11.06.13 р.

УДК 621.175.3:556.55:005.1

ВОДОЕМ-ОХЛАДИТЕЛЬ КАК ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ЗАПОРОЖСКОЙ АЭС

Ф.Д. Пряшников, Н.В. Бейнер, П.С. Бейнер

Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности

Проанализирован принцип движения и эффективность охлаждения циркуляционных вод в линейных гидротехнических сооружениях (ГТС) Запорожской АЭС. Построена структура системы управления ГТС, предложены пути ее совершенствования. Обосновано применение теории идентификации при прогнозировании гидротермических показателей пруда-охладителя ЗАЭС.

Введение

Охлаждающая способность линейных гидротехнических сооружений, работающих в циклах оборотного водоснабжения АЭС, оказывает непосредственное влияние на вакуум в конденсаторах турбин и, следовательно, на уровень эффективности использования топлива. Линейные ГТС предназначены для отвода тепла от конденсаторов турбин, вспомогательного оборудования турбинных отделений и оборудования неотчетливых потребителей станции, а также для охлаждения и подвода охлажденной воды к блочным насосным станциям [1]. Возникает необходимость в нормировании основного показателя работы гидроохладителей – температуры охлажденной воды в зависимости от режимных условий эксплуатации и метеорологических факторов [2].