

Анализ акустических исследований образцов-темплетов материала корпусов ВВЭР-440 первого поколения и образцов-свидетелей корпусов ВВЭР-1000 показал:

в исходном состоянии скорость упругих волн совпадает (в пределах погрешности измерения). Об этом свидетельствуют результаты, полученные как на образцах-темплетах, так и на образцах-свидетелях;

характеристики упругих волн чувствительны к флюенсу нейтронов и радиационному охрупчиванию — скорость упругих волн возрастает;

скорость упругих волн в основном металле выше, чем в металле сварного шва;

изменение химического состава при близкой дозе облучения для испытанных образцов не влияет на скорость упругих волн. Скорость меняется в пределах погрешности измерения.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что акустический способ перспективен как неразрушающий метод количественной оценки

механических свойств материала корпусов АЭС с ВВЭР-440, -1000.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штромбах Я.И. Радиационный ресурс металла корпусов действующих ВВЭР. — Атомная энергия, 2005, т. 98, вып. 6, с. 460—472.
2. Николаев А.В., Николаев Ю.А., Кеворкян Ю.Р. Экспериментально-статистический анализ радиационного охрупчивания материалов корпусов ВВЭР-440. — Там же, 2001, т. 90, вып. 4, с. 260—267.
3. Николаев А.В., Николаев Ю.А., Кеворкян Ю.Р. Радиационное охрупчивание материалов корпусов ВВЭР-1000. — Там же, 2001, т. 90, вып. 5, с. 271—276.
4. Левитан Л.Я., Федорченко А.Н., Шарко А.В. Влияние режимов термообработки на акустические характеристики углеродистых сталей. — Дефектоскопия, 1980, № 9, с. 52—57.
5. Неразрушающий контроль. Справочник. Т. 3, 4. Под ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 2004. 864 с.
6. Митенков Ф.М., Углов А.Л., Пичков С.Н., Попцов В.М. О новом методе контроля повреждаемости материала оборудования ЯЭУ и аппаратно-программных средствах для ее реализации. — Проблемы машиноведения и надежности машин, 1998, № 3, с. 3—9.

Поступила 6.09.07

В окончательной редакции 17.12.08

УДК 539.1.074.3

ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОЙ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ ВЫБРОСА АЭС

Королев С.А., Лаврухин Ю.Е., Румянцев О.В. (ГЕОХИ им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва)

В большинстве действующих АСКРО АЭС в качестве средства контроля радиоактивного выброса используют интегральные дозиметры. Низкая дозовая чувствительность ($\sim 600 \text{ мкР}^{-1}$) и невозможность самостоятельной классификации обнаруживаемых аномалий вынуждают разработчиков таких систем переходить на более чувствительные γ -спектрометрические средства измерений ($55\,000 \text{ мкР}^{-1}$ и более) [1]. Оценки прогнозируемой дозы облучения в случае аварийного выброса базируются на принятой модели переноса и рассеяния примеси в приземной атмосфере, позволяющей оценивать поле приземной концентрации радионуклидов. В качестве входной информации для расчета необходимы в том числе данные о количестве и составе техногенных радионуклидов, поступивших в окружающую среду. Большую часть спектрометров для контроля выброса устанавливают

сегодня в технологическом оборудовании АЭС [2]. Более точные оценки фактических выбросов, а также контроль радиационных параметров струи выброса в режиме on-line для применения в модели можно получить, используя результаты дистанционной спектрометрии струи [1]. Это позволяет повысить точность расчетного прогноза, получать и накапливать в условиях нормальной эксплуатации АЭС данные о выбросе радиоактивных благородных газов и иода в непрерывном режиме, контролировать временные и радиационные параметры санкционированных выбросов, радиационных инцидентов и аварий.

В настоящей статье рассмотрены методические вопросы применения дистанционной гамма-спектрометрии для радиационного мониторинга выброса АЭС и обнаружения трансграничного переноса продуктов аварии, опробованной в ходе разработки и опытной эксплуата-

ции элементов информационно-измерительной системы «Спайдер» производства ЗАО «КонверСиа» [1].

Требования к основным характеристикам гамма-спектрометров. При использовании дистанционной гамма-спектрометрии для контроля выбросов измеряют радиационные характеристики γ -поля, создаваемого радионуклидами струи, которая на небольшом (до 1,5 км) удалении от вентиляционной трубы АЭС имеет хорошо определенные поперечные размеры, слабо зависящие от состояния устойчивости атмосферы. Для постоянства геометрии измерения и улучшения отношения сигнал/фон спектрометр размещают в цилиндрическом свинцовом коллиматоре, обеспечивающем обзор верхнего полупространства в постоянном телесном угле. В результате измерений получают аппаратурный энергетический спектр γ -излучения, который после соответствующей математической обработки может быть преобразован в энергоугловое распределение потока γ -излучения, падающего на спектрометр. Это дает возможность при использовании соответствующих моделей рассчитать объемную активность основных радионуклидов струи и оценить дозовые характеристики поля излучения.

При использовании гамма-спектрометров в системах мониторинга приземного слоя атмосферы измерения проводят в дальней зоне выброса в условиях, когда объемный источник можно считать бесконечным полупространством и нет необходимости применять коллимацию. Сопоставление результатов мониторинга с данными синоптических наблюдений позволяет оценивать пути переноса и вероятное местоположение источника поступления техногенных радионуклидов в атмосферу.

Диапазон изменения объемной активности радионуклидов в струе выброса в зоне наблюдения АЭС в зависимости от ситуации (нормальная/аварийная) может составлять несколько порядков, что ограничивает применение одного измерительного средства. В настоящей статье рассмотрено использование спектрометров, обеспечивающих диапазон регистрации техногенных радионуклидов на уровне от минимальной измеряемой активности ($A_{\min}$) до соответствующей уровню вмешательства $\sim 1,4$ мР/ч (≤ 10 мЗв в месяц согласно п. 6.4 НРБ-99). Результатом обработки спектрометрической информации является объемная активность иден-

тифицированных радионуклидов струи в месте контроля. Эти результаты могут быть использованы в качестве входных данных для решения обратной задачи: при использовании соответствующей модели переноса консервативной радиоактивной примеси получить оценки мощности выброса [3].

Как показывает статистика, большинство радиационных инцидентов на АЭС классифицируют по Международной шкале ядерных событий первым или вторым уровнем. Лишь иногда происходят инциденты с незначительным выбросом радиоактивного пара или радиоактивных благородных газов в атмосферу. В процессе нормальной эксплуатации АЭС могут происходить планируемые повышенные выбросы техногенных радионуклидов в атмосферу, например, при ремонтных работах на реакторе, которые проводят при соответствующих метеоусловиях и прогнозе радиационных последствий выброса. Эти выбросы, как правило, создают в зоне наблюдения приземную концентрацию, всего в несколько раз превышающую среднегодовую [4]. Поэтому измерительные параметры спектрометров и программные средства обработки спектров $N(E)$ должны обеспечивать их применение и в индикаторном режиме (на уровне ниже $A_{\min}$) для принятия решения о наличии в приземном слое атмосферы техногенных радионуклидов. При этом решение должно быть принято за приемлемое время не только с высокой вероятностью правильного обнаружения (на уровне 0,7—0,8), но и с низкой частотой ложных тревог, равной, например, одной за смену. Как показывает опыт, такой режим контроля выброса в зоне наблюдения АЭС и в дальней зоне при обнаружении трансграничного переноса техногенных радионуклидов может оказаться доминирующим.

Основными параметрами, определяющими измерительные возможности спектрометра, являются его чувствительность к определяемым радионуклидам в используемой геометрии измерения (в общем случае — функция чувствительности) и минимальная измеряемая активность.

Ранее проведенные оценки чувствительности спектрометров с кристаллами NaI(Tl) разных размеров показали, что с точки зрения экономических затрат, необходимых для получения приемлемых характеристик обнаружения и классификации техногенных радионуклидов объемной

активностью, близкой к минимально измеряемой $A_{\min}$, оптимальным является размер 80×80 мм, но возможен и размер 63×63 мм. При регистрации γ -квантов энергией, близкой к средней энергии аварийных продуктов выброса (700—900 кэВ), увеличение размера кристалла приводит к небольшому росту эффективности $S_{\text{ППП}}/m$, где m — масса кристалла; $S_{\text{ППП}}$ — чувствительность по характерным линиям радионуклидов для указанного диапазона, значительно повышает затраты на изготовление спектрометра и уменьшает верхнюю границу диапазона измерения мощности выброса в аварийных условиях вследствие более быстрого роста входной статистической загрузки спектрометра [5].

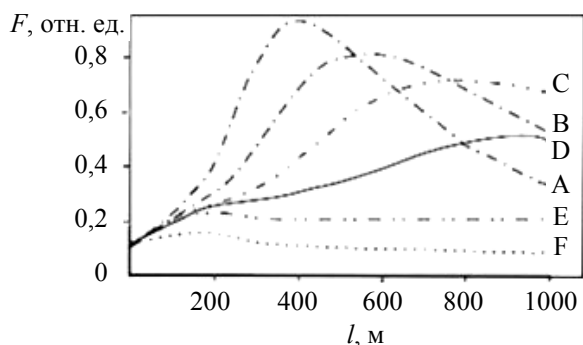
В силу невозможности создания объемных источников больших размеров и разнообразного радионуклидного состава оценку чувствительности для различных условий измерения получают расчетным путем с помощью различных моделей. Такие теоретические оценки для некоторых радионуклидов и кристаллов различных размеров были выполнены с использованием созданного в ЗАО «КонверСиа» специального программного комплекса CLOUD-GAUSS-LINE [5]. Необходимо отметить, что реальные значения чувствительности конкретных спектрометров могут отличаться от теоретических оценок до 1,5 раза [1].

При измерении радиационных параметров струи выброса чувствительность спектрометра, в общем случае, не является постоянной. Она зависит от расстояния до источника выброса, высоты стратифицированной струи над спектрометром, азимута взаимного расположения оси струи и направления на спектрометр, горизонтальных и вертикальных параметров струи в телесном угле обзора коллиматора. Эта неопределенность преодолевается ограничением дальности расположения контура контроля вокруг вентиляционной трубы АЭС, применением количества спектрометров, обеспечивающих сплошное перекрытие коллимированных областей обзора над контуром контроля, использованием метеоинформации для оценки типа устойчивости приземного слоя атмосферы и выбором для этих условий модельных оценок соответствующих радиационных параметров из базы данных измерений.

С помощью упомянутого программного комплекса нами были проведены оценки минимальной измеряемой активности $A_{\min}$ и предель-

ных возможностей спектрометров с кристаллами NaI(Tl) различных размеров [5]. Так, для спектрометра с кристаллом 63×63 мм, условий реального фона на высоте 1 м и времени экспозиции 15 мин $A_{\min} (^{131}\text{I}) = 6\text{—}8 \text{ Бк/м}^3$, $A_{\min} (^{137}\text{Cs}) = 4\text{—}6 \text{ Бк/м}^3$. Такие значения $A_{\min}$ можно рассматривать в качестве нижней границы диапазона определения концентрации этих радионуклидов в приземной атмосфере для указанных условий измерения. Верхнюю границу диапазона измерения определяли по допустимой максимальной входной статистической загрузке спектрометра. Для спектрометра СЕГ-017 информационно-измерительной системы «Спайдер» с кристаллом NaI(Tl) размером 63×63 мм она составляет не более 10 тыс. имп./с. Оценки показали, что указанная нагрузка возникает при выбросах, которые приводят к образованию в струе над точкой контроля объемной активности $A_{\min}$, создающей в месте расположения спектрометра мощность дозы 10—20 нГр/с. Такую мощность дозы создает любой из радионуклидов ^{131}I , ^{137}Cs или ^{41}Ar при объемной активности в струе 5—8 кБк/м³.

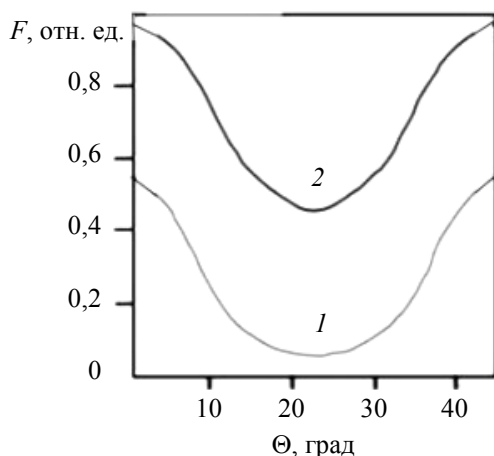
Особенности методики радиационного контроля при использовании дистанционной спектрометрии. При дистанционном радиационном контроле определению подлежит объемная активность техногенных радионуклидов в газоаэрозольной струе выброса в диапазоне концентрации $A_{\min}$ — $A_{\max}$, который зависит от характеристик спектрометра и методики выполнения измерений. Выброс контролируют путем непрерывной регистрации плотности потока γ -излучения спектрометрами, размещенными по контуру контроля вокруг вентиляционной трубы в пределах промплощадки АЭС или на границе санитарной защитной зоны. Расстояние контура от трубы выбирается из соображений, что поток γ -квантов струи в зависимости от класса устойчивости метеопараметров минимизируется на расстоянии $l \sim 500\text{—}800 \text{ м}$. Это иллюстрирует рис. 1. На таком расстоянии влияние турбулентного осаждения аэрозолей выброса, вымывание их осадками и изменение агрегатных форм считают незначительными. В расчетах обычно принимают, что пространственная структура струи и направление оси ее распространения определяются силой и направлением ветра, температурой воздуха и классом устойчивости метеопараметров.



Р и с. 1. Изменение относительной интенсивности потока прямого излучения ^{131}I в зависимости от расстояния для разных классов устойчивости приземного слоя атмосферы

При использовании дистанционной спектрометрии для контроля трансграничного переноса спектрометры устанавливают на площадках сети метеонаблюдений или на специальных площадках, которые размещают на пути вероятного движения воздушных масс с территории сопредельных государств, имеющих потенциальные аварийные радиационно опасные объекты.

Оценки плотности потока γ -квантов на расстоянии 500—2000 м от вентиляционной трубы показали, что угловое расстояние между спектрометрами на контуре контроля относительно вентиляционной трубы должно быть не более 45° . На рис. 2 для двух соседних спектрометров, расположенных на угловом расстоянии 45° один от другого, приведена зависимость плотности потока γ -квантов струи, стратифицированной на высоте 150 м, от угла между направлением ветра (осью струи) и на один из спектрометров. Для контуров, находящихся от трубы на расстоянии 500 и 2000 м, плотность потока γ -квантов максимальна, когда ось струи направлена на спек-



Р и с. 2. Зависимость плотности потока γ -квантов в соседних точках контура контроля от азимута распространения струи для расстояния от трубы 500 (1) и 2000 м (2)

рометр в точке контроля, и ослабевает в 2 раза, когда ось направлена между спектрометрами.

Рассчитанные кривые энергоугловой зависимости чувствительности для спектрометра с кристаллом NaI(Tl) размером 80×80 и 63×63 мм показывают, что выброс через вентиляционную трубу или минуя очистные сооружения АЭС уверенно регистрируется при размещении на контуре контроля 19 спектрометров, коллимированных вертикально вверх с апертурой 90° и находящихся на расстоянии 500—900 м от вентиляционной трубы АЭС (минимальное число спектрометров равно восьми с апертурой 120°).

Методика измерений информационно-измерительной системой «Спайдер» предусматривает одновременную регистрацию показаний всех спектрометров постов контроля за заданное время экспозиции с последующей передачей γ -спектров по информационным каналам (радио, телефон, кабель) на сопряженный компьютер. Программное обеспечение такого компьютера осуществляет управление работой спектрометров, обработку получаемых спектров, их архивацию и представление результатов пользователям. Измерения выполняются регулярными циклами: по завершении времени экспозиции управляющая программа проводит опрос спектрометра и передает на сопряженный компьютер пакет данных, накопленных в многоканальном анализаторе с момента предыдущего опроса вместе с протокольной и маркерной информацией. Опрос осуществляется последовательно. В случае радиационной тревоги, переполнения каналов анализатора, несанкционированного доступа или перехода на резервное питание спектрометр самостоятельно выходит на внеочередной сеанс связи. По завершении опроса всех спектрометров компьютер определяет на основе метеоданных их положение относительно оси выброса и устанавливает те, γ -спектры которых могут отличаться от фоновых за счет регистрации γ -излучения, обусловленного радионуклидами струи. Измерения остальных спектрометров интерпретируются как фоновые.

Параметры спектрометра обеспечивают линейность его характеристики преобразования в диапазоне энергии γ -квантов 50—3000 кэВ. Поскольку в алгоритмы обнаружения заложены статистические критерии оценки изменения счетности в энергетических диапазонах, для уменьшения влияния нестабильности аппаратуры на ложные срабатывания линейность и ста-

бильность характеристик преобразования контролируются автоматически после каждого измерения анализом положения реперных пиков ^{40}K и ^{208}Tl собственного фона кристалла NaI(Tl) и встроенного источника ^{241}Am . При выходе характеристики преобразования за допустимые границы проводится автоматическая корректировка усилительного тракта спектрометра.

Спектры обрабатываются по общепринятым программам, включая предварительный поиск пиков (формирование списка пиков) с использованием статистических методов, определение статистической достоверности обнаруженных пиков по установленным в программе приоритетам и критериям, идентификацию пиков, расчет объемной активности и погрешности результатов измерений с использованием смоделированных методом Монте-Карло эталонных спектров идентифицированных радионуклидов, визуализацию и архивацию полученных результатов. Результаты обработки спектров накапливаются в принятой форме в базе данных.

Специфика использования алгоритма обнаружения в индикаторном режиме связана со сложным характером временной изменчивости фона: наряду со стохастической составляющей присутствует составляющая, связанная с суточной изменчивостью метеопараметров. Экспериментальные данные свидетельствуют, что в среднем при отсутствии осадков временной интервал 2,5—3 ч можно принять за интервал стационарности основных параметров устойчивости атмосферы. Этот временной интервал в форме 11—12 спектров при экспозиции 15 мин может быть использован в качестве базового, на котором оцениваются статистические характеристики фоновой выборки счетностей в энергетических диапазонах регистрации основных линий техногенных радионуклидов. Адаптация алгоритма проводится в процессе расчета характеристик фоновых выборок на последовательных интервалах стационарности. При анализе данных в индикаторном режиме используется разработанный в ГЕОХИ РАН алгоритм «Матрос» — дискриминационная процедура обнаружения на интервале стационарности изменения статистических характеристик регистрируемой интенсивности γ -квантов по наблюдаемым реализациям счетностей. Выявляемые алгоритмом аномалии счетности фиксируются в базе данных с указанием энергетического диапазона, времени начала и конца срабатывания алгоритма,

мощности аномалии в единицах среднеквадратического отклонения базового фона и передаются на уровень обработки, анализа и принятия решения.

Оценка выброса и ее погрешность. В программе оценки мощности выброса АЭС используется его представление в виде Гауссовой стационарной струи, распространение которой определяется направлением и средней скоростью приземного ветра, распределение в ней радионуклидов — дисперсией геометрических размеров, зависящей от класса устойчивости метеопараметров. Для такого объемного источника плотность потока γ -квантов в месте размещения спектрометра пропорциональна объемной активности радионуклидов q_j , которая линейно связана с мощностью выброса Q_j .

При определении мощности выброса в условиях нормальной эксплуатации АЭС (выброс менее 7 ТБк/сут) использован матричный метод обработки спектров. С этой целью для набора радионуклидов, определяющих выбросы РБМК или ВВЭР, эффективной высоты выброса от 50 до 300 м при удалении спектрометра от основания вентиляционной трубы на 400—1600 м, отклонении положения спектрометра от оси струи до 400 м, класса устойчивости атмосферы А, В, С, D, Е методом Монте-Карло для сопряженного кинетического уравнения были рассчитаны формы линий спектрометра для единичного выброса конкретного радионуклида при единичной скорости ветра [6]. Расчет включал перенос γ -квантов в атмосфере вблизи границы раздела воздух—земля, а также в коллиматоре и кристалле спектрометра. Расчеты выполняли в два этапа. Сначала с использованием сопряженного метода Монте-Карло в точке нахождения спектрометра рассчитывали энергоугловое распределение плотности потока γ -квантов, которое затем использовали как источник для прямого моделирования формы линии в спектрометре с кристаллом NaI(Tl) конкретного размера. Полученный набор результатов собран в базу данных, позволяющую с помощью интерполяции определять ожидаемую форму линии для всех радионуклидов выброса при произвольных условиях измерения.

Для конкретных условий измерения вычисляется матрица Γ_{ij} , соответствующая ожидаемой скорости счета в i -м энергетическом диапазоне от единичной мощности выброса j -го радионуклида. Исходный спектр сворачивается в 8—

10 энергетических диапазонов, которые соответствуют границам расположения основных линий радионуклидов, образующих нормальные атмосферные выбросы. Ширину и положение этих диапазонов подбирали для получения наилучшей обусловленности матрицы.

Скорость счета ΔN_i в диапазонах можно, используя матрицу Γ_{ij} , связать системой линейных уравнений с мощностью выброса j -го радионуклида Q_j :

$$\Delta N_i = u^{-1} \sum_{j=1}^n \Gamma_{ij} Q_j, \quad (1)$$

где n — число идентифицируемых радионуклидов; i — номер энергетического диапазона; u — скорость приземного ветра. Левая часть уравнения (1) представляет собой разностный спектр, получаемый для данного спектрометра вычитанием его фонового спектра из спектра конкретного измерения.

Система уравнений (1) относительно неизвестной мощности выброса отдельных радионуклидов при нормальных условиях эксплуатации АЭС решается для ограниченного характерного набора радионуклидов, например, для РБМК это ^{135}Xe , $^{87,88}\text{Kr}$, ^{41}Ar . Переопределенная для устойчивости решения система уравнений методом наименьших квадратов сводится к определенной, которая затем решается методом Гаусса—Жордана [6].

При повышенном выбросе (более 7 ТБк за 2 ч) в процессе обработки спектров могут быть выделены пики полного поглощения характерных линий отдельных радионуклидов, что позволяет восстановить их абсолютное значение в выбросе. Метод выделения и идентификации пиков полного поглощения основан на стандартных методах прикладной гамма-спектрометрии. В качестве предварительного набора радионуклидов рассматриваются $^{135,138}\text{Xe}$, $^{87,88}\text{Kr}$, $^{131-135}\text{I}$, $^{134,137}\text{Cs}$. Энергетическая шкала спектра разбивается на неперекрывающиеся энергетические интервалы таким образом, чтобы в каждом был зарегистрированный пик, расположенный в середине интервала. Ширина интервала соответствует ширине пика в его основании для соответствующих смоделированных радионуклидов. Остальной энергетический диапазон разбивается на интервалы, ширина которых равна ожидаемой ширине пика в данных каналах в соответствии с разрешением спектрометра. Как и для случая нормального выброса, скорость счета

ΔN_i в этих интервалах можно через матрицу Γ_{ij} связать системой линейных уравнений, аналогичной (1), с мощностью выброса j -го радионуклида Q_j . Физический смысл и метод получения матричных элементов Γ_{ij} аналогичны рассмотренным.

После идентификации пиков система уравнений становится переопределенной, так как число интервалов больше числа радионуклидов. Она сводится к нормально определенной методом наименьших квадратов, затем решается методом Гаусса—Жордана относительно неизвестных Q_j подстановкой рассчитанных значений разностного спектра ΔN_i — значение площади идентифицированных пиков за вычетом фонового пьедестала.

Погрешность результата оценки мощности выброса в обоих случаях рассчитывается одинаково. Необходимо отметить, что в действующих нормативных документах предел допускаемой основной погрешности при прямых спектрометрических измерениях радиационных параметров струи выброса не регламентирован и согласно ГОСТу 29074—91 устанавливается по согласованию между заказчиком и разработчиком приборов.

Результатом расчетов, полученных по измеренным радиационным параметрам струи при нормальных условиях эксплуатации АЭС, является оценка мощности выброса отдельных радионуклидов Q_j с оценкой погрешности измерения [7]:

$$Q_j \pm \Delta Q_j = Q_j \pm l^{\pm} Q_j,$$

где l — относительная погрешность результата измерений в сторону больших (+) и меньших значений (–), которая обусловлена случайной составляющей $l_{\text{сл}}$ и погрешностью измерений $l_{\text{сис}}$, трактуемой как систематическая составляющая (погрешности калибровок, модельных расчетов и др):

$$l^{+} = \sqrt{l_{\text{сл}}^2 + (l_{\text{сис}}^{+})^2}; \quad l^{-} = \sqrt{l_{\text{сл}}^2 + (l_{\text{сис}}^{-})^2}.$$

Оценки показывают, что при скорости ветра не менее 2 м/с и доле отдельного радионуклида не менее 5% радионуклидный состав смеси $^{135,138}\text{Xe}$, ^{41}Ar , $^{85m,87,88}\text{Kr}$, $^{131-135}\text{I}$, $^{134,137}\text{Cs}$ в диапазоне $370-5,55 \cdot 10^4$ ГБк/ч (по суммарному выбросу) может быть определен с погрешностью не более 40%. Для уменьшения доли систематической погрешности необходимо проведение экспериментов по измерению параметров вы-

броса в контролируемых условиях, что не реализуемо на практике. Поэтому уменьшение систематической погрешности возможно по мере накопления и сопоставления экспериментальных данных дистанционной гамма-спектрометрии с другими методами контроля выброса.

Погрешность расчета мощности дозы, поглощенной в воздухе, по восстановленному спектру γ -излучения, падающего на спектрометр, не превышает по оценкам 30% в энергетическом диапазоне 0,1—3 МэВ для принятой в системе «Спайдер» модели однородного изотропного облучения кристалла в поле моноэнергетического γ -излучения или γ -излучения с непрерывным спектром.

Основными факторами, влияющими на погрешность результатов дистанционных измерений, являются ошибки в оценке высоты струи, ее действительного положения относительно детекторов и реальной геометрии. Учитывая, что истекающая струя газоаэрозольного выброса формируется под действием многих трудноучитываемых факторов (ландшафтных, климатических, радиогеохимических и др), приведенную погрешность оценки мощности дозы и мощности выброса техногенных радионуклидов можно считать удовлетворительной.

Выпадение осадков относится к процессу, существенно влияющему на обнаружение (индикаторный режим) и расчет приземной концентрации (режим измерения), так как обычно возрастает содержание дочерних продуктов радона в приземной атмосфере и соответственно увеличивается счетность в диапазоне регистрации техногенных радионуклидов. Используемые в условиях отсутствия осадков адаптационные процедуры для алгоритма «Матрос» перестают работать, что вынуждает во время выпадения осадков, а также в период релаксации вводить в программы запрет на корректировку базового фона. Поскольку осадки в аварийной ситуации могут помимо продуктов распада радона содержать и техногенные радионуклиды, данные измерений продолжают анализироваться как с помощью программ спектральной обработки, так и алгоритмом «Матрос» с использованием последнего базового фона, полученного до начала атмосферных выпадений (режим применения алгоритма обнаружения — «без адаптации»). Результаты обработки выводятся на монитор и поступают в базу данных с пометкой «осадки». Основная трудность при автоматизированной

обработке спектров в условиях атмосферных выпадений связана с недостаточной проработкой для сцинтилляционных спектрометров алгоритма разрешения дуплетов на составляющие пики радионуклидов природного и техногенного происхождения при измерении объемных источников.

В заключение следует отметить, что включение канала дистанционной гамма-спектрометрии в АСКРО приводит к некоторому усложнению ее регистрирующей и анализирующей аппаратуры и в целом увеличивает общую стоимость поста контроля. Однако это, по нашему мнению, оправдано существенным ростом объема и качества получаемых данных вместо простой констатации факта, что выброс не превышает нормы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Королев С.А., Лаврухин Ю.Е., Румянцев О.В.** Применение метода дистанционной гамма-спектрометрии в автоматизированных системах радиационного контроля ядерно опасных объектов и прилегающих территорий. — В сб.: Ядерное приборостроение-2007. Аппаратурное обеспечение ядерной и радиационной безопасности объектов Росатома. М., СНИИП, 2007, с. 247—250.
2. **Коротков А.С., Зеленин С.М., Рау Д.Ф. и др.** Оценка возможности контроля выброса с помощью измерительного канала мощности дозы и индикатора спектрометрического из состава АСКРО Волгодонской АЭС. — Ядерные измер.-информ. технol., 2004, № 2, с. 30—37.
3. **Лаврухин Ю.Е., Румянцев О.В.** Расчет и оценка характеристик гамма-спектрометров в системах измерения объемной активности выбросов АС. — В сб.: Ядерное приборостроение-2007. Аппаратурное обеспечение ядерной и радиационной безопасности объектов Росатома. М., СНИИП, 2007, с. 242—246.
4. **Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2003 году.** Ежегодник. СПб: Гидрометеиздат, 2004.
5. **Лаврухин Ю.А., Румянцев О.В.** Использование моделируемых источников для измерения радиационных выбросов и расчета характеристик гамма-спектрометров. — Атомная энергия, 2008, т. 104, вып. 3, с. 174—177.
6. **Борисов Н.М., Панин М.П.** Применение сопряженного метода Монте-Карло для расчета полей излучения приземных радионуклидных выбросов. — Известия вузов. Ядерная энергетика, 1995, № 5, с. 32—36.
7. **Методика радиационного контроля.** Общие требования. МИ 2453-2000. Гос. научный метрол. центр ВНИИФТРИ, Менделеево, 2000.