

сделать однозначные выводы о состоянии образцов в процессе термообработки. Это может быть использовано при выборе оптимальных режимов термообработки керамических изделий разного состава и геометрического размера.

Таким образом, экспериментально доказаны возможности использования сигналов акустической эмиссии, излучаемых в процессе формирования и остывания стеклогранул, для контроля их качества и выявления дефектов, образующихся в керамических изделиях, непосредственно в процессе их термообработки. Рассмотренный метод предполагает возможность проведения контроля качества стеклогранул и образцов керамики дистанционно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов В.И. Акустическая эмиссия — новый метод исследования и контроля. Докл. на IX Всес. акустической конф. М., 1977, с. 171.
2. Методы неразрушающих испытаний. М.: Мир, 1972.

Поступила в Редакцию 4.02.94

УДК 621.039

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УТЕЧКИ ИЗ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ АЭС МЕТОДОМ ГАЗООБРАЗНОГО ИНДИКАТОРА

Зенов С.И., Крылов С.Д., Уткин В.А., Филиппова В.И.

(НИИ гигиены и профпатологии Минздрава РФ),

Борозденко А.Н., Горелихин С.В., Петкевич Т.И. (Кольская АЭС)

Параметры радиоактивного загрязнения окружающей среды в районе расположения АЭС в случае возможных аварий существенным образом зависят от проницаемости защитной (герметичной) оболочки, в которой располагаются реактор, парогенератор и вспомогательное оборудование первого контура АЭС. Защитная оболочка является последним барьером, предотвращающим поступление радионуклидов в окружающую среду, поэтому она должна быть плотной, прочной и выдерживать избыточное давление и температуру, возникающие при возможных максимальных проектных авариях.

На Кольской АЭС проведены специальные исследования с целью разработки новых методов определения мест нарушения герметичности защитной оболочки, оценки утечек и их расходных характеристик. При этом были приняты во внимание рекомендации комиссии МАГАТЭ, которая анализировала состояние систем безопасности этой АЭС.

На Кольской АЭС эксплуатируются энергоблоки с ВВЭР-440 (В-213), оборудованные защитной оболочкой пониженного давления с барботажно-вакуумной системой ограничения последствий аварий. Для конденсации пара, выделяющегося при аварийном разрыве контура, используется пассивный конденсатор барботажного типа, ускорения снижения давления в процессе аварии — быстродействующая пассивная спринклерная система. Такая система локализации аварий при правильно реализованном проектном решении значительно повышает надежность защиты окружающей среды от радиоактивных загрязнений по сравнению с другими проектами, например, системой полного давления.

Радиационная защита объектов окружающей среды в районах расположения АЭС гарантируется выполнением требования о допустимой утечке из защитной оболочки, которая определяется суточной потерей объема воздушной среды при избыточном давлении, соответствующем максимальной проектной аварии. Для отечественных АЭС проектный уровень негерметичности защитной оболочки не должен превышать 0,1 % в сутки [1—3].

В настоящее время для определения степени герметичности замкнутых объемов используются методы наблюдения за пузырьками (визуальный метод), вакуумный и газообразных индикаторов [4]. Не касаясь анализа первых двух методов, отметим, что использование традиционных газов-индикаторов утечек (галондов, инертных газов) связано с некоторыми трудностями. Так, галоидные течеискатели имеют высокую чувствительность к табачному дыму и испарениям жидкостей, применяемых при химической промывке поверхностей. Кроме того, для создания концентрации ~ 1 % по

объему требуется с учетом объема защитной оболочки ~ 50 тыс. м³ большое количество газа, который должен быть выведен после испытаний. В определенной мере развитием указанного метода является применение меченых атомов, например, ⁸⁵Kr, однако безопасное использование изотопов в таком количестве связано с необходимостью выполнения нормативных требований и применения специального защитного оборудования. В этом плане представляют интерес специальные газы-трассеры, содержание которых в воздушной среде можно определять газовой хроматографией. Анализ показал, что наиболее подходящим газом для решения указанных задач является гексафторид серы (SF₆).

В основу методических приемов проведения работ по испытанию герметичности защитной оболочки энергоблоков Кольской АЭС были положены результаты собственных экспериментальных исследований по определению утечек газоаэрозольных сред из герметичного оборудования, в том числе из помещений, находящихся под избыточным давлением, а также технических возможностей измерения микроконцентрации газов-трассеров в воздушной среде (до $5 \cdot 10^{-8}\%$ по объему и меньше).

Гексафторид серы представляет собой малотоксичный газ, без цвета и запаха, химически высокоинертен, термически устойчив до 800 °С, негорюч, малорастворим в воде.

Основные физико-химические свойства гексафторида серы следующие:

молекулярная масса, г/моль . . . 146,07

температура возгонки, °С . . . -63,6

плотность газа при 20 °С, кг/м³ . . . 6,5

плотность сжиженного газа, кг/м³ . . . $1,88 \cdot 10^3$

предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны, мг/м³ . $5000 (7,7 \cdot 10^{-2}\%$ по объему)

Способ определения газа-индикатора в воздушной среде ориентирован на применение серийно выпускаемых газовых хроматографов с детектором постоянной скорости рекомбинации или электронного захвата, например, прибора «Цвет-550М».

Условия проведения анализа: используемый принцип — газоадсорбционная хроматография, детектор постоянной скорости рекомбинации, адсорбент — карбохром зернения 0,25—0,40 мм, длина насадочной колонки — 3 м, газ-носитель — азот особой чистоты, его расход — 60 мл/мин, температура колонки — 55 °С, время удерживания (анализа пробы) — 64 с.

Для отбора и консервации проб воздушной среды используются полиэтиленовые флаконы емкостью 200 мл, снабженные специальными приспособлениями для проведения соответствующих операций. Время отбора пробы не превышает 20 с.

Для проведения испытаний были разработаны специальные программы, отражающие следующие основные этапы:

период, в течение которого проводится подготовка внутренних помещений защитной оболочки к испытаниям, переключение режимов работы вентиляционных систем, отладка измерительного оборудования и т.д.;

ввод газа-индикатора, обеспечивающий равномерное распределение трассера по всем помещениям защитной оболочки, включая тупиковые;

нагружение защитной оболочки воздухом избыточного давления с учетом сохранения равномерного распределения концентрации внутри объема;

непосредственное определение мест расположения и параметров утечек;

анализ результатов и разработка соответствующих рекомендаций для ремонтных и эксплуатационных служб.

Программой испытаний предусмотрены меры безопасности, соответствующие требованиям нормативных документов надзорных органов.

Метод отрабатывался при испытаниях защитной оболочки третьего и четвертого энергоблоков Кольской АЭС в период завершения планово-предупредительного ремонта. На третьем блоке испытания проводили до и после ремонта.

Газ-трассер вводили последовательно:

в 17 помещений защитной оболочки, которые непосредственно не связаны с рециркуляционной системой, для чего предварительно рассчитывали вводимую дозу;

в рециркуляционную систему;

в воздухозаборный трубопровод компрессора при повышении давления.

Общее количество вводимого газа определяется по формуле $m = V(P/P_0)(q_0/100)\rho_{\text{и}}$, где m — масса газа-индикатора, кг; V — свободный внутренний объем защитной оболочки, м^3 ; P — требуемое абсолютное давление воздуха в защитной оболочке, Па; P_0 — атмосферное давление, Па; q_0 — требуемая концентрация газа-индикатора в защитной оболочке, % по объему; $\rho_{\text{и}}$ — плотность газа-индикатора, $\text{кг}/\text{м}^3$.

После ввода предварительно рассчитанного количества газа-индикатора непосредственно в помещения защитной оболочки воздух перемешивали рециркуляционными системами вентиляции, а затем отбирали контрольные пробы. При вводе 4,2 кг гексафторида серы концентрация газа внутри объема испытываемой защитной оболочки составляла около $3 \cdot 10^{-3}\%$ по объему.

После нагрузки защитной оболочки воздухом повышенного давления и формирования в нем стационарного поля концентрации отбирали пробы и анализировали воздушную среду в помещениях, непосредственно примыкающих к контролируемому объему.

При первом испытании, проведенном в декабре 1992 г. на четвертом блоке, было установлено, что наиболее критичные утечки наблюдаются в помещениях баков гидразин-гидрата (отм. 0,0), ионизационной камеры, фильтров вентиляционных систем (отм. 14,1), вытяжного вентиляционного центра (отм. 18,9), кабельных туннелей и коридоров, кабельных шахт. В них удельные утечки близки, а в отдельных случаях превышают предельные, соответствующие интегральной утечке. Кроме того, значительные утечки были обнаружены в помещениях саншлюза (отм. 6,5), контроля патрубков реактора (отм. 0,0), трубопроводного коридора (отм. 3,0), кабельной шахты (отм. -6,5), реакторного зала (отм. 18,9), деаэратора подпитки (отм. 18,9), «дыхательных» баков промежуточного контура (отм. 22,4), кабельной шахты III системы безопасности (отм. 9,6). Остальные поверхности, контактирующие с помещениями «грязной» и «чистой» зон, можно характеризовать как достаточно герметичные. Наряду с этим были обнаружены утечки через запорную арматуру, ликвидированные в ходе испытаний.

В целом за период испытаний отобрано и проанализировано более 450 газовоздушных проб. Время выполнения работ непосредственно на энергоблоке, связанных с использованием газа-индикатора, начиная с момента ввода трассера в защитную оболочку, составило 24 ч.

При испытаниях третьего энергоблока наряду с установлением общей картины распределения утечек воздуха по всей поверхности защитной оболочки преимущественное внимание было уделено выявлению локальных зон нарушения герметичности и совершенствованию технологии испытаний. Наибольшие утечки отмечались в центральном зале ($380 \text{ м}^3/\text{ч}$). Следует отметить помещения РК бассейна выдержки (отм. 10,5 м), трубопроводной шахты и др. В основном были обнаружены нарушения герметичности проходов, сварных швов и облицовок, ликвидированные в ходе планово-предупредительного ремонта.

Сопоставительный анализ результатов испытаний показывает, что утечки из защитной оболочки третьего энергоблока значительно больше, чем четвертого, а это согласуется с параметрами утечек, полученными нормативным абсолютным методом.

Использование предлагаемого метода дает возможность получить дополнительную информацию о состоянии защитной оболочки АЭС с ВВЭР, недоступную обнаружению традиционными методами (см. таблицу).

Информативность результатов испытаний защитной оболочки третьего энергоблока Кольской АЭС

Помещения с дефектами защитной оболочки, выявленными с помощью газа-индикатора	Отм. по высоте, м	Помещения и оборудование, в которых предполагались утечки, но фактических данных до применения газа-трассера не было	Отм. по высоте, м	Помещения, в которых с помощью газа-трассера подтверждены известные данные об утечке	Отм. по высоте, м
САОЗ	-6,5	Коридора приводов	-6,5	РК бассейна выдержки	10,5
Кабельного коридора	-2,8	Трех баков гидразин-гидрата		Грязной трубопроводной шахты	-6,5
Насосов подпитки	0,0	Кабельного коридора (в двух местах)	0,0	Колодца № 3	6,0
Насосов вывода теплоносителей	0,0	Вентиляционной системы ЗТЛ70 (гермоклапанов)	0,0	Вентиляционной шахты	6,0
Электросборок	0,0	Вентиляционной системы ЗТЛ71 в помещении насосов подпитки и борного регулирования (в двух местах)	0,0	Кабельной шахты II, III системы безопасности	9,6
Баков борного концентрата	-6,5	Реакторного зала (в двух аппаратах)	18,9	Кабельного помещения промежуточного реле	15,15
Грязного и чистого трубопроводного коридора	3,0	Шахт лифтов		Продольного коридора обслуживания (гермодвери)	-6,5
Продувки парогенераторов	6,0			Тамбура (гермодвери)	-2,8
Насосов и теплообменников БК	6,0			Саншлюза (гермодвери)	0,0
Женского санузла	6,0			Коридора обслуживания (гермодверь)	6,0
Тамбура	6,0				
Деаэратора подпитки	18,9				
Вентильной камеры деаэратора подпитки	18,9				
Реакторного зала (ось 47)	18,9				
Реакторного зала (колодца шандор)	18,9				
Вытяжного вентиляционного центра	18,9				
Коридора (чистой зоны)	15,15				

Развитие данного метода может рассматриваться в области расширения диапазона измеряемой концентрации газа-трассера, а также использования приборов непрерывного измерения (сканеров), например, фирмы «Брюль и Кьер» (Дания) с блоками 1302, 1303 и датчиками типа 0988 и 0976. Более грубые по чувствительности, но оперативные по действию приборы с длинной пробоотборной трубкой (до 99 м) дают возможность быстро обнаруживать места утечек. Кроме того, повышение чувствительности анализа воздушных проб до 10^{-11} — $10^{-13}\%$ по объему, в частности, методом концентрирования, позволит значительно расширить возможности оценки параметров утечек при малом расходе воздуха из защитной оболочки и большой мощности действующих вентиляционных систем.

Комплексное использование различных средств и методов существенно повысит эффективность работ по обнаружению утечек и может применяться на аналогичных объектах ядерной энергетики.

Таким образом, разработанная методика организации и проведения исследований с помощью газообразного индикатора по дифференциальному определению утечки из большого объема по общей продолжительности наблюдений, уровню исходной концентрации, времени и интенсивности подачи индикатора доступна и реализуема пред-

ложенными техническими средствами непосредственно при проведении испытаний защитной оболочки по абсолютному методу. При этом наряду с выявлением зон и расположения нарушений герметичности возможна оценка местных утечек.

Апробация метода на третьем и четвертом энергоблоках Кольской АЭС дала положительные результаты, показала принципиально новые возможности оценки состояния защитной оболочки и ее систем (в том числе запорной арматуры), а также общающихся с ней технологических магистралей. Опыт позволяет предлагать метод газовой индикации для использования на аналогичных объектах ядерной энергетики в целях прогнозирования радиационной обстановки в период возможных аварий, а также безопасности персонала станции и населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елфимов Г.И. и др. Методика испытаний для определения достоверной утечки из герметичных помещений блоков АЭС. — В кн.: Локализация аварий на АЭС. М.: Энергоатомиздат, 1987, с. 76—81.
2. Самойлов О.Б., Усынин Г.Б., Бахтелиев А.М. Безопасность ядерных энергетических установок. М.: Энергоатомиздат, 1989. 280 с.
3. Самойлов О.Б., Бахтелиев А.М., Усынин Г.Б. Методы оценки и обеспечения безопасности ядерных энергетических установок. М.: Энергоатомиздат, 1987.
4. Защитные оболочки реакторов. М., ЦНИИатоминформ, вып. 10. М.: Атомиздат, 1971.

Поступила в Редакцию 23.03.94

УДК 539.1.074.2:621.39.11:519.28:543.008.047:552.57

ОПТИМИЗАЦИЯ γ -МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СОСТАВА И КАЧЕСТВА ВЕЩЕСТВ

Онищенко А.М. (ИГД им. А.А. Скочинского)

Разработкой методов и средств контроля состава и качества веществ (продукты химических, горных, металлургических, машиностроительных, сельскохозяйственных и других производств) интенсивно занимаются специалисты большинства стран мира. Однако до настоящего времени не созданы приборы комплексного контроля состава веществ с атомным номером компонента меньше 42, для которых энергия связи электронов ниже 20 кэВ, если не обеспечивается требуемая глубинность и существенно влияет неоднородность вещества по объему. Сравнение возможностей методов, заданных составляющих суммарной погрешности и анализ тенденций развития многомерных приборов по многочисленным источникам и патентным данным показали, что оптимальными по большинству показателей качества являются γ -методы. Для существенного уменьшения методической погрешности исследуем возможности изменения соотношений чувствительности к различным компонентам вещества.

Получить достоверные сведения о нормированных зависимостях интенсивности γ -излучения можно на основе анализа особенностей зависимости от энергии E массовых коэффициентов ослабления γ -излучения μ основными компонентами контролируемого вещества. На рис. 1 приведены зависимости $\mu = f(E)$ в перспективном диапазоне энергии от 50 до 500 кэВ для углерода μ_C , воды μ_{H_2O} , алюминия μ_{Al} , кальция μ_{Ca} , железа μ_{Fe} и меди μ_{Cu} . Все шесть зависимостей $\mu = f(E)$ являются падающими, гладкими и имеют девять точек попарных пересечений и одну точку тройного пересечения (трех пар пересечений). В точке пересечения кривых взаимные перераспределения соответствующей пары компонентов вещества не приведут к изменению регистрируемой детектором интенсивности (прошедшего или обратнорассеянного веществом) γ -излучения энергией E , где пара кривых пересекается. По обе стороны от точки пересечения