



Рис. 3. Осциллограммы импульсов, пропорциональных МЭД: а — сигнал с ВЧ-камеры (временной масштаб 50 нс/дел); б — сигналы с полупроводникового (верхняя) и сцинтилляционного (нижняя) детекторов (временной масштаб 100 нс).

рис. 3. Для сравнения на том же рисунке приведены осциллограммы пропорциональных МЭД импульсов, зарегистрированных сцинтилляционным и полупроводниковыми детекторами. Сравнение свидетельствует об удовлетворительном совпадении формы импульсов.

Сопоставление показаний ВЧ-камеры и термолумinesцентного дозиметра (ТЛД)

Пиковое значение мощности дозы, измеренной ВЧ-камерой, А/кг	Доза за импульс, Кл/кг		Пиковое значение мощности дозы, измеренной ВЧ-камерой, А/кг	Доза за импульс, Кл/кг	
	ВЧ-камера	ТЛД		ВЧ-камера	ТЛД
$1,0 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$
$7,3 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$6,2 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$9,6 \cdot 10^{-4}$
$3,4 \cdot 10^4$	$6,2 \cdot 10^{-3}$	$4,9 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$
$1,8 \cdot 10^4$	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$			

Полученные с помощью ВЧ-камеры абсолютные значения МЭД сопоставляли с результатами измерений интегральным термолумinesцентным дозиметром на основе LiF. Для этого интегрировали во времени импульсы МЭД и определяли дозу за импульс (см. таблицу).

Результаты измерений указывают на согласованность методов в пределах 20—30%.

Таким образом, есть все основания надеяться, что разработанная камера может быть использована в системах для измерения параметров дозных полей импульсных источников рентгеновского и γ -излучения высокой интенсивности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альбигов З. А., Веретенников А. И., Козлов О. В. Детекторы импульсного ионизирующего излучения. М., Атомиздат, 1978.
2. Альбигов З. А. и др.— Приборы и техника измерений, 1975, № 5, с. 155.
3. Кременчугский Л. С., Страковская Р. Я.— Атомная энергия, 1976, т. 41, вып. 3, с. 190.
4. Медведев Ю. А., Морозов Н. Н., Степанов Б. М.— Атомная энергия, 1978, т. 45, вып. 5, с. 374.

Поступило в Редакцию 20.01.81

УДК 621.039.58

Отложение примесей из натриевого теплоносителя в области действия магнитных и электромагнитных полей

ОТСТАВНОВ П. С., ЕФИМОВ И. А., ЗАГОРУЛЬКО Ю. И., НИКУЛИН М. П., ОТСТАВНОВА Т. В.

Концентрирование частиц примесных ферромагнитных материалов, присутствующих в жидкостных потоках, в зоне действия магнитного или электромагнитного полей используется в конструкциях магнитных или электромагнитных фильтров для очистки таких жидкостей, как нефть, масла, вода. В практике эксплуатации натриевых нерадиоактивных циркуляционных контуров отмечено концентрирование частиц ферромагнитных материалов (продуктов коррозии нержавеющей стали) в зоне расположения магнитных расходомеров. В литературе нет сведений о концентрировании частиц парамагнитных материалов, а также примесей, растворенных в натрии, на стенках трубопроводов или технологического оборудования в зонах действия магнитных или электромагнитных полей.

Результаты экспериментального исследования распределения отложений радионуклидов на поверхностях тру-

бопроводов в первом контуре БР-10 указывают на повышенную концентрацию ряда примесей в области установки магнитных расходомеров и на внутренней поверхности трубопровода электромагнитного насоса. Так, количество отложений примесей на трубопроводе первого контура БР-10, определенное по мощности дозы γ -излучения в месте расположения магнита расходомера при остановленной циркуляции натрия, оказалось примерно в шесть раз больше, чем на трубопроводе вдали от магнита.

Чтобы исключить влияние температурных эффектов, был проведен специальный эксперимент с имитирующим участком натриевого трубопровода, на котором установлен расходомер, но без магнита. Разницы между отложениями на имитирующем и на других участках трубопровода не наблюдалось.

Ниже приведено относительное превышение концентрации радионуклидов на участке выходного трубопровода электромагнитного насоса по сравнению с их концентрацией на расстоянии $\sim 1,5$ м от насоса (максимальная погрешность измерения — в пределах 30%):

^{106}Ru	65
^{144}Ce	10
^{90}Sr	1
^{137}Cs	1,5
^{134}Cs	1,2
^{54}Mn	3,3
^{60}Co	200
^{125}Sb	1200
^{65}Zn	3000

Растворимость рутения в натрии неизвестна. По опубликованным термодинамическим данным [1], рутений в натрии присутствует в свободном состоянии, церий при содержании кислорода в натрии около 10 млн^{-1} — в виде окисла Ce_2O_3 , растворимость которого очень незначительна и составляет $0,017 \text{ млн}^{-1}$ при 450°C [2]. Стронций, как это следует из термодинамического анализа, в реакторных условиях присутствует в натрии в виде окиси SrO_2 [3]; изотопы цезия — в растворенном состоянии; марганец и кобальт слабо растворяются в натрии и находятся в свободном состоянии; сурьма и цинк хорошо растворимы в натрии [3, 4].

Из приведенных данных следует, что все примеси, за исключением кобальта, являются неферромагнитными материалами и, кроме того, в реакторных условиях большая часть из них находится в растворенном состоянии. Все нуклиды, отложения которых наиболее значительны в зоне действия магнитного поля по сравнению с другими точками, где поле отсутствует, не имеют газовых предшественников (продукты деления — рутений, церий, сурьма) или образуются за счет активации металлов (марганец, кобальт, цинк), т. е. они попадают в теплоноситель контура сразу же в виде металлов.

Эффекты концентрирования указанных примесей в зоне действия магнитного поля могут быть связаны с увеличением адсорбционной способности пристенного слоя и поверхности, контактирующей с натрием в указанных областях, за счет формирования слоя отложений ферромагнитных материалов или содержащих ферромагнитные материалы конгломератов, транспортируемых потоком натрия. Присутствие частиц железа и никеля в потоках натрия в циркуляционных натриевых контурах подтверждается как химическим анализом натрия, так и экспериментами с использованием ловушек взвешенных частиц (магнитные, инерционные ловушки, металлокерамические фильтры) [5].

Распределение частиц ферромагнитных примесей по размерам зависит от композиционного состава конструкционных материалов и гидродинамических режимов циркуляционного контура. В среднем размеры частиц не превышают $10\text{--}20 \text{ мкм}$. Частицы имеют сложную морфологию и высокоразвитую поверхность. Пористость слоя отложений, например продуктов коррозии аустенитных сталей в натрии, составляет $\sim 60\%$ [6]. Толщина слоя отложений ферромагнитных частиц в зоне действия магнитного поля

будет зависеть от соотношения сдвиговых напряжений, вызываемых потоком натрия и силами притяжения, обусловленными действием магнитного поля. Адсорбция примесей в объеме образующегося пористого слоя отложений возрастает не только за счет геометрии поверхности, но и вследствие повышения ее адсорбирующей способности, обусловленной сложным морфологическим строением частиц.

Стронций может попасть в теплоноситель непосредственно или через короткоживущих предшественников и находиться в натрии в виде окислов. На основании анализа проб теплоносителя и отложений на стенках контура можно предположить, что стронций довольно быстро осаждается на стенках контура и поэтому время его пребывания в магнитном поле насоса очень мало. Почти полное отсутствие различий в концентрации ^{137}Cs и ^{134}Cs в отложениях в магнитном поле и вне поля объясняется, по-видимому, механизмом осаждения цезия и предельной величиной накопления цезия в отложениях [7].

Была также проанализирована возможная зависимость осаждения от магнитных и электрических свойств веществ и их температурных характеристик. Какой-либо явной зависимости для приведенных выше нуклидов не отмечено.

Следует ожидать, что аналогичные эффекты концентрирования растворенных в натрии примесей будут наблюдаться также на участках с повышенной турбулентностью, где формирование слоя отложений частиц (в том числе и ферромагнитных материалов) обусловлено интенсификацией массообмена взвешенного потока со стенками каналов за счет приобретения частицами радиального импульса при взаимодействии с турбулентными вихрями [8].

Концентрирование радионуклидов под влиянием электромагнитных полей необходимо учитывать при оценке их распределения в натриевых циркуляционных контурах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fredrickson D., Chasanov M.— J. Chem. Engng., Data, 1972, v. 17, p. 21.
2. Lamprecht G., Growth P.— Trans. AIME, 1968, v. 242, p. 2169.
3. Clough W.— J. Nucl. Energy, 1967, v. 21, p. 225.
4. Жидкометаллические теплоносители, натрий и натриево-калийевый сплав. М., Иностран. лит. 1958.
5. Wicks J., Isaak H.— In: Advances in Corrosion Science and Technology. N.Y.— London, Plenum Press, 1973.
6. Thorley A. e.a.— In: Proc. Intern. Conf. on Liquid Metal Technology in Energy Product. Champion, Pennsylvania, May 1976.
7. Лисицын Е. С. и др. Изучение эффективности улавливания радиоактивных примесей холодной ловушкой реактора БОР-60; Summary Report IAEA Specialists Meeting on fission and corrosion product behaviour in primary circuits of LMFBFR's. Dimitrovgrad, 1975.
8. Beal. S.— Nucl. Sci. Engng., 1970, v. 40, N 4.

Поступило в Редакцию 03.03.81