

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.039.746

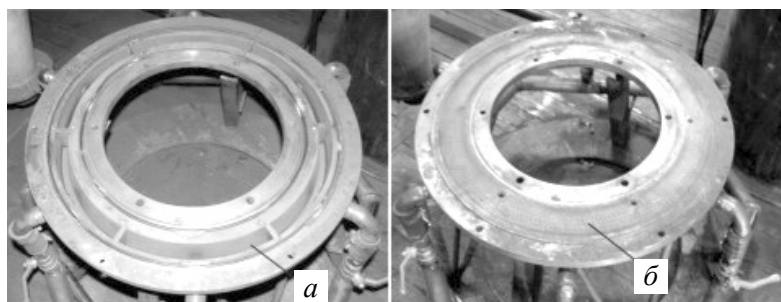
УДАЛЕНИЕ ИМИТАТОРА ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ ТВС АМБ ИЗ МОДЕЛИ АППАРАТА-РАСТВОРИТЕЛЯ

Хлебус К.А. (Ин-т гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск)

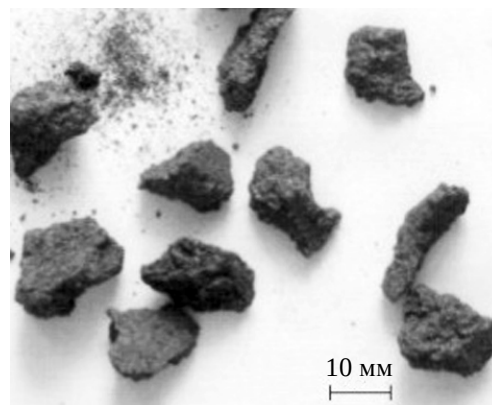
Ранее проведенные исследования показали принципиальную возможность переработки топлива реакторов АМБ Белоярской АЭС по технологии классического пурекс-процесса [1—3]. Это позволило предположить, что переработка топлива возможна по технологии завода РТ-1, однако возникают задачи, которые должны быть решены на стадии научно-исследовательских работ. Одной из них является создание технологии удаления твердых нерастворимых фрагментов отработавших ТВС АМБ из аппарата-растворителя периодического действия с одноканальной системой импульсного пневмотранспорта.

Исследования проводили на модели натурного аппарата-растворителя с одноканальной системой удаления [4]. Модель представляет собой выполненный в масштабе 1:4 аппарат, изготовленный в виде цельносварной кольцевой емкости высотой 1,85 м, наружным диаметром 0,67 м, шириной кольцевой реакционной зоны 35 мм. Внутреннее пространство модели разделено перегородками на шесть равных секций (рис. 1, а), снизу ограничено коллектором, снабженным перфорированной решеткой с соплами диаметром 2 мм (рис. 1, б).

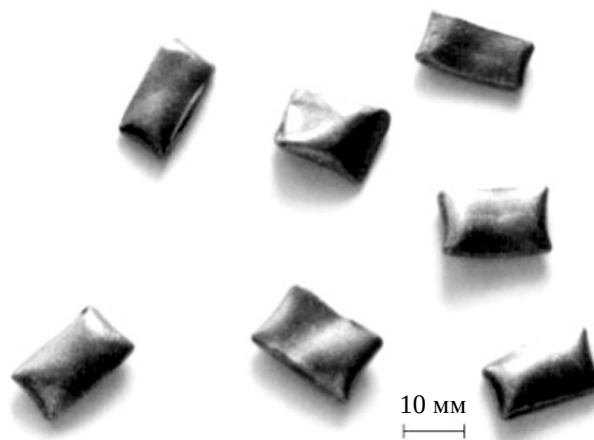
Эксперименты проводили с имитатором нерастворимых фрагментов ТВС АМБ. Конструктивно ТВС АМБ представляют собой трубчатые твэлы со стальными оболочками, размещенные в графитовых втулках [5, 6]. Имитатор нерастворимых фрагментов состоял из конструкционного углеродного материала графита [7], измельченного до 20 мм, и стальных трубок диаметром 12, длиной 20 мм (рис. 2, 3).



Р и с. 1. Сопловой коллектор: а — секция коллектора; б — перфорированная решетка



Р и с. 2. Фрагменты графита



Р и с. 3. Фрагменты стальных трубок

Насыпная плотность графита составляла $0,93 \text{ кг/см}^3$, стальных трубок — $1,76 \text{ кг/см}^3$. Из фрагментов графита и стальных трубок составляли смеси в пропорциях графит к трубкам, %: 15:85, 30:70, 45:55, 70:30.

В ходе эксперимента смесь графита и трубок засыпали в модель. Масса загружаемой сухой смеси составляла 25 кг, с добавлением 5% воды — 26,3 кг. Редуктором устанавливали объем ресивера от 20 до 40 л, далее происходила его зарядка сжатым воздухом. На манометре выставляли параметры начального и конечного давления импульса сжатого воздуха 2:1 или 1,5:0,7 МПа, необ-

ходимого по условиям эксперимента для разгрузки модели.

Фрагменты имитатора ТВС АМБ из модели удаляли по схеме, принятой на заводе РТ-1. Импульс сжатого воздуха последовательно подавали в сопловой коллектор модели к каждой из шести секций в порядке их номеров 1—2—3—4—5—6. Под действием импульса сжатого воздуха фрагменты имитатора частично удалялись из секции модели в приемный комплекс, из которого их выгружали. Каждую порцию выгруженной массы имитатора взвешивали. Процесс повторяли до полной разгрузки модели.

Из табл. 1, 2 следует, что из сухой смеси при давлении импульса сжатого воздуха 1,5:0,7 МПа за первую операцию из каждой секции модели удаляется 3,2—4 кг. Имитатор загружаемой массы на 98,7—100% удаляется за 13—25 повторений. При давлении 2:1 МПа импульса сжатого воздуха за первую операцию удаляется 3,6—4,1 кг. Имитатор на 93—100% удаляется за 13—19 повторений. Результа-

Т а б л и ц а 1. Удаление сухого имитатора ТВС АМБ массой загрузки 25 кг

Доля графита, %	Объем ресивера, л	Масса удаленных фрагментов				Число импульсов
		Среднее за первый выброс		Всего за опыт		
		кг	%	кг	%	
Давление импульса 1,5:0,7 МПа						
15	20	3,2	12,8	24,9	99,6	20
	30	3,7	14,8	25	100	19
	40	3,5	14	24,8	99,2	18
30	20	4	16	24,93	99,7	13
	30	3,8	15,2	24,83	99,3	16
	40	3,9	15,6	24,98	99,9	19
45	20	3,9	15,6	24,7	98,8	16
	30	3,9	15,6	24,93	99,7	15
	40	3,9	15,6	24,73	98,9	15
70	20	3,6	14,4	24,68	98,7	19
	30	3,9	16,8	24,98	99,9	13
	40	3,4	13,6	24,93	99,7	25
Давление импульса 2:1 МПа						
15	20	3,6	14,4	24,78	99,1	19
	30	4	16	25	100	13
	40	3,8	15,2	24,75	99	15
30	20	4,1	16,4	24,85	99,4	13
	30	3,9	15,6	24,75	99	18
	40	4	16	24,9	99,6	13
45	20	3,6	15,6	24,65	98,6	16
	30	4	16	24,93	99,7	13
	40	3,9	15,6	24,7	98,8	13
70	20	4	16	24,75	99	16
	30	4,1	16,4	24,9	99,6	13
	40	3,6	14,4	23,25	93	19

Т а б л и ц а 2. Удаление влажного имитатора ТВС АМБ массой загрузки 26,3 кг

Доля графита, %	Объем ресивера, л	Масса удаленных фрагментов				Число импульсов
		Среднее за первый выброс		Всего за опыт		
		кг	%	кг	%	
Давление импульса 1,5:0,7 МПа						
15	20	3,6	13,7	26,1	99,3	24
	30	3,8	14,5	25,7	97,7	25
	40	3,6	13,7	26	99,2	24
30	20	3,5	13,3	26,1	99,3	24
	30	4,1	15,6	25,72	97,8	16
	40	3,6	13,7	26	98,8	24
45	20	3,7	14,1	26,06	99,1	24
	30	4,1	15,6	26,01	98,9	13
	40	3,8	14,5	26,2	99,6	24
70	20	3,9	14,8	26,2	99,6	20
	30	4,2	15,6	26,17	99,5	13
	40	3,8	14,8	25,83	98,2	19
Давление импульса 2:1 МПа						
15	20	3,9	14,8	24,85	98,3	19
	30	4,1	15,6	26,05	99	19
	40	3,9	14,8	25,72	97,8	18
30	20	4,2	16	26,25	99,8	18
	30	4,1	15,6	26,05	99	13
	40	4,1	15,6	26,22	99,7	18
45	20	4,1	15,6	26,1	99,3	18
	30	4,1	15,6	25,75	97,9	13
	40	4,1	15,6	26,17	99,5	18
70	20	3,9	14,8	25,96	98,7	22
	30	4,2	16	26,17	99,5	13
	40	4,2	16	26,25	99,8	25

ты экспериментов справедливы для смесей, содержащих как минимальное 15%, так и наибольшее количество графита 70%. Уменьшение емкости ресивера с 40 до 20 л не имеет решающего значения для выгрузки. Для смеси, содержащей только стальные трубки, при емкости ресивера 40 л с давлением импульса сжатого воздуха 2:1 и 1,5:0,7 МПа за первую операцию из каждой секции модели удаляется 2,8 и 2,2 кг. Полное удаление происходит за 25 и 36 повторений соответственно, что больше в 1,5—2 раза, чем для смесей, содержащих фрагменты графита. Отсюда следует, что добавка графита в смесь снижает число повторений, необходимых для полного опорожнения модели, следовательно, уменьшается время технологических операций.

Добавление в смесь 5% воды от массы загрузки существенно не повлияло на удаление имитатора из модели. Однако с увеличением концентрации графита в смеси наблюдается коагуляция фрагментов имитатора, что особенно характерно для первой операции удаления. Также наблюдается уменьшение доли

выгрузки имитатора на 1—2%, при сохранении того же числа повторений.

При демонтаже модели в сопловом коллекторе осталась часть загружаемой массы фрагментов, также выявлено налипание фрагментов графита на стенки загрузочного конуса, что позволяет считать возможным накопление оседающего графита в аппарате-растворителе в течение длительного времени эксплуатации.

Эксперименты показали идентичность характера удаления имитатора при разном процентном составе смесей, что характеризуется стабильностью удаления из сухой смеси имитатора 20 операциями, влажной — 25. При этом удаление смеси разной концентрации происходит стабильно во всех экспериментах и для всех заявленных параметров импульса сжатого воздуха и используемых емкостей ресивера.

В ходе исследований было установлено, что фрагменты ТВС АМБ эффективно удаляются в режиме с перепадом импульса давления сжатого воздуха 1,5:0,7 МПа, что позволит уменьшить износ аппарата за счет снижения динамической нагрузки на конструктивные элементы, а также сократить расход сжатого воздуха и время на операции удаления.

Таким образом, технология и режим удаления, использующиеся на заводе РТ-1, возможны для удаления нерастворимых фрагментов ТВС АМБ из аппа-

рата-растворителя периодического действия с одноканальной системой импульсного пневмотранспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глаголенко Ю.В., Дзекун Е.Г., Ровный С.И. и др. Переработка отработавшего ядерного топлива на комплексе РТ-1: История, проблемы, перспективы. — Вопросы радиационной безопасности, 1997, № 2, с. 3—12.
2. Смирнов В.П. Создание технологии обращения с ОЯТ АМБ. — Безопасность окружающей среды, 2010, № 1, с. 87—89.
3. Копырин А.А., Карелин А.И., Карелин В.А. Технология производства и радиохимической переработки ядерного топлива. М.: Энергоатомиздат, 2006.
4. Истомин В.Л., Хлебус К.А., Макаров Е.П., Шкурин П.А. Износ радиохимического оборудования растворения ОТВС АЭС. — Вопросы радиационной безопасности, 2013, № 4, с. 55—61.
5. Самойлов А.Г., Каштанов А.И., Волков В.С. Дисперсные твэлы. Конструкция и работоспособность. М.: Энергоатомиздат, 1982.
6. Решетников Ф.Г., Бибилашвили Ю.К., Головин И.С. и др. Разработка, производство и эксплуатация тепловыделяющих элементов энергетических реакторов. М.: Энергоатомиздат, 1995.
7. Материалы углеродные для металлургического производства. ТУ-094—2010. ОАО «Энергопром» — Челябинский электродный завод.

Поступило в Редакцию 14.03.14

УДК 536.12+ 544.772

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА ЦЕЗИЯ И ИОДА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ FAL-ISP 1

*Афремов Д.А., Жуков И.В., Журавлева Ю.В. (НИКИЭТ, г. Москва),
Припачкин Д.А. (ИБРАЭ РАН, г. Москва)*

Запроектные или тяжелые аварии на АЭС анализируют с помощью интегральных кодов. Комиссия по ядерному регулированию (США) для всестороннего анализа аварий, выходящих за рамки проектных, рекомендует использовать интегральный код MELCOR [1], который содержит модели, описывающие протекающие в ядерной установке на различных стадиях аварии процессы — от теплогидродинамических до поведения расплава и переноса продуктов деления. Код MELCOR принято считать кодом инженерного уровня. Моделирование с использованием MELCOR может уступать по точности моделирования отдельных процессов кодам наилучшей оценки, таким, как ASTEC [2] или СОКРАТ [3]. Однако за счет охвата моделей, включенных в MELCOR, оправдано его использование для комплексного анализа аварий на АЭС. Поэтому он широко используется для оценки источника выброса радиоактивных веществ в атмосферу при авариях на АЭС с BWR и PWR.

Целью настоящей статьи является оценка приемлемости моделирования с помощью кода MELCOR переноса цезия и иода в эксперименте FAL-ISP 1, который во многом схож с протеканием запроектной аварии на АЭС.

Эксперимент FAL-ISP 1 был проведен 4 июня 1992 г. в Великобритании на стенде FALCON [4]. Его целью было исследование переноса и осаждения продуктов деления в первом контуре и защитной оболочке в целях совершенствования компьютерных кодов по моделированию безопасности реакторных установок. В расчетах использовали исходные данные эксперимента FAL-ISP 1, нодализационная схема представлена на рис. 1. Камера для размещения твэлов с имитатором продуктов деления (высота 260, диаметр 64 мм) моделируется двумя вертикальными объемами CV21 и CV22. Снизу расположен объем CV20 (высота 10, диаметр 64 мм), в который в течение 40 мин подается гелий. В верхний объем CV22 пода-