

В сплаве с 13,6% молибдена первая стадия — видимый эвтектоидный распад γ^s -фазы реализуется только при высокой температуре $\alpha + \gamma'$ -области (550 °C и выше), при низкой температуре — частично реализуется. Ниже 550 °C стадией, предшествующей эвтектоидному распаду, является полигонизация зерен γ^s -фазы с внутризеренным выделением α -фазы неравновесного состава по молибдену (перменного во времени). Длительность этой стадии увеличивается с понижением температуры изотермической выдержки и при 400 °C составляет ~25 ч. В связи с этим процесс эвтектоидного распада развивается чрезвычайно вяло и за сотни часов не доходит до конца. Вследствие более значительной разницы концентрации молибдена в γ^s -фазе сплава с 13,6% молибдена и в равновесной фазе U_2Mo по сравнению с наблюдаемой в сплаве, содержащем 20% молибдена, для достижения равновесия при температуре минимальной устойчивости γ^s -фазы в области $\alpha + \gamma'$ потребуется значительно более длительная выдержка сплава с 13,6% молибдена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физическое металловедение. Вып. 2. Пер. с англ. Под ред. Р. Кана. М.: Мир, 1968.
2. Диаграммы состояния и фазовые превращения сплавов урана. Под ред. О.С. Иванова. М.: Наука, 1972.
3. Сокурский Ю.Н., Стерлин Я.М., Федорченко В.А. Уран и его сплавы. М.: Атомиздат, 1971.
4. Чеботарев Н.Т., Уткина О.Н. Кристаллическая структура γ^s -фазы в сплавах $U-Mo$, $U-Re$, $U-Nb$. — Атомная энергия, 1980, т. 48, вып. 2, с. 76—80.
5. Чеботарев Н.Т. Некоторые результаты исследования диаграмм состояния, структуры и свойств сплавов урана и плутония. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Атомное материаловедение, 1990, вып. 3(37), с. 3—10.
6. Tangri K., Williams G. Metastable phases in the uranium-molybdenum system. — J. Nucl. Mater., 1961, v. 4, № 2, p. 226—233.
7. Конобеевский С.Т., Правдюк Н.Ф., Дубровин К.П. и др. Исследование структурных изменений, происходящих в сплаве урана с молибденом под действием нейтронного облучения. — Атомная энергия, 1958, т. 4, вып. 1, с. 34—44.

Поступила в Редакцию 11.07.99

УДК 621.039.746

ТРАНСПОРТИРОВКА НА ХРАНЕНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКИМ ИМПУЛЬСОМ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ ОТ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАВШЕГО ТОПЛИВА АЭС

*Истомин В.Л., Рыжаков В.А. (ИГиЛ СО РАН), Ненарокомов Э.А.
(ГНЦ РФ — ВНИИНМ им. А.А. Бочвара)*

Удаление нерастворимых фрагментов отработавших ТВС на хранение после выщелачивания топлива в числе других основных факторов определяет производительность как головных переделов, так и радиохимического завода в целом. По первоначальному плану такое удаление проводилось в бидонах и было сопряжено с соблюдением жестких требований для исключения аварийных ситуаций. После 10-летнего периода эксплуатации завода удаление на хранение твердых отходов от переработки отработавших ТВС в бидонах было заменено производительным экологически безопасным импульсным пневматическим транспортированием.

Обычно куски конструкционных материалов ТВС (основная фракция от 5 до 35 мм) после выщелачивания топлива и промывки поступают в систему импульсного пневматического транспортирования влажностью не более 7%, не влияющей на передачу твердых отходов в хранилище. Однако при регенерации топлива отдельных ТВС в аппарате-растворителе образуются дополнительно мелкие нерастворимые частицы, а также труднорастворимые осадки, которые также необходимо удалять на захоронение вместе с кусками конструкционных материалов ТВС [2, 3].

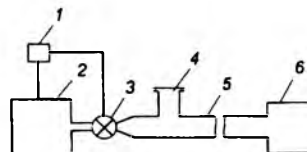
При механической резке ТВС образуются как крупные куски, так и мелкие частицы [3, 4], поэтому добавка к ним мелких нерастворимых частиц при транспортировке твердых отходов не влияет. Однако некоторые осадки представляет собой гель, частично попадающий в куски конструкционных материалов ТВС, и он может влиять на технологический режим транспортировки твердых отходов на захоронение.

Настоящая работа посвящена исследованию влияния такого осадка на процесс.

Исследования проводили на модельной и полупромышленной установках со смесью, состоящей из имитаторов нарезанных кусков ТВС (86% по массе) и оксида алюминия (14%) марки ТУ-6-09-426-75, который использовали по рекомендации ПО «Маяк» и ГНЦ РФ — ВНИИНМ в качестве основного компонента осадка с обязательным присутствием воды не менее 5% общей массы.

Модельная установка состояла из прямого трубопровода (трассы) 5 внутренним диаметром 36, длиной 9,3 м, бункера 4, через который поступает транспортируемый материал (рис. 1). Импульс газа подавали из ресивера 2 объемом 1,8 л через специальный клапан 3. Диаметр сопла 10 мм. Управление осуществляли с пульта 1. После транспортирования куски попадали в приемник 6.

В качестве имитатора кусков ТВС использовали смесь металлических частиц, состоявшую из пластинок размером $3 \times 4 \times 0,2$ мм и стальной дробы диаметром и высотой по 4 мм. Соотношение их по массе составляло 1:2, масса одной порции загружаемой смеси — 100 или 300 г. В экспериментах начальное давление в ресивере P_n изменяли от 1 до 2,5 МПа, конечное P_k — от 0,5 до 1,5 МПа.



Р и с. 1. Схема модельной установки импульсного пневматического транспортирования

Полупромышленная установка (стенд) была максимально приближена к системе импульсного пневматического транспортирования на радиохимическом заводе «Маяк». Она состояла из аппарата для растворения топлива ТВС, из которого смесь выгружали в бункер. Затем специальной заслонкой аппарат отсекали от системы транспортирования. Смесью перемещали по трубопроводу длиной 120 м с двумя подъемами на высоту 7 и 16 м, двумя поворотами радиусом 0,4 м на 90 и 180° и одним радиусом 1,5 м на 140°. Внутренний диаметр трубопровода трассы 250 мм. Кроме основного перед бункером располагали еще три сопла, из них два устанавливали перед подъемами, третий — перед подъемом в приемник.

Имитаторы кусков ТВС состояли в основном из отрезков трубок длиной 8, диаметром 9,2 и 12,6, толщиной стенки 0,1 мм. Порция смеси имела массу до 450 кг. Транспортирование осуществляли импульсом газа из ресивера объемом 1,6 м³ перепадом давления $P_n/P_k = 2/0,8$ МПа.

Согласно ранним исследованиям [1] куски могут перемещаться в двух режимах: с полной очисткой трубопровода, для этого проводится еще один или несколько циклов импульсов газа без подачи новой порции кусков и переходящим остатком, когда сразу после первого цикла загружается вторая порция. В последнем случае образуется остаток, составляющий около 10% массы загружаемой порции.

В опытах на модели одну порцию смеси загружали в бункер 2 (см. рис. 1) и с пульта 5 подавали импульс газа из ресивера 3 через клапан 4 в трубопровод 1. Эту порцию перемещали полностью или частично в приемник 6.

Для полной очистки трубопровода модели по первому режиму требовался еще один импульс газа. Согласно второму режиму после первой подачи импульса газа загружали новую порцию смеси, и процесс повторяли. Перемещенную массу смеси в бункер взвешивали через 10, 15 и 20 импульсов.

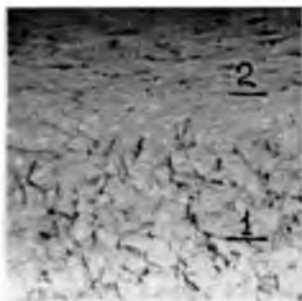
Результаты опытов приведены в табл. 1. Эксперименты показали, что смесь перемещается полностью при всех исследованных параметрах, кроме самого низкого давления или его перепада при влажности от 8 до 9%. Однако в случае увеличения продолжительности процесса (20 циклов) транспортирование частиц осуществляется полностью.

Т а б л и ц а 1. Зависимость транспортировки смеси от влажности осадка и числа импульсов

Число импуль- сов	Масса, г								
	100					300			
	$P_{\text{н}}/P_{\text{к}}$, МПа								
	Влажность, %	1,0/0,5	1,5/0,5	1,5/1,0	2,0/1,5	1,0/0,5	1,5/0,5	1,5/1,0	2,0/1,5
10	0	88,5	—	—	—	92,8	—	—	—
15		90,3	—	—	—	98,4	—	—	—
20		92,4	—	—	—	98,6	—	—	—
10	6	89,3	100	95,1	97,4	99,1	100	99,2	99
15		94	100	96,3	100	98,6	100	99,1	99,3
20		97,1	100	97,2	99,3	98,8	100	99,4	99,8
10	7	68,5	100	96,4	100	99,2	100	99,1	100
15		93,2	100	97,5	100	97,7	100	99	100
20		95,4	100	97,2	100	98,3	100	99,3	100
10	8	51,7	100	98,2	100	94,4	100	99,4	100
15		55,4	100	97,5	100	96,5	100	100	100
20		95,1	100	97,4	100	98,2	100	100	100
10	9	48,6	100	97,7	100	93,4	100	99,2	100
15		51,3	100	97,6	100	96,4	100	99,3	100
20		96,2	100	96,4	100	96,7	100	100	100

Такого же улучшения перемещения смеси удастся добиться путем повышения начального давления газа до $\geq 1,5$ МПа в ресивере или его перепада до 1,5/0,5 МПа.

Эксперименты на модели позволили перейти к опытам на полупромышленной установке. В этом случае порцию смеси выгружали из аппарата-растворителя в бункер и частично распределяли вдоль всего трубопровода. Последовательной подачей импульсов газа в сопла порция смеси перемещалась в приемник.



Р и с. 2. Смесь кусков конструкционных материалов ТВС и осадка в трубопроводе импульсного пневматического транспортирования перед началом процесса

Эксперименты показали, что независимо от процента влажности (от 0 до 15%) порция кусков с имитатором осадка (оксида алюминия) полностью удалялась в приемник, как и куски без осадка, за два полных цикла последовательной подачи импульсов газа через сопла, расположенные вдоль трассы. Все это проверяли как взвешиванием кусков, попадающих в приемник, так и дополнительным осмотром внутренней поверхности трубопровода через специальные люки, расположенные вдоль трассы полупромышленной установки. На рис. 2 показана внутренняя поверхность трубопровода трассы после выгрузки смеси из аппарата-растворителя около приемного бункера. Отчетливо видна смесь 1, на внутренней боковой поверхности — налипший на нее влажный оксид алюминия 2. На внутренней поверхности трубопровода после двух циклов последовательной подачи импульсов газа наблюдаются только следы влажного оксида алюминия (на рис. 3 белые следы).

Эксперименты показали, что для второго режима транспортирования после пяти циклов выгрузка массы составляла 95% загружаемой порции смеси.

Р и с. 3. Внутренняя поверхность трубопровода импульсного пневматического транспортирования после окончания процесса



На модели были проведены дополнительные эксперименты, где в качестве увлажняющей среды использовали смесь воды (1/3 по объему) и силикатного клея (2/3 по объему). В этом случае резко увеличивалась вязкость увлажняющей среды (вода — $10,02 \cdot 10^{-2}$ Па·с, смесь — 12,28 Па·с), т.е. примерно 100 раз.

Для полной очистки трубопровода от смеси по первому режиму транспортировки необходимо дополнительно подать до трех импульсов газа без последующей загрузки смеси. Результаты экспериментов для второго режима транспортирования смеси представлены в табл. 2 для разного начального давления газа в ресивере и при $P_k = 0,5$ МПа. Видно, что процесс переноса в обоих случаях идет лучше для большей загрузки при прочих одинаковых условиях опытов. Кроме того, выгрузка смеси в приемник постоянно увеличивается с ростом числа циклов импульсов газа.

Т а б л и ц а 2. Влияние вязкости на транспортировку смеси

Мас- са, г	Р _н , МПа	Влажность, %															
		6				7				8				9			
		Число импульсов															
		10	15	20	25	10	15	20	25	10	15	20	25	10	15	20	25
100	1	67,3	75,6	89,2	—	59,8	69,2	78,4	83,3	71,5	85,1	88,2	—	50	57,7	63	67,9
	1,5	91,8	93,3	94,2	94,6	92,8	95,6	96,9	97,8	88,5	91,7	93	93,5	80,7	83,8	86,2	87,5
	2	92,4	92,3	92,5	93,1	91	94,7	95,8	96,8	87,7	89,8	91	92,1	92,7	94,2	95,5	96,5
300	1	81,4	93,6	94,4	94,9	85,5	91,4	91,7	93,5	78,7	85,2	90,2	93,7	73	82,8	84,7	85,2
	1,5	95,7	96,2	96,5	97,9	97,3	97,6	97,8	98,4	97,3	98	98,4	98,5	97,2	98	98,2	98,2
	2	98,1	98,5	98,5	98,6	97,9	97,8	98,5	98,4	97,9	98,4	98,6	99	98,1	98,2	97,9	98,2

Процент переносимой массы смеси при использовании в качестве увлажняющей среды смеси воды и силикатного клея уменьшается за одинаковое число циклов. Однако эксперименты показывают, что, несмотря на резкое увеличение вязкости (примерно в 100 раз) увлажняющей среды, смесь транспортируется в приемник надежно.

Таким образом, исследования показали, что введение влажного осадка, образующегося при регенерации отработавшего топлива, в куски конструкционных материалов ТВС независимо от процентного содержания влаги, как и замена воды на смесь воды и клея, имеющую вязкость в 100 раз большую, не влияет на их транспортировку на захоронение.

Результаты исследований использованы для оптимизации технологического режима транспортировки кусков конструкционных материалов ТВС на захоронение системой импульсного пневматического транспортирования на ПО «Маяк».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Истомин В.Л. Импульсное пневматическое транспортирование металлических радиоактивных отходов ТВС АЭС. — Атомная энергия, 1994, т. 77, вып. 3, с. 231—232.
2. Землянухин В.И., Ильченко Е.И., Кондратьев А.Н. и др. Радиохимическая переработка ядерного топлива АЭС. М.: Энергоатомиздат, 1989.
3. Агеев А.Г., Ненарокомов Э.А., Савельев В.Ф., Ястребов А.Б. Подготовка облученного ядерного топлива к химической переработке. М.: Энергоатомиздат, 1982.
4. Громов Б.В., Савельев В.И., Шевченко В.Б. Химическая технология облученного ядерного топлива. М.: Энергоатомиздат, 1983.