

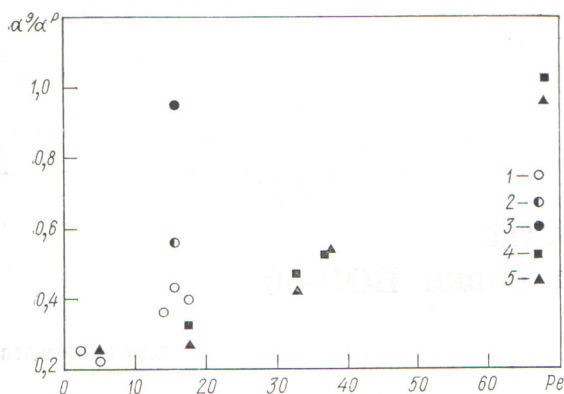


Рис. 3. Сравнение экспериментальных и расчетных значений коэффициента теплоотдачи в межтрубном пространстве промежуточного теплообменника установки БОР-60:

1 — $\Delta t_1 = 100^\circ \text{C}$ } $Nu_1 = 61,2 Pe^{0,8} \left(\frac{Q}{F} \right)^{1,2} [2];$
 2 — $\Delta t_1 = 150^\circ \text{C}$ }
 3 — $\Delta t_1 = 200^\circ \text{C}$ } $Nu_1 = 8 \cdot Pe^{0,6} \cdot d_{r1}/l_1 [3];$
 4 — $Nu_1 = 8 [d_{r1}/l_1 + 0,027 (x-1,1)^{0,46} \cdot Pe^{0,8}] [1]$ } $\Delta t_1 = 100^\circ \text{C}.$

$$\alpha_1 = (8\lambda_1/d_{r1}) Pe_1^{0,6} [d_{r1}/l_1 + 0,027 (x-1,1)^{0,46}];$$

$$\alpha_2 = \frac{\lambda_2}{d_{r2}} \cdot (5 + 0,025 \cdot Pe_2^{0,8})$$

(индекс 1 относится к первому, а индекс 2 ко второму контуру).

Как следует из графика, экспериментальные точки при расходах теплоносителя со стороны первого контура, меньших $300 \text{ м}^3/\text{час}$, находятся ниже расчетных. Обработка тех же результатов с выделением теплообмена в межтрубном пространстве была проделана в критериальной форме и представлена на рис. 2. При значении критерия $Pe_1 \approx 100$ имеет место хорошее совпадение экспериментальных и расчетных значений критерия Нуссельта.

Авторы [1] вышеприведенной формулы для расчета коэффициента теплоотдачи в межтрубном пространстве α_1 рекомендуют пользоваться ею при значениях кри-

терия $Pe > 200$. Для рассматриваемого теплообменника значение критерия $Pe_1 = 200$ является предельным, практически рабочий диапазон для него находится в интервале 60—100. Более низкие по сравнению с расчетными значениями критерия Нуссельта при $Pe_1 < 60$ можно объяснить отсутствием при данных параметрах тепловой и гидродинамической стабилизации потока теплоносителя. Это наглядно проявилось при сравнении режимов с критерием $Pe_1 = 16$ и перепадами температур между входом и выходом в межтрубный пучок теплообменника, равными $\Delta t_1 = 100, 150$ и 200°C . Из рис. 3 следует, что для больших значений перепадов температур между входом и выходом имеет место более высокое значение коэффициента теплоотдачи. Это можно объяснить возникновением встречной смешанной конвекции, приводящей к лучшему выравниванию температуры по сечению пучка при больших значениях Δt_1 . На рис. 3 представлены также результаты обработки экспериментальных данных по формулам для коэффициента теплоотдачи работ [1—3]. В рассматриваемом интервале изменения критерия Пекле результаты обработки с использованием трех формул практически совпадают.

Таким образом, при расходах теплоносителя с одной из петель первого контура выше $300 \text{ м}^3/\text{час}$ (что соответствует значению критерия $Pe_1 \geq 80$) и второго $300 \text{ м}^3/\text{час}$, получено хорошее совпадение экспериментальных результатов с расчетными для коэффициента теплопередачи промежуточного теплообменника установки БОР-60. Для меньших значений расхода ($Pe_1 < 80$) со стороны первого контура (межтрубное пространство) значение экспериментального коэффициента теплоотдачи ниже расчетного.

Поступило в Редакцию 10/V 1973 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кириллов П. Л., Суворов М. Я. В сб.: Жидкие металлы. Под ред. П. Л. Кириллова, В. И. Субботина, П. А. Ушакова. М., Атомиздат, 1967, с. 194.
2. Боришанский В. М. и др. Жидкометаллические теплоносители. Изд. 2-е, М., Атомиздат, 1967, с. 209.
3. Субботин В. И. и др. III Женевская конференция по мирному использованию атомной энергии (1964), доклад № 328.

Формирование структуры виброуплотненной двуокиси урана в твэлах при натурных испытаниях в быстром реакторе БОР-60

ДАВЫДОВ В. Ф., СЮЗЁВ В. Н., ПЕТУХОВ А. А., АНТИПИНА М. М.

УДК 621.039.548

В реакторе БОР-60 облучен до выгорания $\sim 2,3\%$ тяжелых атомов экспериментальный пакет с твэлами, в которых двуокись урана, в том числе полученная электрохимически, уплотнена вибрационным методом до 8,0; 8,5 и $9,0 \text{ г/см}^3$.

Конструкции пакета, твэлов и используемые материалы не отличались от штатных пакетов БОР-60 [1] за исключением вида горючего. Чтобы устранить возможность перемещения в твэле, виброуплотненная двуокись урана удерживалась с обеих сторон пористыми никелевыми пробками. Твэлы комплектовались в пучок из 37 элементов.

Выход реактора на мощность проведен по ступенчатому режиму (рис. 1, табл. 1).

В результате первичных исследований пакета и твэлов после облучения установлено их удовлетворительное состояние. Не наблюдалось изменения формы, нарушения прямолинейности и герметичности твэлов.

Металлографический анализ горючего с разной плотностью позволил установить следующие особенности: во всех твэлах образовалась обычная для двуокиси урана центральная полость и трехзонная структура; в твэлах с плотностью двуокиси урана $9,0 \text{ г/см}^3$ осевая полость равномерна по всей высоте активной

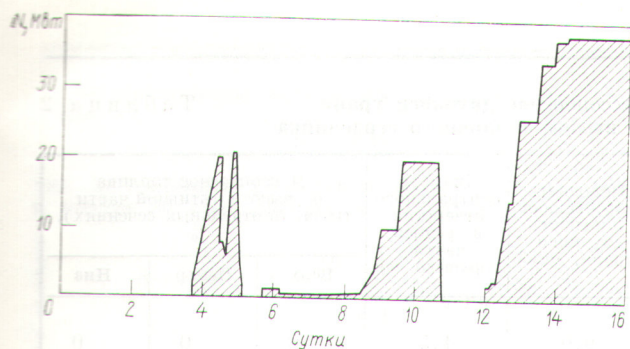


Рис. 1. График выхода реактора BOR-60 на мощность 38 Мвт.

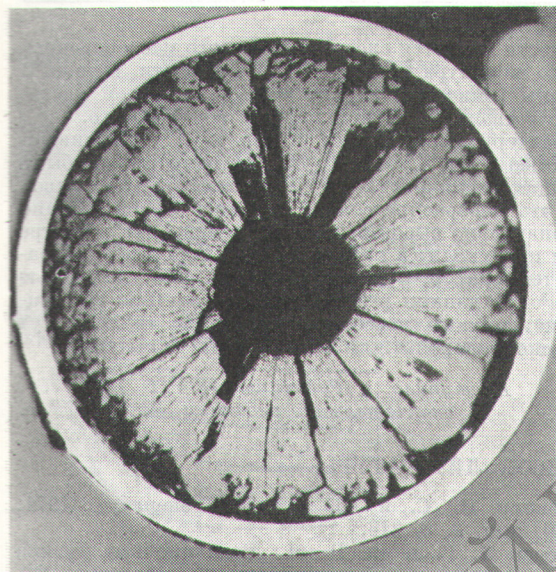


Рис. 2. Макроструктура центральной части твэла с виброуплотненной двуокисью урана плотностью 9,0 г/см³.

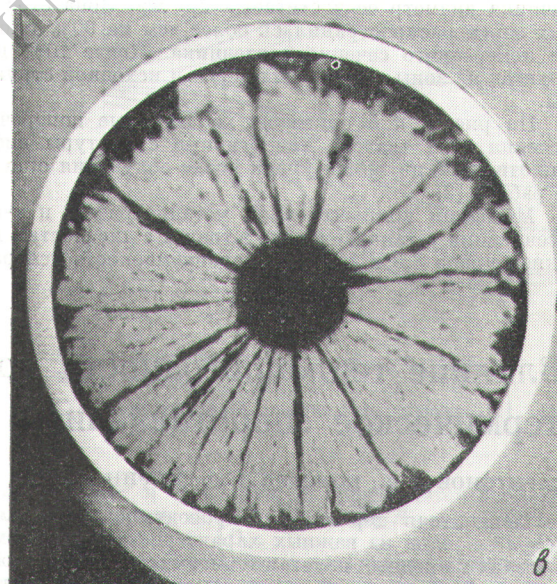
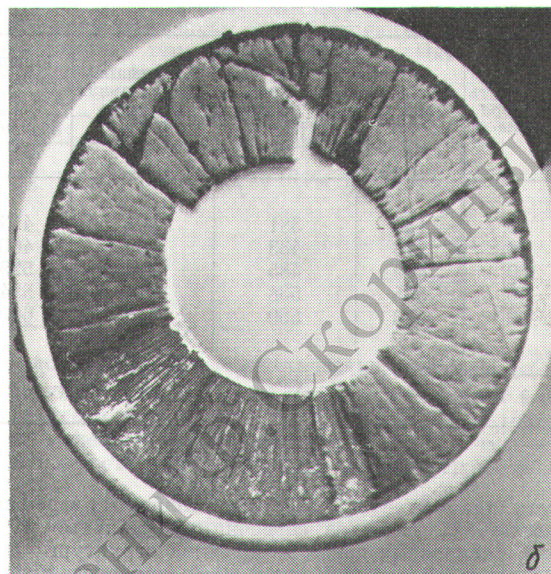
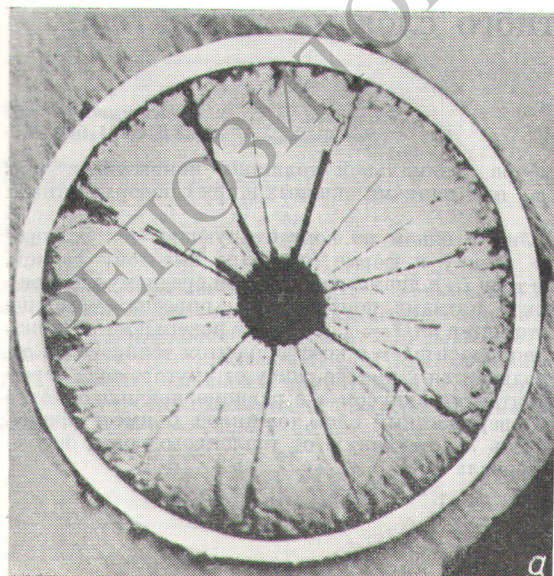


Рис. 3. Макроструктура поперечных сечений твэла с виброуплотненной двуокисью урана плотностью 8,5 г/см³:
а — верх; б — центр; в — низ активной части.



Тепловые характеристики пакета с твэлами, содержащими виброуплотненную двуокись урана

Таблица 1

Мощность реактора, Мвт	Мощность пакета, квт	Температура натрия на выходе из пакета, °С *	Максимальная удельная нагрузка в твэлах, вт/см	Максимальная температура оболочек, °С
10	136	381	104	413
20	273	433	209	460
30	409	485	313	525
40	545	538	418	584
42	573	550	440	600

* Температура натрия на входе в реактор 330° С.

Массоперенос двуокиси урана по высоте топливного сердечника

Таблица 2

Исходная эффективная плотность двуокиси урана, г/см ³	Диаметр центрального отверстия в средней части горючего, мм	Массоперенос топлива по высоте активной части твэла, (в отдельных сечениях), %		
		Верх	Центр	Низ
9,0	1,5	0	0	0
8,5	2,5	+12	-16	+12
8,0	2,6	+10	-6	+10

ной полости является следствием осевого массопереноса горючего из центра к концам активной части. В табл. 2 приведены величины, характеризующие осевой массоперенос в твэлах с разной плотностью горючего.

Характер массопереноса в твэлах с эффективной плотностью 8,0 и 8,5 г/см³ (убыль в центре и прибыль на концах активной зоны) позволяет сделать вывод о том, что перераспределение двуокиси урана связано с первоначально высоким уровнем температур в центре твэла и происходит в паровой фазе в поле осевого градиента температур. В твэлах с эффективной плотностью 9,0 г/см³ при данном режиме выхода реактора на мощность нет осевого массопереноса; такие твэлы могут быть рекомендованы для дальнейших испытаний.

Поступило в Редакцию 18/VII 1973 г.
В окончательной редакции 12/X 1973 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головин И. С. и др. «Атомная энергия», 1971, т. 30, вып. 2, с. 216.
2. Лебедев И. Г. и др. В кн.: Радиационная физика твердого тела и реакторное материаловедение. М., Атомиздат, 1970, с. 171.

Влияние теплопроводности поверхностного слоя на контактное термическое сопротивление

ХАРИТОНОВ В. В., КОКОРЕВ Л. С., ТЮРИН Ю. А.

УДК 621.039.517

Контактная термическая проводимость α_K вт/м² × град — одна из важных характеристик теплообмена в твэлах и анодных пакетах термоэмиссионных преобразователей. Величина α_K может заметно уменьшаться при образовании окисных пленок на соприкасающихся поверхностях металлов [1] и значительно возрастать, если на контактирующие поверхности нанести слой металлов с высокой теплопроводностью [2]. Та часть α_K , которая зависит от поверхностных свойств материалов, определяется плотностью пятен контакта n (м⁻²) и сопротивлениями R_1 и R_2 (град/вт) стягивания линий тока тепла к этим пятнам в обоих телах [1—3]:

$$\alpha_K = n/(R_1 + R_2). \quad (1)$$

В настоящей работе выполнен наиболее полный расчет R с целью получить обоснованные рекомендации

для выбора оптимальной толщины покрытий и для оценок α_K при наличии окисных и иных поверхностных слоев.

Выделим в одном из контактирующих тел эквивалентную ячейку в форме цилиндра высотой, равной толщине тела L , и диаметром, равным среднему расстоянию между пятнами контакта $2a$, определяемому по плотности пятен n $\pi a^2 = 1$. Верхняя поверхность охлаждается теплоносителем с коэффициентом теплоотдачи α . Тепло подводится к ячейке снизу от другого тела через пятно контакта радиусом a с равномерной плотностью $Q/\pi a^2$. Поверхностный слой толщиной δ имеет теплопроводность λ_0 , отличную от теплопроводности основного материала λ .