

и для других облученных соединений урана — U_6Fe , U_3Si , UAl_2 , UAl_3 , UAl_4 [7, 8, 9]. Тот факт, что при высокотемпературном облучении до весьма высоких флюенсов нейтронов монокарбид урана не проявляет тенденции к аморфизации, может быть объяснен восстановлением структуры в процессе облучения.

В исследованиях принимала участие З. А. Титик. Автор благодарит И. А. Наскидашвили за неизменный интерес к работе и полезные обсуждения, а также О. И. Юрину за помощь в проведении расчетов.

Поступило в Редакцию 28.XII.77

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chids B. e.a. In: Proc. of IAEA Conf. Rep. N 661, 1963.

2. Sinizer D. e.a. In: Proc. of Venice Conf., 1963, v. 3, p. 287.
3. Crane J., Gordon E. In: Proc. Symp. on Carbides in Nucl. Energy. Harwell, 1963.
4. Frost B. e.a. [2], p. 219.
5. Griffiths L. «J. Nucl. Mater.», 1961, v. 4, p. 336.
6. Matsui Hisayuki. Ibid., 1975, v. 56, p. 161.
7. Bloch e.a. Ibid., 1961, v. 3, p. 327.
8. Bethune V. Ibid., 1968, v. 31, p. 197.
9. Наскидашвили И. А., Майле Х. Э., Доддзе В. М. В кн.: Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. Вып. 1 (2). Харьков, изд. ХФТИ, 1975.

УДК 621.039.555.556

О возможности увеличения потока «горячих» нейтронов на пучке реактора ИВВ-2 ретермализатором

ГУСЕВ В. В., ГОЩИЦКИЙ Б. Н., ЕФАНОВ А. И., МЕСРОПОВ М. Г., ПОЛОСУХИН Б. Г., ЧУДИНОВ В. Г.

Горячие нейтроны ($E = 0,1 \div 0,5$ эВ) используются в дифракционных экспериментах при изучении строения вещества. Доля таких нейтронов в спектре пучков тепловых нейтронов, выводимых из каналов ядерного реактора, невелика. Для увеличения плотности потока этих нейтронов нагретый до достаточно высокой температуры блок замедлителя — ретермализатор — сдвигает среднюю энергию нейтронов в область более высоких энергий. Выбор материала ретермализатора для источника горячих нейтронов (ИГН) обуславливается как ядерно-физическими свойствами, так и работоспособностью материала при температуре от 600 до 2000 °С. В существующих ретермализаторах используются графит, бериллий и окись бериллия в виде цилиндрических блоков диаметром 100–200 и длиной 100–300 мм при $T_m \approx 800 \div 2000$ °С [1–5]. В некоторых случаях для достижения $T_m > 1000$ °С дополнительно применяется электрический или индукционный разогрев [1, 4]. Плотность потока горячих нейтронов увеличивается от 2 до 7 раз и сильно зависит от типа реактора, материала, толщины, температуры и местоположения ретермализатора относительно активной зоны.

Для увеличения плотности потока нейтронов энергией от 0,1 до 0,2 эВ перспективным ретермализатором относительно малой толщины является водородсодержащий материал, например гидрид циркония при $T_m \approx 600$ °С. Разогрев его может быть осуществлен радиационным тепловыделением*. При фиксированном значении T_m и заданном расположении ИГН в реакторе максимальное увеличение плотности потока горячих нейтронов с определенным значением E может быть получено при некоторой оптимальной толщине ретермализатора. Такой вывод основан на исследованиях генератора холодных нейтронов [7, 8].

Измерения проводили на стенде физического моделирования реактора ИВВ-2 с подвижным Po—Be-источником выходом $6 \cdot 10^7$ нейтр./с [7]. В макете ИГН (рис. 1) использованы два бака: наружный (вакуумный кожух из алюминиевого сплава) и внутренний (бак ретермализатора из коррозионно-стойкой стали), вставленные один в другой с зазором ~ 20 мм. Для вакуумной теплоизоляции внутреннего бака ретермализатора давление в наружном баке поддерживалось на уровне $(2 \div 1) \times 10^{-2}$ мм рт. ст. Толщину ретермализатора изменяли от 10 до 50 мм ступенями по 10 мм и набирали из слоев гидрида циркония. Между ними устанавливали два нихромовых электронагревателя и три хромель-алюмелевые термодары для контроля температуры гидрида циркония, автоматически поддерживавшейся на заданном уровне. Нейтроны регистрировались детектором из семи 3He -счетчиков СНМ-16, установленных вдоль оси канала. Этот детектор обладал практически одинаковой чувствительностью и к нейтронам тепловой части спектра. Коллимацию выбирали такой, чтобы детектор «видел» эффективную излучающую поверхность гидрида циркония диаметром 150 мм.

Измерения проводили с борными фильтрами, в качестве которых использовали тонкий и толстый фильтры на основе стеклоткани марки Э-0,06 с известным содержанием бора*.

Для тонкого фильтра (при $\Sigma_a t \ll 1$) с сечением поглощения тепловых нейтронов $\Sigma_a \sim 1/\sqrt{T}$ квадрат отношения поглощения нейтронов фильтром обратно пропорционален отношению температур нейтронов, проходящих через фильтр (при сохранении неизменными прочих внешних условий формирования пучка нейтронов). Расчет, проведенный в предположении

* Разогрев гидрида циркония до более высокой температуры практически невозможен, поскольку при $T_m = 600$ °С он интенсивно разлагается с выделением водорода [6].

* Попытка прямого выделения нейтронов энергией от 0,1 до 0,2 эВ кристаллическим монохроматором из свища не удалась, по-видимому, из-за недостаточного выхода нейтронов источника.

Относительное увеличение температуры нейтронов*

Эксперимент	$T_m, ^\circ\text{C}$	$t, \text{мм}$				
		10	20	30	40	50
Без графитового отражателя	400	$1,0 \pm 0,2$ ($1,0 \pm 0,2$)	$1,2 \pm 0,2$ —	$1,3 \pm 0,2$ ($1,6 \pm 0,2$)	$1,3 \pm 0,2$ —	$1,3 \pm 0,2$ ($1,3 \pm 0,2$)
	600	$1,0 \pm 0,2$ ($1,0 \pm 0,2$)	$1,4 \pm 0,1$ —	$1,7 \pm 0,1$ ($1,9 \pm 0,1$)	$1,7 \pm 0,1$ —	$1,7 \pm 0,1$ ($1,9 \pm 0,1$)
С графитовым отражателем толщиной 80 мм	400	$1,0 \pm 0,2$ ($1,0 \pm 0,2$)	$1,2 \pm 0,2$ —	$1,3 \pm 0,2$ —	$1,3 \pm 0,2$ —	$1,3 \pm 0,2$ ($1,7 \pm 0,2$)
	600	$1,0 \pm 0,2$ ($1,0 \pm 0,2$)	$1,4 \pm 0,1$ —	$1,6 \pm 0,1$ ($1,8 \pm 0,1$)	$1,7 \pm 0,1$ —	$1,7 \pm 0,1$ ($1,9 \pm 0,1$)

* Без скобок — результаты измерений с тонким фильтром, в скобках — с толстым фильтром.

максвелловского распределения плотности потока тепловых нейтронов по энергии в диапазоне температуры нейтронов от 300 до 1000 К, показывает, что отношение пропусканий нейтронов толстым борным фильтром (до кадмиевой границы) пропорционально отношению температур нейтронов, проходящих через фильтр. Значение температуры нейтронов T_K , соответствующее комнатной температуре ретермализатора, определяет наклон линейной зависимости отношения пропусканий от температуры нейтронов, которая подтверждается экспериментальными результатами. Это значение подбирали таким образом, чтобы расчетная зависимость относительного увеличения пропускания совпадала с экспериментальной в пределах погрешности измерений.

При этом предположении $T_K = 350 \div 360 \text{ К}$, что согласуется со значением, полученным ранее при измерении спектров выводимых пучков нейтронов на реакторе (365 К) [9]. Толщину тонкого фильтра выбирали из условия минимизации суммарной погрешности (методической и статистической), она составляла 0,24 см; толщину толстого фильтра — из условия десятикратного ослабления плотности потока нейтро-

нов энергией 0,1 эВ (3,84 см). При измерениях пропусканий нейтронов до кадмиевой границы после фильтра устанавливали кадмий толщиной 1 мм (см. рис. 1).

Относительное увеличение плотности потока нейтронов энергией E в интервале от 0,1 до 0,2 эВ при нагревании ретермализатора рассчитывали по отношению долей нейтронов энергией E в максвелловских спектрах с температурами T и T_K , соответствующими степени разогрева ретермализатора. Абсолютное увеличение плотности потока нейтронов энергией E в интервале от 0,1 до 0,2 эВ, получаемое при установке ИГН, определяли как отношение долей нейтронов энергией E в максвелловском спектре выводимых пучков нейтронов при установке ИГН и без него соответственно.

Относительное увеличение температуры нейтронов от температуры разогрева гидрида циркония различной толщины приведено в таблице с указанием средней квадратической погрешности для нормального закона распределения при доверительной вероятности 0,68. Экспериментам без графитового отражателя соответствует установка ИГН непосредственно вблизи активной зоны, а экспериментам с графитовым отражателем (последний помещался между моделью активной зоны и макетом ИГН) — установка ИГН за отражателем реактора. Увеличение плотности потока нейтронов g_0 энергией E в зависимости от толщины гидрида циркония t при разогреве его до 600 °С (в отсутствие графитового отражателя) представлено на рис. 2, откуда следует, что максимальное значение g_0 обеспечивается при оптимальной толщине ретермализатора 30 мм. При $t > t_{\text{опт}}$ наблюдается уменьшение значений g_0 , обусловленное снижением плотности потока тепловых нейтронов. Установка графитового отражателя толщиной 80 мм снижает g_0 на 20—25% и приводит к некоторому увеличению оптимальной толщины гидрида циркония (примерно до 40 мм).

Удаление ретермализатора от модели активной зоны в направлении выведения пучка приводит к уменьшению g_0 на 1—1,5% на каждый сантиметр удаления. При использовании стали X18E10T толщиной 0,8—1,5 мм в качестве материала бака ретермализатора g_0 снижается на 2—4%. При установке рассеивателя (пластины) из алюминиевого сплава толщиной 6 мм, имитирующего вакуумный кожух ИГН, на стороне

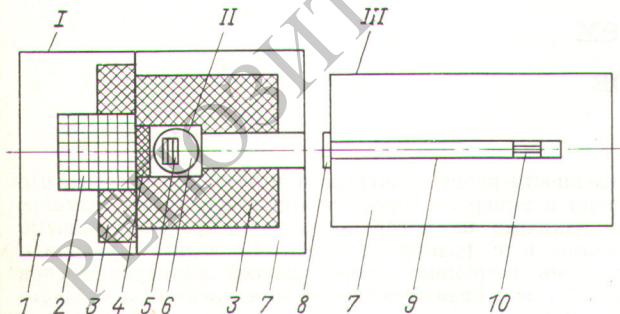


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

I — стенд физического моделирования; II — макет ИГН; III — климатор; 1 — вода; 2 — модель активной зоны; 3 — графит; 4 — графитовый отражатель; 5 — гидрид циркония; 6 — вакуумный теплоизоляционный зазор; 7 — полиэтилен; 8 — борный фильтр; 9 — кадмий; 10 — детектор

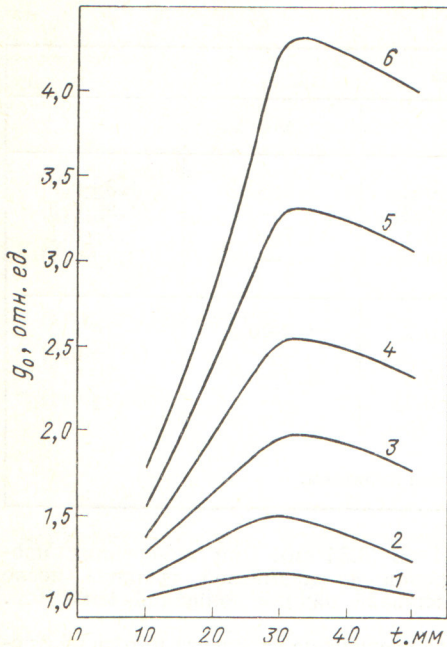


Рис. 2. Зависимость g_0 от толщины гидрида циркония при $T_{гг} = 600^\circ\text{C}$ для энергии 0,10 (1); 0,12 (2); 0,14 (3); 0,16 (4); 0,18 (5) и 0,20 эВ (6)

ретермализатора, обращенной к детектору, наблюдается уменьшение g_0 примерно на 1% на каждый сантиметр удаления от ретермализатора.

Таким образом, нагретый до температуры 600°C гидрид циркония обеспечивает абсолютное увеличение плотности потока нейтронов в 1,2—4,3 раза в зависимости от значения E в интервале от 0,1 до 0,2 эВ (см. рис. 2). Температура нейтронов выводимого пучка оценивается $600\text{—}650\text{ K}$.

Для максимального увеличения плотности потока нейтронов энергией от 0,1 до 0,2 эВ целесообразно устанавливать ИГН ближе к активной зоне реактора. Стенка вакуумного кожуха ИГН должна приближаться к поверхности ретермализатора, обращенной в сторону выведения пучка. Стационарная температура радиационного разогрева образца из гидрида циркония в отражателе реактора достигает 550°C [10]. Поэтому разогрев ретермализатора из гидрида циркония в ИГН на реакторе может проводиться радиационным тепловыделением в материалах без применения дополнительных электронагревателей.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность Н. А. Доллежалю за постоянный интерес к работе, А. Г. Чудину за ценные замечания, А. Н. Балеевских и В. И. Щербакову за помощь в проведении измерений.

Поступило в Редакцию 5.1.78

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Carter P. «J. Nucl. Energy», 1971, v. 25, p. 11.
2. Egelstaff P. e.a. «Nucl. Instrum. Methods», 1968, v. 59, p. 245.
3. Bohme G. e.a. «Bull. Inform. Sci. Techn.», 1972, N 166, p. 23.
4. Ageron P. e.a. Rep. CEA-R-3613. Grenoble, 1968, p. 1.
5. Abeln O. e.a. In: Proc. IAEA Symp. «Neutron Inelastic Scattering». Copenhagen, 20—25 May 1968, v. 2, p. 331.
6. Гидриды металлов. М., Атомиздат, 1973.
7. Гощицкий Б. Н. и др. «Атомная энергия», 1973, т. 35, вып. 4, с. 231.
8. Чудинов В. Г. и др. Там же, 1975, т. 38, вып. 3, с. 181.
9. Гощицкий Б. Н. и др. Там же, 1970, т. 28, вып. 5, с. 425.
10. Герасименко В. П. и др. Там же, 1971, т. 31, вып. 1, с. 7.

УДК 536.5:539.1.073(045)

Термометрия сред с использованием твердотельных трековых детекторов

ДУБАСОВ Ю. В., ЖЕРЕХОВ В. Г., НИКОЛАЕВ В. А.

В одной из первых работ, посвященных методу твердотельных трековых детекторов (ТТД), было установлено, что нагревание облученных непротравленных детекторов приводит к регрессии треков [1]. После протравливания детекторов регрессия проявляется в уменьшении размеров и плотности треков на детекторе. В ряде случаев этот эффект необходимо учитывать, например при определении возраста минералов трековым методом [2]. Учет эффектов регрессии сводился в основном к введению поправки в зарегистрированное число треков. Кроме того, в работе [2] проводились качественные оценки степени нагрева минерала. Количественные измерения были затруднены из-за неопре-

деленности времени нагрева и того обстоятельства, что треки в минерале образовывались осколками деления, выходящими на поверхность детектора под разными углами и с разной глубиной. Последнее приводило к очень широкому распределению размеров треков [рис. 1, а] и низкой точности определения их среднего размера.

Целью настоящей работы была разработка сравнительно точного метода измерения температуры различных сред с помощью измерения относительного уменьшения среднего диаметра треков в стеклянных детекторах различного состава. Метод предназначен для случаев, когда трудно использовать обычные методы