

руда с примесью 1% боратовой руды, нижний слой (300 мм) аналогичен по составу верхнему. Данные химического анализа проб засыпки, образование толстых слоистых корок, ржавчина на металлоконструкциях в песчаной засыпке и поверхности металлоконструкций, уплотнение железной руды указывают на проникновение влаги до нижней решетки. Произошло почти полное вымывание бора из железной руды и песка и перенос его на поверхность металлоконструкции. Наиболее активно коррозионные процессы протекали в песчаной засыпке. Утонение несущей балки составляет 32% проектной толщины. Коррозия общая и язвенная. Глубина язв 3—5 мм, одиночных до 12 мм.

Опорная балка и основная опорная конструкция, находящиеся главным образом в засыпке железной рудой, подверглись коррозии в меньшей степени, утонение до 12% проектной толщины. Опорные стойки, расположенные в верхней части засыпки в периферийных зонах, а также заклепочные соединения горизонтальных полок опорных конструкций прокорродировали до полного исчезновения. Верхняя решетка радиационной защиты (лист 36 мм) находилась в воздушной среде, имеет следы конденсации влаги. Скорость общей коррозии незначительна, оставшаяся толщина составляет 35 мм по сравнению с 36 мм проектными. Утонение нижнего листа решетки незначительно и находится в пределах допуска на листовую сталь.

Характеристики трещиностойкости металла периферии имеют абсолютные значения, близкие к характерным для необлученной стали с 0,2% углерода ($\sigma_c = 310$ —350 МПа). В металле центральной части листа наблюдается разброс значений трещиностойкости: 20% образцов имеют пониженные характеристики — $\sigma_c = 12,5$ —67,5 МПа, что подтверждает вывод о начальной стадии изменения свойств стали в соответствии с набранным флюенсом нейтронов. Ввиду того, что по расчетным оценкам флюенс нижней опорной плиты графитовой кладки находится на уровне $1 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-2}$, следует ожидать существенного изменения механических свойств нижних опорных конструкций.

В целом комплексное инженерное обследование промышленных реакторов, создание проектной и нормативной документации, демонтажные работы показывают, что налицо крупная научно-техническая проблема, для решения которой целесообразно объединение усилий как внутри страны, так и на международном уровне.

Поступила в Редакцию 20.10.95

УДК 621.039.85

ФИЛЬТРОВАННЫЕ ПУЧКИ НЕЙТРОНОВ СО СРЕДНЕЙ ЭНЕРГИЕЙ 313 И 610 кэВ НА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ РЕАКТОРЕ ВВР-М

Литвинский Л.Л., Гаврилюк В.И., Кривенко В.Г. (ИЯИ НАН Украины)

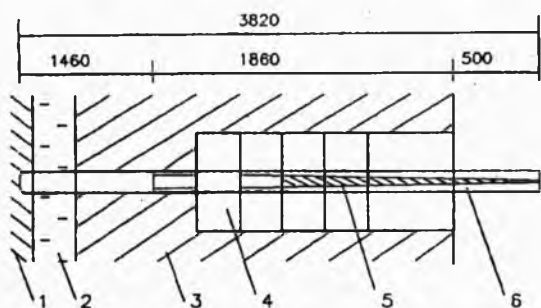
Идея фильтрации реакторных нейтронов со сплошным спектром с помощью материалов, полные нейтронные сечения σ_t которых имеют глубокие интерференционные минимумы, была впервые высказана в работе [1]. Традиционные фильтры, используемые в некоторых лабораториях, основываются на природных элементах Fe, Si, S, Sc, Al, Ti и обеспечивают формирование квазимоноэнергетических пучков со средней энергией 1,9 кэВ (Sc-фильтр), 24,3 кэВ (Fe—Al—S-фильтр), 53,5 кэВ (Si—S-фильтр), 75 кэВ (S-фильтр) и 144 кэВ (Si—Ti-фильтр). Обзор применения таких фильтров в различных лабораториях представлен в работе [2]. В работе [3] методом пропускания нейтронов исследованы стабильные изотопы $^{58,60}\text{Ni}$ и описана принципиальная возможность формирования квазимоноэнергетических пучков нейтронов со средней энер-

гией $\sim 4, 12$ и 59 кэВ на основе фильтров из этих изотопов. Широкий набор фильтров на основе стабильных изотопов ^{10}B , ^6Li , ^{52}Cr , $^{54,56,57,58}\text{Fe}$, $^{58,60,62,64}\text{Ni}$ и природных элементов F, Al, Si, S, Sc, Ti, V, Mn, Cd и Rh создан и эксплуатируется на исследовательском реакторе ВВР-М ИЯИ НАН Украины [4—7]. Этот набор позволяет формировать примерно 20 пучков квазимоноэнергетических нейтронов различной энергией в интервале $E_n = 1\text{—}275$ кэВ. Однако следует отметить, что Mn—V—S-фильтр, формирующий пучок нейтронов со средней энергией $E_n = 275$ кэВ [5], неудовлетворителен из-за большой доли ($\sim 37\%$) примесных групп квазимоноэнергетических нейтронов. Поэтому верхний предел надежно перекрываемого интервала энергии даже для этого набора фильтров составляет $E_n^{\text{max}} = 144$ кэВ, что существенно ограничивает возможность использования методики фильтрованных пучков, в частности, для исследования неупругого рассеяния нейтронов, так как некоторые ядра (например, большинство тяжелых четно-четных ядер) имеют первый возбужденный уровень при энергии $E_1 > E_n^{\text{max}}$.

В связи с необходимостью расширения перекрываемого диапазона энергии в дополнение к имеющемуся на ВВР-М набору фильтров в настоящей работе разработаны и созданы два новых фильтра на основе стабильных изотопов ^6Li , ^{52}Cr , $^{54,56}\text{Fe}$, ^{60}Ni и природных элементов Mg, V и Fe, формирующие пучки со средней энергией $E_n = 313$ и 610 кэВ. Состав фильтров приведен в таблице.

Характеристики нейтронных фильтров

Энергия, кэВ	Полная ширина на половине высоты нейтронной линии, кэВ	Состав, г/см ²	Плотность потока, $10^5 \text{ c}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$	Интенсивность основной линии, %	Примесные линии	
					энергия, кэВ	интенсивность, %
313	2,1	^{60}Ni 180, ^{56}Fe 102, ^{54}Fe 171, Fe 11,7, ^{10}B 0,2	1,9	90	108 185	2,5 7,5
610	2,5	^{52}Cr 177, ^{60}Ni 213, V 3,7, Mg 7, ^6Li 8,2, ^{10}B 0,2	2	74	330 770	2, 24



Р и с. 1. Схема размещения фильтров в горизонтальных каналах реактора: 1 — активная зона; 2 — слой воды; 3 — радиационная защита; 4 — диски шибера канала; 5 — материал фильтра; 6 — выносной коллиматор

Формирование нейтронного пучка со средней энергией $E_n = 313$ кэВ определяется глубокими интерференционными минимумами в σ_t $^{54,56}\text{Fe}$ и ^{60}Ni вблизи этой энергии. Пучок с $E_n = 610$ кэВ формируется благодаря соответствующим минимумами в σ_t ^{52}Cr и ^{60}Ni .

Схема размещения фильтров показана на рис. 1. Для формирования нейтронного пучка использовались ступенчатосходящиеся по внутреннему диаметру

цилиндрические коллиматоры из свинца и борированного парафина (или текстолита), размещенные за дисками, в пяти дисках шибера горизонтального канала и на выходе канала за границей радиационной защиты реактора. Коллиматоры из свинца и водородсодержащих материалов имели длину 100 мм каждый и чередовались последова-

тельно. Диаметр нейтронного пучка на входе горизонтального канала (граница активной зоны) составляет 100 мм, на выходе выносного коллиматора — 32 мм.

На рис. 2 приведены выделяемые этими фильтрами спектры нейтронов, измеренные с помощью пропорционального водородного счетчика СНМ-38. Методика восстановления нейтронных спектров из спектров протонов отдачи, измеряемых с помощью счетчика, была описана в работе [8]. С помощью водородного счетчика потоки нейтронов, выделяемых фильтрами, были измерены по отношению к потоку нейтронов с $E_n = 24,3$ кэВ, выделяемых традиционным фильтром из ^{56}Fe , Al и S, для которого абсолютный поток на расстоянии ~ 1 м от выхода фильтра был измерен по реакции $^{10}\text{B}(n, \alpha, \gamma)$.

В таблице приведены характеристики разработанных фильтров (средняя энергия, полная ширина на половине высоты нейтронной линии, состав, поток на расстоянии 1 м от выхода фильтра, интенсивность основной линии и характеристики примесных групп). Погрешности определения полной ширины на половине высоты нейтронной линии и потока составляют 20 и 10% соответственно. Новые фильтры имеют высокую интенсивность ($\Phi \sim 2 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$) и чистоту по основной нейтронной линии ($> 70\%$), что позволяет проводить измерения в энергетическом диапазоне, ранее недоступном для наиболее светосильной на сегодняшний день методики фильтрованных пучков. В частности, использование фильтра с $E_n = 313$ кэВ позволяет существенно расширить число атомных ядер, потенциально доступных для исследования их сечений неупругого рассеяния.

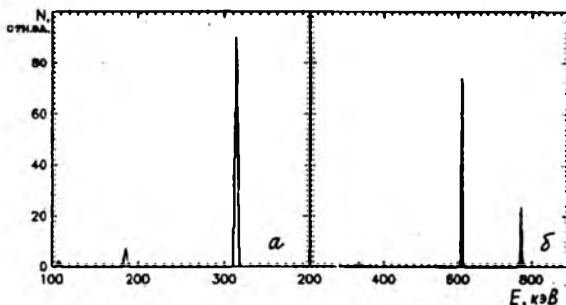
В заключение авторы выражают благодарность В.А. Либману и А.В. Мурзину за помощь при подготовке изотопных материалов. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Объединенного фонда правительства Украины и Международного научного фонда (грант № K4S100).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Simpson O., Miller L. A technique to measure neutron cross section in the 1000 keV energy region. — Nucl. Instrum. Meth., 1968, v. 61, №3, p. 245.
2. Barschall H., Bartholomew G., Bigham C. e.a. Neutron Sources for Basic Physics and Applications. New York: Pergamon Press, 1983. 349 p.
3. Harvey J.A., Hill N., Harvey J.R. Neutron filters for producing monoenergetic neutron beams. — In: Proc. Intern. Conf. on Nuclear Data for Science and Technol., Antwerp., 6—10 Sept. 1982. Dordrecht: Reidel Publishing, 1982. 856 p.
4. Мурзин А.В., Вертебный В.П., Гаврилюк В.И. и др. Нейтронные фильтры на основе V, Mn, S и стабильных изотопов ^{52}Cr , ^{56}Fe , ^{58}Ni и ^{60}Ni . — Атомная энергия, 1989, т. 67, вып. 3, с. 216.
5. Литвинский Л.Л., Мурзин А.В., Новоселов Г.М., Пуртов О.А. Анализ сечений неупругого рассеяния промежуточных нейтронов и выбор граничных условий в R-матричной теории. — Ядерная физика, 1990, т. 52, вып. 4, с. 1025.
6. Литвинский Л.Л., Мурзин А.В., Шкарупа А.М. Нейтронные сечения ^{187}Os и их анализ с учетом возможной корреляции каналов упругого и неупругого рассеяния. — Там же, 1993, т. 56, вып. 1, с. 31.
7. Литвинский Л.Л., Ворона П.Н., Кривенко В.Г. и др. Полные нейтронные сечения и резонансные параметры четных изотопов никеля $^{58,60,62,64}\text{Ni}$ в диапазоне энергий 2—8000 эВ. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерные константы, 1990, вып. 3, с. 27.
8. Литвинский Л.Л., Либман В.А., Мурзин А.В. Установка для определения угловых распределений упруго- и неупругорассеянных нейтронов с помощью нейтронных фильтров: КИЯИ-85-35, 40 с.

Поступила 6.12.93

В окончательной редакции 24.11.95



Р и с. 2. Спектры нейтронов, выделяемых фильтрами на основе ^{60}Ni , $^{54,56}\text{Fe}$ (а) и ^{52}Cr , ^{60}Ni (б)