

Н. И. Власенко<sup>1</sup>, М. Н. Коротенко<sup>1</sup>,  
С. Л. Литвиненко<sup>1</sup>, В. В. Стывбун<sup>1</sup>,  
А. К. Костиков<sup>2</sup>, В. М. Подтынних<sup>2</sup>,  
И. А. Морозов<sup>3</sup>, Р. А. Морозова<sup>3</sup>,  
В. В. Тришин<sup>4</sup>, В. Н. Шевель<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ГП НАЭК «Энергоатом»

<sup>2</sup> Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности

<sup>3</sup> Институт проблем материаловедения им. И. М. Францевича НАН Украины

<sup>4</sup> Институт ядерных исследований НАН Украины

## Экспериментальные исследования нейтронно-защитных свойств гидридов с повышенным содержанием водорода

На плутоний-бериллиевом источнике нейтронов и на реакторе ИР-100 проведены исследования нейтронно-защитных свойств гидридов титана и циркония с повышенным содержанием водорода. Подтверждены их высокие нейтронно-защитные свойства по сравнению с материалом RX-277, который используется в контейнерах сухого хранения отработавшего ядерного топлива.

**Ключевые слова:** гидрид титана, цирконий, водород, облучение, нейтронно-защитные свойства, биологическая защита.

М. І. Власенко, М. М. Коротенко, С. Л. Литвиненко, В. В. Стывбун, А. К. Костіков, В. М. Підтинних, І. А. Морозов, Р. О. Морозова, В. В. Тришин, В. М. Шевель

### Експериментальні дослідження нейтронно-захисних властивостей гідридів з підвищенням вмістом водню

На плутоній-берилієвому джерелі нейтронів і на реакторі ИР-100 досліджено нейтронно-захисні властивості гідридів титану та цирконію з підвищенням вмістом водню. Підтверджено їх високі нейтронно-захисні властивості порівняно з матеріалом RX-277, який використовується в контейнерах сухого зберігання відпрацьованого ядерного палива.

**Ключові слова:** гідрид титану, цирконій, водень, опромінення, нейтронно-захисні властивості, біологічний захист.

© Н. И. Власенко и др., 2010

Данная работа направлена на подтверждение результатов аналитического сравнения нейтронно-защитных свойств материалов, используемых в атомной энергетике для биологической защиты [1], с аналогичными свойствами полученных в ИПМ НАН Украины гидридов титана и циркония с повышенным содержанием водорода. Использование в атомной энергетике водородсодержащих материалов в качестве защиты от нейтронов обусловлено большим количеством атомов водорода в 1 см<sup>3</sup> материала (например, в парафине, воде и полиэтилене — 4,1·10<sup>22</sup>, 6,7·10<sup>22</sup> и 7,9·10<sup>22</sup> атомов водорода соответственно). При этом если в свободном состоянии сечение рассеяния тепловых нейтронов водорода составляет 38 барн, то в парафине — около 80 барн.

Существенным недостатком данных материалов является низкий рабочий температурный диапазон. В этом плане предпочтительнее гидриды металлов, обладающие значительным диапазоном температурной стабильности (до 600–800 °С) и содержащие (7÷10)·10<sup>22</sup> атомов водорода в 1 см<sup>3</sup> металла.

В Институте проблем материаловедения им. И. М. Францевича НАН Украины создана технология, позволяющая получать гидриды металлов с повышенным — до (12÷15)·10<sup>22</sup> атомов водорода в 1 см<sup>3</sup> металла — содержанием водорода [2] и повышенным на 150–250 °С по сравнению с гидридами, полученными по традиционной технологии, рабочим температурным диапазоном.

В работе [1], выполненной с помощью программы MCNP-4B, было показано, что полученные с помощью новой технологии гидриды титана и циркония по своим нейтронно-защитным характеристикам близки к аналогичным характеристикам карбида бора и в 2–3 раза превосходят подобные свойства серпентита, лимонита, железа и свинцово-бариевого цементного камня, а также эксклюзивного материала RX-277 (производства США), который используется для защиты от нейтронов в контейнерах сухого хранения ОЯТ на Запорожской АЭС.

Для подтверждения результатов аналитической оценки проведен начальный этап экспериментальных исследований с использованием нейтронного излучения Pu(α, n)Be источника нейтронов, а также излучения реактора ИР-100 СНУЭИП (г. Севастополь).

С учетом результатов аналитической оценки для дальнейших экспериментальных исследований были подготовлены образцы:

призма с размерами 110 × 110 × 50 и 110 × 110 × 25 мм из материала RX-277;

призма с размерами 110 × 110 × 10 мм, а также диск с диаметром 20 мм и высотой 10 мм из гидрида титана производства ИПМ НАН Украины;

призма с размерами 110 × 110 × 10 мм, а также диск с диаметром 20 мм и высотой 10 мм из гидрида циркония производства ИПМ НАН Украины.

Эксперименты проведены методом пропускания нейтронов через исследуемый материал (рис. 1). Коэффициент пропускания (ослабления) определялся по результатам измерения плотности потока нейтронов (мощности дозы облучения) после образца и плотности потока нейтронов (мощности дозы облучения) до образца.

При облучении образцов на Pu(α, n)Be источнике нейтронов измерения проведены с использованием радиометра МКС-01, при облучении образцов на горизонтальном канале реактора ИР-100 измерения проведены с помощью дозиметра-радиометра ДКС-96 и установки радиационного контроля КУРК. Аппаратура позволила оценить вклад в суммарную дозу от гамма- и нейтронной (тепловые, промежуточные, быстрые)

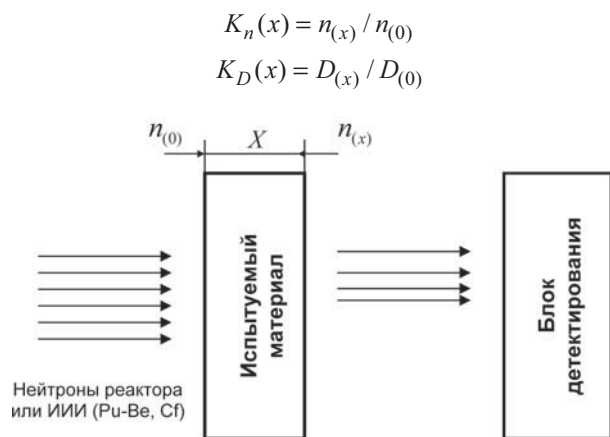


Рис. 1. Схема эксперимента методом пропускания

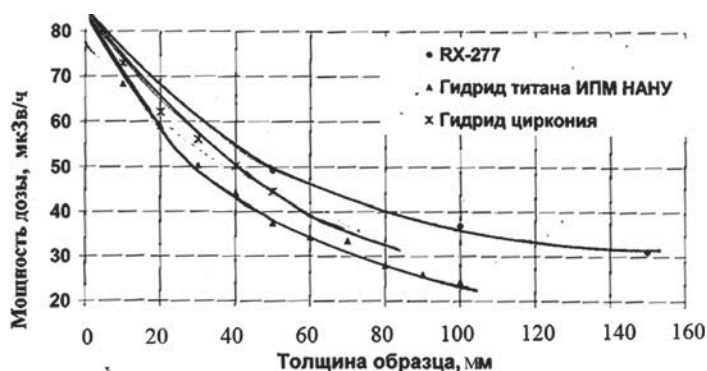


Рис. 2. Зависимость мощности дозы облучения от толщины образцов при облучении на Pu-Be источнике нейтронов

составляющих. Идентичность условий облучения образцов обеспечивалась с помощью коллиматора, направляющих, держателей и т. п., индивидуальных для каждого источника излучения. Погрешность измерения оценивается  $\pm 10\%$ .

На рис. 2 представлены результаты измерения мощности дозы облучения образцов от Pu-Be источника нейтронов. Как и для случая аналитической оценки, наибольший коэффициент ослабления получен для гидрида титана, наименьший — для материала RX-277.

Аналогичная зависимость получена для облучения образцов на горизонтальном канале реактора ИР-100 (рис. 3).

На рис. 4 показано ослабление мощности дозы облучения в зависимости от толщины образцов RX-277 и гидрида титана для гамма- и нейтронной составляющих излучения. Видно, что защитные свойства как по гамма-, так и по нейтронной составляющим штатного материала RX-277 производства США заметно уступают разработанному в ИПМ НАН Украины гидриду титана.

Нейтронно-защитные свойства разработанных ИПМ гидридов можно усилить включением в их состав  $^{10}\text{B}$ , имеющего сечение поглощения тепловых нейтронов 3840 барн, бора  $\text{V}_{16}\text{H}_{22}$  (позволяющего одновременно с включением добавок бора увеличить количество атомов водорода), а также изготовлением по новой технологии гидрида гафния и гидрида диспрозия с повышенным содержанием водорода. Перспективно изготовление бетонов, эластомеров с добавками гидридов титана, циркония, бора.

Постановочные работы в этом направлении проводятся.

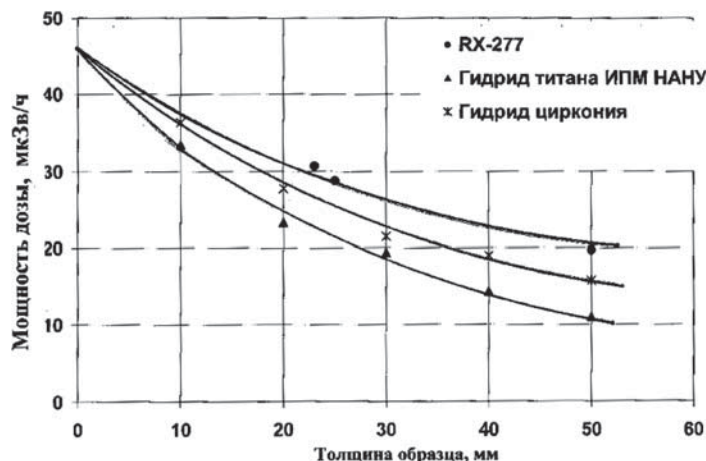


Рис. 3. Зависимость мощности дозы облучения от толщины образцов при облучении на реакторе ИР-100

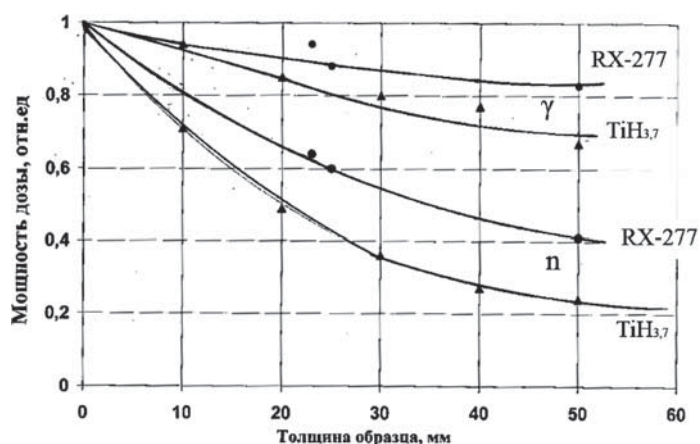


Рис. 4. Зависимость нейтронной и гамма-компонент от толщины образцов (облучение на реакторе ИР-100)

### Выводы

В ИПМ им. И. М. Францевича НАН Украины создана новая технология, позволяющая производить гидриды металлов с увеличенным содержанием водорода.

Экспериментальным методом проведено сравнение нейтронно-поглощающих свойств гидридов титана и циркония с аналогичными свойствами эксклюзивного материала RX-277 (производства США), который используется в контейнерах сухого хранения ОЯТ ЗАЭС. Полученные результаты подтвердили более высокие поглощающие свойства гидридов титана и циркония.

Отмечена возможность использования разработанной технологии для получения защитных материалов (металлы, бетоны, эластомеры) с повышенными нейтронно-поглощающими свойствами.

### Список литературы

1. Власенко Н. И. Нейтронно-защитные свойства гидридов титана и циркония с повышенным содержанием водорода / Н. И. Власенко, М. Н. Коротенко, С. Л. Литвиненко и др. // Ядерна та радіаційна безпека. — 2009. — № 4. — С. 33–35.

Надійшла до редакції 01.03.2010.