

# РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ГИДРИДОВ ЦИРКОНИЯ И ИТТРИЯ С ДОБАВКАМИ ЭРБИЯ, БОРА И ГАДОЛИНИЯ

**Н.Г.Примаков, Г.А. Биржевой, В.А. Руденко, В.В. Казарников**

*ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, г. Обнинск*



Приведены результаты исследования радиационной стойкости гидридов сплавов цирконий–эrbий и цирконий–бор (двухфазные по составу) и гидридов сплавов иттрий–гадолиний (твердые растворы замещения) после облучения в реакторе БР-10 до флюенсов  $3 \cdot 10^{25} \text{ н/м}^2$  при температурах до  $430^\circ\text{C}$ . Показано, что набухание гидридов иттрий–гадолиний в три раза выше по сравнению с набуханием гидроксида циркония.

## ВВЕДЕНИЕ

Гидриды переходных металлов относятся к фазам внедрения. При содержании водорода, близком к стехиометрическому, они имеют гранецентрированную кубическую решетку, в межатомных пустотах которой располагаются атомы водорода. Такие соединения рассматриваются как источники чистого водорода и его изотопов, возможные компоненты ракетного топлива, аккумуляторы солнечной энергии для космических установок, эффективные материалы замедлителя, отражателя и биологической защиты в ядерно-энергетических установках [1].

Изучение поведения под облучением гидридов металлов, в состав которых входят атомы с сильно различающимися размерами и электронной структурой, представляет интерес для радиационного материаловедения. Информация по этому вопросу ограничена в основном результатами исследований радиационных повреждений в гидроксидах циркония [2, 3, 4, 5–7] и иттрия [8]. Влияние радиации на трехкомпонентные гидридные фазы рассмотрено в единственной работе [1].

В то же время известно, что легирование материалов малыми добавками, в частности, РЗМ или бором влияет на их радиационную стойкость [9].

В данной работе приводятся результаты исследований гидридов сплавов цирконий–эrbий и цирконий–бор (двухфазные по составу) и сплавов иттрий–гадолиний (структура твердого раствора замещения) после облучения в реакторе БР-10 до флюенсов  $3 \times 10^{25} \text{ н/м}^2$  ( $E > 0,1 \text{ МэВ}$ ) при температурах до  $430^\circ\text{C}$ .

Легирующие компоненты в этих материалах имеют большое сечение поглощения тепловых нейтронов. Испускание гамма-квантов по  $(n, \gamma)$  и  $\alpha$ -частиц по  $(n, \alpha)$  реакциям сопровождается появлением ядер отдачи, что приводит к влиянию тепловой части спектра нейтронов реактора на создание радиационных повреждений [10]. Одной из задач исследования было получение экспериментального под-

тверждения влияния ядер отдачи на повреждаемость структуры рассматриваемых гидридов.

### **ПРИГОТОВЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ И УСЛОВИЯ ОБЛУЧЕНИЯ**

Сплавы цирконий–эrbий (до 20% масс.), цирконий–бор (до 1,3% масс.), иттрий–гадолиний (до 35% масс.) получали на водоохлаждаемом медном поду в дуговой печи с нерасходуемым электродом. Использовались иодидный цирконий, эrbий марки ЭРМ-1 (с примесью до 1% масс. кислорода), иттрий ИМ-1, дистиллированный гадолиний и аморфный бор. Гидриды всех сплавов получались методом сквозного насыщения водородом [12].

Для облучения были изготовлены образцы в виде цилиндров диаметром 7,20 и длиной 30,0 мм и прямоугольных призм  $3 \times 3 \times 38$  мм<sup>3</sup>. Цилиндрические образцы упаковывались в герметичные капсулы из нержавеющей стали. Призмы помещались в контейнеры из алюминия, которые укладывались в чехлы из стали типа ОХ18Н10Т. Для облегчения теплосъема свободное пространство внутри капсул засыпалось молибденовой крупкой, а внутри чехлов – графитом.

Облучение проводилось в реакторе БР-10 в диапазоне температур 320–430°С до флюенса  $3 \times 10^{25}$  н/м<sup>2</sup> ( $E > 0,1$  МэВ).

После облучения алюминиевая оболочка удалялась растворением в щелочи. Предварительно было установлено, что контакт исследованных образцов со щелочью не влияет на состояние их поверхности и свойства.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

По данным рентгеновского фазового анализа для всех исследованных составов было обнаружено существование квазитвердого раствора эrbия в цирконии, хотя по данным работы [11] растворимость его при комнатной температуре должна быть около 0,1% масс.

Сплавы иттрий–гадолиний имели структуру твердого раствора замещения.

Исследования гидридов сплавов цирконий–эrbий и цирконий–бор в исходном состоянии выявили ряд их особенностей по сравнению с нелегированным гидридом циркония:

- уменьшение, более чем на порядок, размера зерен;
- наличие мелкодисперсных выделений дигидрида и оксида эrbия в гидридах с эrbием и диборида циркония в гидридах с бором;
- возрастание микротвердости;
- снижение величины давления диссоциации водорода;
- уширение линии ЯМР протонов;
- возникновение в спектре внутреннего трения двух дополнительных пиков;
- появление минимума (при ~2% масс. эrbия) на кривой зависимости электросопротивления от содержания эrbия.

Первые две особенности отражают изменение микроструктуры в результате легирования. Остальные связываются, в основном, с возникновением ограниченного твердого раствора замещения эrbия в эpsilon-фазе гидрида циркония. Такое заключение подтверждается данными рентгеноспектрального анализа.

Отметим, что в условиях приготовления сплавов ( $T_{пл} \sim 2100$ К) должно происходить раскисление циркония [13] ( $\Delta G_{2100}^0 = -1160$  и  $-700$  кДж/моль для оксидов эrbия и циркония соответственно). Раскисление при сплавлении с РЗМ наблюдалось для многих тугоплавких материалов [14]. Следовательно, содержание кислорода, растворенного в  $\epsilon$ -гидриде циркония при легировании эrbием, должно понизиться.

Известно [15], что при наличии кислорода в решетке гидрида циркония вероятность заполнения тетрапор в первой координационной сфере вокруг атома кислорода уменьшается, а давление диссоциации гидрида растет. Поэтому выход кислорода из твердого раствора в эпсилон-фазе должен снизить давление диссоциации водорода [16]. При этом также уменьшается электросопротивление.

Фазовый состав изученных гидридов сплавов Zr–Er может быть представлен в виде  $Zr(Er)H_{1.90} + ErH_{2-d} + Er_2O_3$  с параметрами кристаллических решеток: для эпсилон-фазы гидрида циркония  $a = 4,971 \text{ \AA}$ ,  $c = 4,445 \text{ \AA}$ , для дигидрида эрбия  $a = 5,119 \text{ \AA}$  и его оксида  $a = 10,55 \text{ \AA}$ . Гидриды сплавов цирконий–бор имели фазовый состав  $ZrH_{1.90} + ZrB_2$ . Гексагональный диборид циркония имел параметры  $a = 3,169 \text{ \AA}$  и  $c = 3,530 \text{ \AA}$ .

Гидриды сплавов иттрий–гадолиний представляли собой твердые растворы замещения гадолиния в металлической подрешетке дигидрида иттрия. Параметры ГЦК-решетки увеличивались от  $a = 5,209 \text{ \AA}$  для гидрида иттрия до  $a = 5,222 \text{ \AA}$  и  $a = 5,235 \text{ \AA}$  при содержании в нем 17 и 35% масс. гадолиния соответственно.

Внешний вид всех образцов после облучения сохранился, содержание водорода в образцах не изменилось.

Исследования свойств облученных материалов включали измерение геометрических размеров ( $\pm 0,02 \text{ мм}$ ), плотности (в четыреххлористом углероде и в дистиллированной воде с погрешностью 0,06%), электросопротивления  $\rho$  (погрешность 1%), микротвердости  $H_{\mu}$  ( $\pm 80 \text{ МПа}$ ) и параметров кристаллической решетки ( $\pm 0,0001 \text{ \AA}$ ). Результаты исследований гидридов сплавов представлены в табл. 1.

Таблица 1

#### Изменение свойств гидридов сплавов цирконий–эрбий после облучения

№ п/п	Содержание эрбия, масс. %	Условия облучения		$\Delta V/V, \% \text{ отн.}$	$\rho, \text{ мкОм}\cdot\text{см}$		$H_{\mu}, \text{ МПа}$	
		$\times 10^{25} \text{ н/м}^2$	$T, ^\circ\text{C}$		Исх.	Обл.	Исх.	Обл.
1	0	2,8	380	1,0	38,1	58,6	1420	1960
2	0,5	1,5	360	0,24	36,1	69,1		
3	2,2	1,8	380	0	31,4	71,7		
4	4,4	2,2	420	0,64	40,0	76,0		
5	7,0	2,0	400	–	59,3	97,5		
6	9,8	2,5	430	–	66,1	103,4	1570	2940
7	19,7	1,3	320	0,90				

Из данных табл. 1 следует, что во всем диапазоне концентраций эрбия распухание гидридов сплавов ( $\Delta V/V$ ) ниже, чем эпсилон-фазы гидрида циркония, а при содержании около 2 масс. % оно минимально.

Наличие эрбия в твердом растворе, значительное уменьшение размера зерна и появление мелкодисперсных выделений приводят к повышению стойкости гидридов сплавов к воздействию радиации, что отмечается и для других материалов с добавками РЗМ [9].

Увеличение набухания с ростом концентрации выше 2% масс. связано с вкладом возрастающих количеств (до ~12% об.) дигидрида и оксида эрбия, радиационная стойкость которых, вероятно, хуже, чем гидридциркониевой матрицы. Из табл. 1 также следует, что электросопротивление облученных гидридов сплавов с эрбием возрастает, причем вид концентрационной зависимости электросопротивления от содержания эрбия сохраняется.

Результаты исследований свойств гидридов сплавов иттрий–гадолиний после облучения и условия испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Свойства гидридов сплавов иттрий–гадолиний после облучения**

№ п/п	Содержание Gd в гидриде, масс. %	Условия облучения		$\Delta V/V$ , % отн.	$\rho$ , мкОм·см	
		$\times 10^{25}$ н/м <sup>2</sup>	$T$ , °C		Исх.	Обл.
1	0	1,3	320	0,32	13,5	–
2	17	1,3	320	1,10	24,6	27
3	17	3,0	375	0,52	24,6	22,4
4	35	1,3	320	1,79	35,0	–

Из данных табл. 2 видно, что облучение флюенсом  $1,3 \times 10^{25}$  н/м<sup>2</sup> при  $T = 320^\circ\text{C}$  приводит к пятикратному возрастанию объемных изменений при увеличении содержания гадолиния в гидриде сплава до 35% масс. Повышение температуры облучения на  $55^\circ\text{C}$  вдвое снижает набухание (табл. 2). Однако несомненным является факт ухудшения радиационной стойкости твердых растворов замещения гадолиния в гидриде иттрия с увеличением содержания гадолиния.

Практически не наблюдается влияния облучения на электросопротивление гидридов сплавов иттрий–гадолиний. Обычно изменение этого параметра связывают с возникновением дефектов в водородной подрешетке [5]. Особенно существенно влияние облучения на электросопротивление при составах, близких к стехиометрическим (в нашем случае показатель нестехиометрии  $\delta$  близок к 0,02). Можно полагать, что подрешетка неметаллических атомов в гидридах сплавов обладает большей стабильностью.

Отсутствие изменений параметров кристаллической решетки свидетельствует о малой концентрации точечных дефектов в исследованных образцах гидридов сплавов со структурой твердого раствора замещения. По-видимому, основная доля наблюдаемых объемных изменений связана преимущественно с образованием пор.

Облучение нейтронами гидридов сплавов Zr–B привело, в отличие от гидридов с (n- $\gamma$ ) поглотителями, к изменению периодов кристаллической решетки, тетрагональности ( $c/a$ ) и объема элементарной ячейки всех составляющих фаз за счет межузельных атомов He и Li, образовавшихся в результате (n,  $\alpha$ )-реакции. В табл. 3 приведено изменение удельного электросопротивления и набухание образцов гидридов сплавов цирконий–бор в зависимости от содержания бора. С ростом числа делений  $B^{10}$  (увеличение содержания бора в сплаве) набухание увеличивается. Исследование с помощью электронного микроскопа позволило выявить в облученных образцах этой композиции две зоны общей шириной до 3,5 мкм вокруг выделений  $ZrB_2$ , причем ширина зоны, ближайшей к  $ZrB_2$ , достигает 2 мкм. Из-за практически нулевой растворимости бора в цирконии [22] He и Li будут накапливаться только в выделениях  $ZrB_2$  и в окружающей их гидридной матрице. Отсут-

Таблица 3

**Свойства гидридов сплавов цирконий–бор после облучения**

№ п/п	Образец	$T, ^\circ\text{C}$	$10^{25} \text{ н/м}^2$	$\Delta\rho, \text{ мком}\cdot\text{см}$	$\Delta V/V, \%$
1	ZrH <sub>1,9</sub>	320	1,28	–	0,56
2	Zr–H–0,45%B	320	1,28	–	0,61
3	Zr–H–0,95%B	320	1,28	25,8	0,91
4	Zr–1,3% B	320	1,28	26,4	0,95

ствие изменения общей ширины зоны вокруг этих частиц в процессе отжига свидетельствует о том, что продукты деления изотопа В<sup>10</sup> не диффундируют в гидридной матрице при температурах до 600°C. Значительные объемные изменения, например, в сплаве Zr–1,3%B, облученном в реакторе БР-10, наблюдались лишь при отжиге при 900°C и достигали 28% при 1200°C [23].

Из данных табл. 1 и 2 следует, что радиационное распухание гидрида иттрия примерно в три раза ниже, чем эpsilon-фазы системы цирконий–водород, что, вероятно, связано с более высокой симметрией кристаллической решетки гидрида иттрия. Но при всех исследованных концентрациях РЗМ объемные изменения гидридов сплавов иттрий–гадолиний превышают распухание гидридов сплавов цирконий–эрий и цирконий–бор. Это является следствием того, что повреждающая способность атомов отдачи гадолиния в твердом растворе замещения в гидриде иттрия выше по сравнению с атомами отдачи эрбия в гидридах сплавов цирконий–эрий и  $\alpha$ -частиц в гидриде Zr–B–H.

**ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ**

В доступной для ознакомления литературе влияние облучения на гидриды металлов рассматривалось через посредство дефектов, создаваемых быстрыми нейтронами. По модели TRN-стандарт [17] нами было оценено число смещений атомов циркония в гидридной фазе при флюенсе  $2,8 \times 10^{25} \text{ н/м}^2$  в спектре реактора БР-10. Оно составляет примерно 2 сна.

Вычисление величин энергий атомов отдачи  $E_{\text{отд}}$  проводилось по методике [18]. Значения энергий  $\gamma$ -квантов  $E_{\gamma}^{\text{max}}$  брались из работы [19].

Число возникающих смещений определяется энергией смещения  $E_d$ , зависящей от энергии связи Me–Me (для титана  $E_d = 29 \text{ эВ}$ ). Но значения энергий взаимодействия Me–Me в гидридных фазах могут отличаться от значений, характерных для металлов. С использованием температурно-концентрационных зависимостей давления диссоциации водорода в системе цирконий–водород статистико-термодинамическим методом [20] было найдено, что  $E_{\text{Zr–Zr}}$  в гидридной фазе примерно вдвое ниже, чем в металлическом цирконии. Такое соотношение энергий связи коррелирует с возрастанием минимум в 1,5 раза [1] КТР в гидриде циркония.

Принято [21], что  $E_d \sim 4E_c$ , где  $E_c$  – энергия связи; для тугоплавких металлов  $E_c \sim 5$ –6 эВ. Учитывая сказанное выше, можно принять, что в гидридах металлов  $E_c \sim 3$  эВ ( $E_d \sim 12 \text{ эВ}$ ). Эта величина использовалась для определения максимального числа смещений  $v$  за счет ядер отдачи.

Скорость создания смещений пропорциональна произведению  $E_{\text{отд}} \times \sigma$ , где  $\sigma$  – усредненное по спектру нейтронов сечение (n,  $\gamma$ )-реакции. Для естественной смеси изотопов гадолиния и эрбия величины  $\sigma$  составляют примерно 36 и 10 барн соответственно, тогда как для остальных элементов эта величина по крайней мере

Таблица 4

**Вклад ядер отдачи в образование повреждений в гидридах металлов**

Элемент	Y	Zr	Gd	Er
$E_f$ , МэВ	6,85	8,66	7,33	6,68
$E_{отд.}$ , эВ	285	440	185	145
$\nu$	10	17	7	6
$\nu \times \sigma$ , барн	18	3	232	60
$\nu \times \sigma$ для нейтронов в реакторе БР-10	220	222	93	95

на порядок ниже. Результаты расчетов  $\nu$  и величины повреждаемости  $\nu \times \sigma$  сведены в табл. 4, откуда видно, что повреждения гидридов сплавов за счет ядер отдачи Er и Gd сопоставимы с производимыми быстрыми нейтронами

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Получены экспериментальные данные по радиационной стойкости гидридов циркония, легированных эрбием и бором (двухфазные системы) и гидридов иттрия, легированных гадолинием (твердый раствор замещения).

Установлено существенное (в три раза) повышение распухания гидридов иттрий–гадолиний, по сравнению с гидридами циркония. Этот эффект связывается с большей повреждаемостью данной структуры за счет ядер отдачи гадолиния, возникающих по  $(n, \gamma)$ -реакции. В двухфазных гидридах сплавов Zr–Er структурные изменения матрицы (измельчение зерен, выделение частиц второй фазы и т.п.) приводят к упрочнению материала и увеличению стоков для радиационных дефектов. Эти изменения структуры компенсируют дополнительный вклад в распухание от ядер отдачи, хотя из-за малой растворимости эрбия в гидридциркониевой матрице этот вклад, по-видимому, незначителен.

Двухфазные гидриды (Zr–B–H) взаимодействуют с реакторным облучением по реакции  $(n, \alpha)$ . Установлено, что в процессе облучения происходит увеличение объема элементарной ячейки гидридной матрицы и частиц  $ZrB_2$ . Этот факт свидетельствует о междоузельном расположении атомов Li и He в обеих фазах композиции.

Таким образом, роль ядер отдачи в увеличении объемных изменений при облучении четко проявилась в гидридах сплавов иттрий–гадолиний. Этот факт показывает, что в спектре нейтронов быстрого реактора БР-10 повреждаемость структуры материала за счет ядер отдачи может быть сравнима с повреждаемостью от воздействия быстрыми нейтронами, что необходимо учитывать на практике, особенно при использовании гидридов в тепловых реакторах.

**Литература**

1. Гидриды металлов/Под ред. В. Мюллера и др. – М.: Атомиздат, 1973 (пер. с англ.).
2. Пинчук П.Г., Быков В.Н. и др. Исследование физических свойств и природы радиационных дефектов гидридов циркония, облученных в реакторе ВВРЦ/Препринт ФЭИ-686. – Обнинск, 1976.
3. Пинчук П.Г., Быков В.Н., Биржевой Г.А. и др. Исследование природы и термической устойчивости радиационных дефектов в гидриде циркония//Атомная энергия. – 1976. – Т. 40. – Вып. 6. – С. 289-292.

4. Щербак В.И., Пинчук А.П., Тарасиков В.П. Радиационное распухание гидрида циркония// Атомная энергия. – 1991. – Т. 71. – С. 179.
5. Андриевский Р.А., Савин В.И., Маркин В.Я. Влияние реакторного облучения на электрические и магнитные свойства фаз внедрения//Неорганические материалы. – 1978. – Т. 14. – № 4. – С. 675.
6. Paetz P., Lucke K. Über die Dichteänderung von Zirkonhydrid bei der Bestrahlung mit schnelleren Neutronen//J. Nucl. Mat. – 1972. – V. 43. – P. 13-27.
7. Маджванидзе А.Г., Федоров В.М., Гогава В.В. Нейтронографическое исследование гидридов циркония, облученных в канале ядерного реактора. //ВАНТ. Сер. Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. – 1987. – Вып. 1(39). – С. 72.
8. Marshall G.S. et al. 10000-hour Demonstration of Clad Yttrium Hydrides Neutron Moderator// Trans.Amer.Nucl.Society. – 1964. – V. 7, 1. – P.123.
9. Ибрагимов Ш.Ш., Кирсанов В.В., Пятилетов Ю.С. Радиационное повреждение металлов и сплавов. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
10. Конобеевский С.Т. Действие облучения на материалы. – М.: Атомиздат, 1967.
11. Эллиот Р.П. Структуры двойных сплавов. Т.1 (пер. с англ.). – М.: Металлургия, 1970.
12. Андриевский Р.А. Материаловедение гидридов. – М.: Металлургия, 1975.
13. Куликов В.С. Раскисление металлов. – М.: Металлургия, 1975.
14. Терехова В.Ф., Савицкий Е.М. Иттрий. – М.: Наука, 1967. – 158 с.
15. Hall M.N., Martin S.L., Rees A.L. The Solubility of Hydrogen in Zirconium and Zirconium-Oxygen Solid Solutions//Trans. Farad. Soc. – 1944. – V. 41. – P. 306.
16. Edwards R., Sevesque P., Solid Solution Equilibrium in Ternary System Zr–O–H// J. Amer. Ceram. Soc. – 1955. – V. 77. – № 5. – P. 1312.
17. Nichols F.A., How does one predict and measure radiation damage//Nucl. Technol. – 1978. – V. 98. – P. 98.
18. Келли Б. Радиационное повреждение твердых тел. – М.: Атомиздат, 1970. – С. 236.
19. Гордеев И.В., Кардашов Д.А., Малышев А.В. Ядерно-физические константы. – М.: Госатомиздат, 1963. – С. 391.
20. Tackeychi S., Suzuki K. Thermodynamics of Nuclear Materials. – Vienna, 1962. – P.289.
21. Дамаск А., Динс Д. Точечные дефекты в металлах. – М.: Мир, 1966. – С. 291.
22. Гольдшмит Х.Дж. Сплавы внедрения. Т. 1. – М.: Мир, 1971.
23. Биржевой Г.А., Быков В.Н., Руденко В.А. и др. Исследование свеллинга облученного сплава цирконий-бор//ФММ – 1979. – Т. 47. – Вып. 4. – С. 763-768.

Поступила в редакцию 1.09.2006

structure of resistant mineral-like new-formations isolating them from the environment. The treatment relies on the new non-oven technology of the self-propagating high-temperature synthesis (SHS), making it possible at high temperature to synthesize stable refractory matrix materials immobilizing biologically important radionuclides of the wastes.

#### **УДК 621.039.543.4**

*The Properties of Modified Uranium Dioxide* \ I.S. Kurina, V.V. Popov, V.N. Rumyantsev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2007. – 8 pages, 7 illustrations. – References – 15 titles.

The results of the researches directed on achievement of new modification of  $UO_2$  fuel microstructure, produced with using of modernized wet technology are presented. This modification allows to improve the thermophysical properties of fuel pellets. It is established, the increase of the thermal conductivity of  $UO_2$  in 2-3 times at 1000°C was achieved owing to the application certain special techniques in the procedures relating to precipitation which results in the formation of nanoparticles less than 30 nm in size. The experimentally-theoretical substantiation of increase of the thermal conductivity of  $UO_2$  is presented.

#### **УДК 621.039.5: 541.44**

*Irradiation Resistance of Zirconium and Yttrium Hydrides Doped with Erbium, Boron and Gadolinium* \ N.G. Primakov, G.A. Birzhevoy, V.A. Rudenko, V.V. Kazarnikov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk 2007. – 9 pages, - References, 9 titles.

Results of investigating the resistance of hydrides of zirconium-erbium and zirconium-boron alloys (two-phase systems) and of hydrides of yttrium-gadolinium alloys (substitutional solid solution) to neutron irradiation in BR-10 fast reactor up to fluences of  $3 \cdot 10^{25}$  n/m<sup>2</sup> at temperatures below 430° C are presented.

It is shown that swelling of yttrium-gadolinium hydrides is higher by factor of 3 as compared with the swelling of zirconium hydride.

#### **УДК: 621.039.534.6: 539.175**

*Investigations of the Lead Based Liquid Metal Compositions by Neutron Scattering* \ N.M. Blagoveshchenskiy, N.I. Loginov, V.A. Morozov, A.G. Novikov, A.V. Puchkov, V.V. Savostin, D.V. Savostin, A.L. Shimkevich; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk 2007. – 9 pages, 9 illustrations, – References, 25 titles.

In the article the results of investigations of microdynamics and microstructure of lead, lead-potassium and sodium-lead melts by method of neutron scattering are presented. Following microscopic characteristics are obtained: the dispersion curves, structure factors, radial distribution functions of atoms. The cluster configurations, which exist in liquid melt matrix, are discussed.

#### **УДК: 621.039.534.6**

*Technology of Lead-Bismuth Coolant in NPP of the First and Second Generation* \ A.D. Efanov, K.D. Ivanov, P.N. Martynov, Yu.I. Orlov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk 2007. – 7 pages, 2 illustrations, – References, 13 titles.

A short history of studying the lead-bismuth alloy as coolant in submarine reactor installations has been put forth. Two basic stages associated with the operation of NPP of the first and second generation with this coolant have been singled out. The major technology problems characteristic of these stages of coolant studying and the ways of their solution have been demonstrated.