



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012132730/04, 31.07.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
31.07.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 31.07.2012

(43) Дата публикации заявки: 10.02.2014 Бюл. № 4

(45) Опубликовано: 20.07.2014 Бюл. № 20

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2362225 C2 (ОАО "Концерн Энергоатом", ЗАО ПНФ "Термоксид"), 20.07.2009. RU 2111558 C1 (Петербургский институт ядерной физики им. Б.П.Константинова РАН и др.), 20.05.1998. JP 11304994 A (Sumitomo Metal Mining Co Ltd; Kobe Steel Ltd.), 05.11.1999

Адрес для переписки:

456770, Челябинская обл., г. Снежинск, ул. Васильева, 13, а/я 245, ФГУП "РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина", ОИС, Г.В. Бакалову

(72) Автор(ы):

Краев Василий Сергеевич (RU),  
Невзоров Владимир Александрович (RU),  
Казеев Виктор Григорьевич (RU),  
Чернухин Юрий Илларионович (RU),  
Сапожникова Марина Борисовна (RU),  
Голосов Олег Александрович (RU),  
Боровкова Ольга Леонидовна (RU),  
Пышкин Владимир Петрович (RU),  
Давиденко Николай Никифорович (RU),  
Яненко Юрий Евгеньевич (RU),  
Лобков Юрий Михайлович (RU),  
Шарый Олег Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Российская Федерация в лице Открытого акционерного общества "Российский концерн по производству электрической и тепловой энергии на атомных станциях" (ОАО "Концерн Росэнергоатом") (RU),  
Федеральное государственное унитарное предприятие "Российский Федеральный Ядерный Центр-Всероссийский Научно-Исследовательский Институт Технической Физики имени академика Е.И. Забабахина" (ФГУП "РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина") (RU),  
Закрытое акционерное общество производственно-научная фирма "Термоксид" (ЗАО ПНФ "Термоксид") (RU)

## (54) ТЕРМОСТОЙКИЙ НЕЙТРОНОЗАЩИТНЫЙ МАТЕРИАЛ

(57) Реферат:

Изобретение относится к материалам с нейтронопоглощающими свойствами для защиты от нейтронного излучения. Предложен термостойкий нейтронозащитный материал, состоящий из магнийфосфатного связующего (24-33 мас.%) и порошковой части (76-67 мас.%), при этом порошковая часть содержит гидрид титана TiH<sub>2</sub> (90,3-95,5 мас.%), оксид магния MgO (2,7-4,5 мас.%) и карбид бора B<sub>4</sub>C (1,8-5,2 мас.%). Компоненты перемешивают до однородного состояния и заливают в специальную полость, а

после отвердевания подвергают термической обработке. Технический результат: полученный материал обладает долговременной механической прочностью, термостойкостью до ≈300°C, высокой теплопроводностью, температурным коэффициентом линейного расширения, близким к коэффициенту конструкционных сталей, и большой удельной плотностью содержащихся в нем водорода и бора, что обеспечивает высокие коэффициенты ослабления нейтронного излучения. 1 табл.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 522 580** (13) **C2**

(51) Int. Cl.  
*G21F 1/00* (2006.01)  
*G21F 9/00* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2012132730/04, 31.07.2012

(24) Effective date for property rights:  
31.07.2012

Priority:

(22) Date of filing: 31.07.2012

(43) Application published: 10.02.2014 Bull. № 4

(45) Date of publication: 20.07.2014 Bull. № 20

Mail address:

456770, Cheljabinskaja obl., g. Snezhinsk, ul.  
Vasil'eva, 13, a/ja 245, FGUP "RFJaTs-VNIITF im.  
akadem. E.I. Zababakhina", OIS, G.V. Bakalovu

(72) Inventor(s):

Kraev Vasilij Sergeevich (RU),  
Nevzorov Vladimir Aleksandrovich (RU),  
Kazeev Viktor Grigor'evich (RU),  
Chernukhin Jurij Illarionovich (RU),  
Sapozhnikova Marina Borisovna (RU),  
Golosoov Oleg Aleksandrovich (RU),  
Borovkova Ol'ga Leonidovna (RU),  
Pyshkin Vladimir Petrovich (RU),  
Davidenko Nikolaj Nikiforovich (RU),  
Janenko Jurij Evgen'evich (RU),  
Lobkov Jurij Mikhajlovich (RU),  
Sharyj Oleg Alekseevich (RU)

(73) Proprietor(s):

Rossijskaja Federatsija v litse Otkrytogo  
aktsionernogo obshchestva "Rossijskij kontsern  
po proizvodstvu ehlektricheskoy i teplovoj  
ehnergii na atomnykh stantsijakh" (OAO  
"Kontsern Rosehnergoatom") (RU),  
Federal'noe gosudarstvennoe unitarnoe  
predpriyatje "Rossijskij Federal'nyj Jadernyj  
Tsentr-Vserossijskij Nauchno-Issledovatel'skij  
Institut Tekhnicheskoy Fiziki imeni akademika  
E.I. Zababakhina" (FGUP "RFJaTs-VNIITF im.  
akadem. E.I. Zababakhina") (RU),  
Zakrytoe aktsionernoe obshchestvo  
proizvodstvenno-nauchnaja firma "Termoksid"  
(ZAO PNF "Termoksid") (RU)

(54) **FIRE-RESISTANT NEUTRON-PROTECTIVE MATERIAL**

(57) Abstract:

FIELD: chemistry.

SUBSTANCE: invention relates to materials with neutron-absorbing properties for protection against neutron radiation. Claimed is a fire-resistant neutron-protective material, consisting of a magnesium phosphate binding agent (24-33 wt %) and a powder part (76-67 wt %, with the powder part containing titanium hydride  $TiH_2$  (90.3-95.5 wt %), magnesium oxide  $MgO$  (2.7-4.5 wt %) and boron carbide  $B_4C$  (1.8-5.2 wt %). Components are mixed to a homogeneous state and

poured into a special cavity, and after hardening are subjected to thermal processing.

EFFECT: obtained material possesses long-term mechanical strength, heat resistance to  $\approx 300^\circ C$ , high heat conductivity, a temperature coefficient of linear expansion, close to the coefficient of construction steels, and high specific density of hydrogen and boron, contained in it, which ensures high coefficients of neutron radiation attenuation.

1 tbl

R U 2 5 2 2 5 8 0 C 2

R U 2 5 2 2 5 8 0 C 2

## Область техники

Изобретение относится к материалам с нейтронопоглощающими свойствами для защиты от нейтронного излучения. В частности, материал предназначен для защиты персонала от нейтронного излучения при обращении с радиоактивными материалами.

5 Материал может быть использован в качестве защитного слоя в транспортных упаковочных комплектах (ТУК) при транспортировании и хранении отработанного ядерного топлива (ОЯТ) с большим выгоранием и, следовательно, энерговыделением, например из реакторов ВВЭР - 1000. Или в качестве защитного слоя высокотемпературных радиационно-защитных экранов на объектах использования атомной энергии.

## Предшествующий уровень техники

Большинство существующих материалов нейтронозащитных (МНЗ) представляют собой композиционные материалы, в состав которых входят водородосодержащие вещества, борсодержащие вещества и, при необходимости, вещества, содержащие элементы с высоким порядковым номером (z), например тяжелые металлы. Водород является наиболее эффективным замедлителем нейтронов, бор является эффективным поглотителем замедлившихся нейтронов, а элементы с большим z увеличивают коэффициент ослабления сопутствующего  $\gamma$ -излучения защитными слоями. Если бор (или его соединение) в виде отдельного компонента можно ввести практически в любой композиционный материал, то наличие водорода в известных в настоящее время нейтронных защитах обеспечивается его присутствием в структуре основного вещества композиционного материала.

Высокое содержание водорода характерно для многих высокомолекулярных соединений органического происхождения. Применяются твердые водородосодержащие материалы: полиэтилен, полипропилен, каучуки и другие материалы и композиции. Наибольшей концентрацией водорода обладают полиэтилен, полипропилен, в других полимерных материалах концентрация водорода ниже.

Недостатком нейтронной защиты на основе полиэтилена и полипропилена является то, что при воздействии повышенных температур они изменяют свои геометрические параметры и подвергаются частичной деструкции с выделением газов и ростом давления в занимаемом ими объеме до величин, опасных для конструкции наружной оболочки ТУК.

Кроме того, недостатком нейтронной защиты из полипропилена является то, что этот материал обладает намного более высоким, по сравнению со сталью [(10-15) · 10<sup>-6</sup> К<sup>-1</sup>] коэффициентом температурного линейного расширения (КТЛР), равным 110 · 10<sup>-6</sup> К<sup>-1</sup> по ГОСТ 26996-86.

В качестве аналога выбран пастообразный материал для защиты от радиоактивных излучений, приведенный в патенте РФ №2 111 558 от 25.06.1996., МПК6 G21F 1/10, авторы: Лазебник И.М., Андреев В.В., Старостин Б.С., в состав которого входят пластичная синтетическая масса, например каучук, и наполнитель, в качестве которого использован гидрид титана в соотношении 60-96 мас.% к общему составу пасты. Получаемая паста позволяет создавать защитные слои сложной геометрической формы, заполнять кабельные шахты и другие полые каналы в защитных конструкциях и тем самым препятствовать распространению n-,  $\gamma$ -излучений по ним. Наличие в составе этого материала значительного количества гидрида титана с высоким удельным содержанием водорода ( $\rho_H \approx 0,15 \text{ г/см}^3$ ) обеспечивает ему хорошие нейтронозащитные свойства. Недостатком пасты является содержание в ней синтетической компоненты

(каучук). В каучуке в присутствии кислорода окислительные реакции с потерей массы из-за деструкции (деполимеризации) протекают уже при  $(200...230)^{\circ}\text{C}$  и сильно ускоряются при температурах  $250^{\circ}\text{C}$  и выше. Поэтому данный материал не подходит для применения в качестве материала нейтронной защиты в конструкциях ТУК, предназначенных для транспортирования и хранения ОЯТ с большим энерговыделением, когда рабочая температура материала нейтронной защиты в нормальных условиях эксплуатации может превышать  $200^{\circ}\text{C}$ , а в аварийных условиях достигать  $800^{\circ}\text{C}$ .

В качестве прототипа выбран материал-стабилизатор (МС), описанный в патенте РФ №2362225, от 16.04.2007, МПК G21F 9/00, (авторы: Шарыгин Л.М., Муромский А.Ю., Калягина М.Л., Давиденко Н.Н., Лебедев В.И., Шарый О.А.), включающий магний-фосфатное связующее (56-66 мас.%) и порошковую часть (44-34 мас.%). Магний-фосфатное связующее состоит из  $\text{P}_2\text{O}_5$  (30-40 мас.%),  $\text{MgO}$  (7-8,5 мас.%),  $\text{H}_2\text{O}$  - остальное. Состав порошковой части:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (78-90 мас.%),  $\text{MgO}$  (22-10 мас.%), боросодержащий компонент (в пересчете на бор - (0-1) мас.%). Смесь используют для фиксации ОЯТ или для других целей в течение «времени жизни» смеси в жидком состоянии.

Недостатками прототипа, приводящими к потере нейтронозащитных свойств после затвердевания МС и теплового воздействия на него, можно считать:

- минимальное содержание борсодержащего компонента (количество бора от 0 до 1 мас.%);
- значительное уменьшение содержания водорода в структуре МС при умеренном тепловом воздействии: даже при сохранении химически связанной кристаллизационной воды ( $T \leq 150^{\circ}\text{C}$ ) оставшаяся доля водорода в нем составит  $\approx 1,8$  мас.% ( $\rho_{\text{H}} < 0,04$  г/см<sup>3</sup>);
- после длительного и более интенсивного нагрева водород в структуре МС остается только в составе химического соединения  $\text{MgHPO}_4$ , что составляет всего около 0,4% от его массы.

Раскрытие изобретения.

Задачей изобретения является создание термостойкого материала с повышенными нейтронозащитными свойствами, принимающего и сохраняющего требуемую форму.

Технический результат заключается в согласованности компонентов, повышении прочности, твердости, термостойкости, теплопроводности, высоком содержании, равномерном распределении и сохранении связанного водорода при высоких температурах.

Указанный технический результат достигается тем, что в термостойком МНЗ для радиационно-защитного слоя от нейтронного излучения, включающем магнийфосфатное связующее и порошковую часть, согласно изобретению магнийфосфатное связующее составляет 24-33 мас.%, а порошковая часть 76-67 мас.% от всей массы МНЗ. В порошковую часть добавляют гидрид титана ( $\text{TiH}_2$ ). При этом порошковая часть содержит гидрида титана 90,3-95,5 мас.%, оксида магния ( $\text{MgO}$ ) 2,7-4,5 мас.%, карбида бора ( $\text{B}_4\text{C}$ ) 1,8-5,2 мас.% от всей массы порошковой части МНЗ.

МНЗ может быть использован в защитных слоях в ТУК, предназначенных для транспортирования и хранения ОЯТ с большим выгоранием и энерговыделением; а также в защитных слоях высокотемпературных радиационно-защитных экранов ядерно-физических установок.

Равномерное распределение связанного водорода в МНЗ объясняется следующим. Гидрид титана содержит связанный водород  $\text{TiH}_2$ . В виде порошка он равномерно распределяется внутри магний-фосфатного связующего при их смешивании. Полученная

смесь в незатвердевшем состоянии равномерно распределяется в предназначенном для нее объеме. Особенность МНЗ заключается в способности его равномерно распределяться в предназначенном для него объеме корпуса ТУК для снижения нейтронного излучения ОЯТ с большим выгоранием. Кроме того, МНЗ может быть  
5 размещен на поверхности или внутри высокотемпературных радиационно-защитных экранов.

МНЗ получается при смешивании магний-фосфатного связующего и наполнителя. Связующее представляет собой магний-фосфатную керамику. Сразу после смешивания она обладает способностью принимать ту форму, в которую ее помещают. После  
10 выпаривания из нее воды (в том числе и кристаллизационной) МНЗ приобретает твердость, высокую термостойкость, вплоть до  $t \approx 900^\circ\text{C}$ . Связующее играет роль матрицы в МНЗ, удерживающей наполнитель, состоящий из специально подобранных компонентов.

Наполнитель для создания перспективного МНЗ должен отвечать следующим  
15 основным требованиям:

- высокое содержание водорода в веществе наполнителя ( $\rho_{\text{H}} \approx 0,1 \text{ г/см}^3$ );
- длительная термостойкость (способность сохранять свои физические свойства и не терять водород) при температурах  $t \approx 200^\circ\text{C}$ ;
- возможность создания твердотельных материалов со значительной долей  
20 водородосодержащего вещества (>50% от объема) в их составе.

Был выбран достаточно термостойкий при длительном нагревании вплоть до  $t \approx 300^\circ\text{C}$  гидрид титана  $\text{TiH}_2$  ( $\rho_{\text{H}} \approx 0,15 \text{ г/см}^3$ ), соответствующий всем приведенным выше  
25 требованиям. Термостойкость полученного МНЗ объясняется термостойкостью составляющих его компонентов.

На увеличение термостойкости МНЗ направлено повышение его теплопроводности за счет использования в качестве наполнителя гидрид титана. Так как отведение тепла от ОЯТ стабилизирует его постоянную температуру хранения, не дает контейнеру, в  
30 котором хранится ОЯТ, саморазогреться и от этого разрушаться.

После затвердевания магний-фосфатной керамики, выполняющей роль матрицы в получаемом материале, и глубокой осушки МНЗ приобретает долговременную механическую прочность, а его нейтронозащитные свойства обеспечиваются  
35 находящимися в матрице термостойкими гидридом титана с высоким содержанием водорода и карбидом бора. КТЛР полученного МНЗ незначительно отличается от соответствующих величин конструкционных сталей. Это также повышает прочность и твердость МНЗ.

Варианты осуществления изобретения.

Исследования, проведенные в ЗАО Производственно-научная фирма «Термоксид», показали, что с точки зрения технологичности приготовления МНЗ и изделий из него  
40 наиболее предпочтительными и функционально пригодными являются осушенные материалы на основе термостойкой (до  $900^\circ\text{C}$ ) магний-фосфатной керамики с химически инертными в условиях эксплуатации наполнителями в виде порошков гидрида титана и карбида бора.

Для обеспечения защиты от нейтронов, испускаемых ОЯТ, был выбран порошок  
45 гидрида титана ( $\text{TiH}_2$ ). Однако порошок сам по себе не может равномерно распределиться и удерживаться в полости корпуса ТУК, предназначенной для нейтронной защиты. Необходимым веществом, которое поможет распределиться равномерно гидриду титана, является связующее - материал-стабилизатор. После

затвердевания материал-стабилизатор содержит в своем составе водород в соединении  $TiH_2$ , что придает ему нейтронозащитные свойства. Кроме этого связующее  $TiH_2$ , а также металл, из которого изготовлен корпус ТУК с ОЯТ, имеют согласованные температурные коэффициенты линейного расширения (ТКЛР). Это позволяет

полученному материалу-стабилизатору сохранять защитные свойства и не разрушаться. Термостойкий МНЗ получают следующим образом.

На  $25 \text{ см}^3$  магний-фосфатного связующего добавляют порошковую часть: 70 г гидрида титана и 5 г карбида бора. После перемешивания смеси в лопастном смесителе в течение 20-30 минут добавляют новую порцию гидрида титана. Эту операцию повторяют до тех пор, пока смесь по консистенции не станет похожа на густое тесто и перемешивать ее уже становится затруднительно. После этого добавляют 2 г затвердителя ( $MgO$ ). После добавления  $MgO$  происходит химическая реакция с выделением тепла, под действием которого смесь разогревается, и через несколько минут происходит ее затвердевание. За время до наступления затвердевания смесь заливают в специальные полости в корпусе ТУК, или же в полости, образующие защитные слои высокотемпературных радиационно-защитных экранов, применяемых в ядерно-физических установках. Кроме того, методом литья и прессования можно изготовить детали нейтронной защиты практически любой требуемой формы.

После отвердевания смесь, помещенную в полость, подвергают термической обработке. Глубокая осушка состоит из двух периодов. Первоначальный период сушки проводят при комнатной температуре. Дальнейшую сушку проводят в течение нескольких суток при постепенном повышении окружающей температуры от комнатной до максимальной. При глубокой осушке происходит практически полное удаление как сорбированной, так и кристаллизационной воды.

В проведенных исследованиях физико-механических и теплофизических свойств образцов МНЗ были получены следующие характеристики:

- средние значения КТЛР образцов МНЗ равны  $=9,9 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ , что соизмеримо с КТЛР стальных элементов конструкции ТУК;

- теплопроводность образцов МНЗ при нормальных условиях равна  $-1,12 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , а при  $250^\circ\text{C}$  составляет  $-1,6 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , что благоприятно для использования МНЗ в конструкции ТУК;

- предел прочности на сжатие образцов МНЗ находится в зависимости от температуры в диапазоне  $20,7 \dots 28,50 \text{ МПа}$ .

При температурах нормальной эксплуатации около  $250^\circ\text{C}$  выход водорода из гидрида титана практически отсутствует. Были проведены испытания на условия возникновения пожара (30 мин при температуре  $800^\circ\text{C}$ ). При наличии в газовой среде объема, занятого материалом нейтронной защиты, парциального давления водорода около  $1 \text{ кгс/см}^2$  соединение  $TiH_2$  (66 ат.% водорода) в материале будет дегидрировано до соединения  $TiH_{0,72}$ , содержащего 42 ат.% водорода. То есть, даже во время пожара материал на основе магний-фосфатной керамики с гидридом титана  $TiH_2$  и карбидом бора  $B_4C$ , при полной или частичной герметичности объема с нейтронной защитой, сохранит не только свою геометрическую форму, но и за счет оставшегося равномерно распределенного в материале водорода и бора сохранит свои нейтронно-защитные свойства.

Оптимальная согласованность компонентов, выраженная в их процентном содержании в МНЗ, была определена экспериментальным путем. В результате экспериментов было выявлено, что магнийфосфатное связующее должно присутствовать

в составе МНЗ в количестве 24-33%, а порошковая часть соответственно 76-67%. Если связующего меньше 24%, а порошковой части больше 76%, то затрудняется перемешивание МНЗ, он становится густым, повышается его неоднородность. Если связующего больше 33%, а порошковой части меньше 67%, то ухудшаются нейтронозащитные свойства МНЗ, которые не должны быть меньше допустимой величины по Правилам НП-053-04 Росэнергоатома, содержащим критерии по радиационной безопасности.

В порошковой части экспериментально было выявлено оптимальное соотношение компонентов. Гидрид титана должен составлять 90,3%-95,5%. Если  $TiH_2$  меньше 90,3%, то снижаются нейтронозащитные свойства МНЗ ниже допустимых по Правилам НП-053-04 Росэнергоатома, содержащим критерии по радиационной безопасности.

Если  $TiH_2$  больше 95,5%, то снижается содержание  $MgO$  и  $V_4C$ . Это влечет за собой ухудшение свойств МНЗ. Если  $MgO$  меньше 2,7%, то уменьшается скорость затвердевания МНЗ, снижается его прочность и твердость. Если  $V_4C$  меньше 1,8%, то снижается порог поглощения нейтронов, что недопустимо по Правилам НП-053-04 Росэнергоатома, содержащим критерии по радиационной безопасности.

Если  $MgO$  больше 4,5%, то скорость затвердевания смеси увеличивается. Ухудшается неоднородность МНЗ, ухудшается равномерность заполнения требуемых полостей, так как время нахождения МНЗ в жидкой фазе сокращается.

Если  $V_4C$  больше 5,2%, то либо снижается содержание в МНЗ  $TiH_2$ , что влечет за собой снижение нейтронной защиты, либо снижается содержание  $MgO$ , что ухудшает прочность и твердость получаемого МНЗ.

Нейтронозащитные характеристики предлагаемого МНЗ определялись посредством нейтронно-физических расчетов, проведенных для модели типовой конструкции ТУК с 18 отработавшими тепловыделяющими сборками (ОТВС) с ОЯТ реакторов ВВЭР-1000 при размещении слоя МНЗ толщиной 24 см на боковой стальной стенке ТУК толщиной 22 см. Расчеты проводились по методу Монте-Карло, описанному в статье «Обоснование ядерной и радиационной безопасности контейнера для отработавших ТВС реакторов АМБ Белоярской АЭС», журнал «Атомная энергетика», т.100, №6, стр.423, 2006 г., авторы Горин Н.В., Кандиев Я.З, Чернухин Ю.И.

В расчетах вычислялся коэффициент ослабления ( $K_n$ ) слоем МНЗ дозы  $D_n$ , вызываемой нейтронным излучением ОТВС с ОЯТ. Расчеты были проведены для двух экспериментально полученных составов МНЗ после их глубокой осушки (до практически полной потери как сорбированной, так и кристаллизационной воды), отличающихся, главным образом, содержанием в них гидроксида титана ( $C_0$ , мас.%) и плотностью ( $\rho$ , г/см<sup>3</sup>).

Таблица 1

Составы и плотности МНЗ после глубокой осушки

Элемент	Содержание, мас.%	
	Состав 1	Состав 2
H	3,17	3,32
<sup>10</sup> B	0,94	0,65
<sup>11</sup> B	3,85	2,66
C	1,33	0,92
O	11,25	8,12
Mg	3,77	2,84
P	6,19	4,32

Ti	69,50	77,17
$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	1,8	2,35

Приведенные в таблице составы (мас.%) и плотности ( $\rho$ , г/см<sup>3</sup>) соответствуют экспериментально полученным образцам МНЗ при массовой доле гидрида титана (TiH<sub>2</sub>) в порошковой части исходной смеси для их приготовления  $C_0 \approx 90,3$  мас.% (состав 1) и  $C_0 \approx 95,5$  мас.% (состав 2). Основным элементом, определяющим коэффициент ослабления в составах 1 и 2, является гидрид титана. Остальные элементы в составе присутствуют для поддержания требуемого агрегатного состояния вещества, например его текучести. Найденные в расчетах значения коэффициентов ослабления  $K_n$  для этих составов МНЗ составили:

Состав 1:  $\rho = 1,8$  г/см<sup>3</sup>;  $K_{n1} \approx 820$ ;

Состав 2:  $\rho = 2,35$  г/см<sup>3</sup>;  $K_{n2} \approx 2880$ .

Заметно, что даже сравнительно небольшое увеличение содержания гидрида титана ( $C_0$ , мас.%) в предлагаемом МНЗ (при глубокой осушке) ведет к существенному улучшению его нейтронозащитных свойств. Однако получить материал с  $C_0 > 95,5$  мас.% (в порошковой части) затруднительно по технологическим причинам. Поэтому величина  $K_{n2} \approx 2880$  близка к предельной для конфигурации защитных слоев принятой в расчетах модели ТУК.

Таким образом, предлагаемый МНЗ из магний-фосфатной керамики с гидридом титана и карбидом бора, учитывая доступность компонентов, приемлемые нейтронно-защитные, физико-механические и теплофизические свойства, может быть использован в качестве твердотельного термостойкого МНЗ. Эта защита работоспособна в условиях повышенных температур (250°C и более) и способна частично сохранять нейтронно-защитные свойства в аварийных условиях пожара (800°C).

В доступных источниках информации не обнаружено технических решений, содержащих совокупно признаки, сходные с отличительными признаками заявляемого термостойкого МНЗ. Следовательно, изобретение соответствует критерию «новизна».

В располагаемых нами источниках информации отсутствуют сведения о влиянии имеющихся в заявленном изобретении отличительных признаков в совокупности на достижение заявленного технического результата. На основании этого был сделан вывод о соответствии изобретения критерию «изобретательский уровень».

Промышленная применимость.

Реализация предлагаемого способа является вполне возможной, т.к. на сегодняшний день промышленностью освоены все основные компоненты, из которых состоит заявляемое вещество, и технологические операции его приготовления. МНЗ может быть использован в конструкциях ТУК для транспортирования и хранения ОЯТ с высокой степенью выгорания, в качестве защитного слоя высокотемпературных радиационно-защитных экранов, а также другого теплонапряженного оборудования предприятий и объектов ядерного комплекса. Это подтверждает промышленную применимость МНЗ.

#### Формула изобретения

Термостойкий материал нейтронозащитный для радиационно-защитного слоя от нейтронного излучения, включающий магнийфосфатное связующее и порошковую часть, отличающийся тем, что магнийфосфатное связующее составляет 24-33 мас.%, а



порошковая часть - 76-67 мас.% от всей массы материала нейтронозащитного, в порошковую часть добавляем гидрид титана ( $TiH_2$ ), при этом порошковая часть содержит гидрида титана 90,3-95,5 мас.%, оксида магния ( $MgO$ ) 2,7-4,5 мас.%, карбида бора ( $B_4C$ ) 1,8-5,2 мас.% от всей массы порошковой части материала нейтронозащитного.

5

10

15

20

25

30

35

40

45