

In order to ensure the desired natural gas parameters there is a need to develop a method of natural gas after-treatment at gas-distributing stations that will be sufficient to maintain appropriate natural gas humidity parameters.

The authors have developed a mathematical model of heat transfer from the natural gas whirling current to the heated space air in a vortex heat exchanger. This model has been used to develop a schematic diagram of equipment layout and control devices that are able to ensure an energy-saving technology of supplying the coolant to its final users with required natural gas humidity parameters.

The paper contains a design solution of an industrial building energy-saving integrated heating system that utilizes the pressure drop at the gas-distribution plant and can increase energy efficiency of natural gas aftertreatment and dewatering before the gas is supplied to its user. There is a schematic diagram of a gas-distribution plant.

Key words: natural gas, gas control point and gas-distribution plant, pressure drop, vortex installation, heating system, gas cleaning and dewatering.

References

1. Promyshlennoe gazovoe oborudovanie: sprav. / avt.-sost.: E.A. Korjakin [i dr.]; pod red. E.A. Korjakina. – Saratov: Gazovik, 2002. 624 s.

2. Kobelev N.S., Fedorov S.S., Kobelev V.N. Metodika rascheta i konstruktivnoe reshenie vihrevoj trubyy dlja otoplenija proizvodstvennogo pomeshhenija // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija Tehnika i tehnologii. – 2014. – № 1. – S.75-81.

3. Pat. 2376541 Rossijskaja Federacija: MPK7 F 28 D 7/10. Vihrevoj teplobmennyy jelement / Kobelev N.S. [i dr.];

zajavitel' i patentoobladatel' Kursk. gos. tehn. un-t. №2008132516/06; zajavl. 06.08.2008; opubl. 20.12.2009, Bjul. № 35.

4. Pat. 87776 Rossijskaja Federacija: MPK7 F 17 D 1/04. Gazorasprelditel'naja stancija / Kobelev N.S. [i dr.]; zajavitel' i patentoobladatel' Kursk. gos. tehn. un-t. №2009118767/22; zajavl. 18.05.2009; opubl. 20.10.2009, Bjul. № 20.

5. Innovacionnye reshenija po povysheniju jeffektivnosti sistem gazosnabzhenija i klimatologii: monografija / N.S. Kobelev, A.V. Morzhavin, V.N. Kobelev [i dr.]. – Kursk, 2013. –187 s.

УДК 669.2

В.С. Панов, д-р техн. наук, профессор, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (Москва) (e-mail: zeinalova@rambler.ru)

В.Ю. Лопатин, канд. техн. наук, доцент, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (Москва) (e-mail: lopatin63@mail.ru)

Ж.В. Еремеева, д-р техн. наук, профессор, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (Москва) (e-mail: eremeeva-shanna@yandex.ru)

Е.В. Агеев, д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: ageev_ev@mail.ru)

ПОЛУЧЕНИЕ МЕТОДОМ СИНТЕЗА НАНОПОРОШКА ГИДРОКСИДА ГАДОЛИНИЯ ДЛЯ ЛЕГИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ТОПЛИВНЫХ ТАБЛЕТОК И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

В связи с ростом потребления электроэнергии и истощением природных ресурсов, широкое использование ядерной энергии в качестве альтернативы другим источникам энергии, является неизбежным и желательным способом энергообеспечения мировой экономики и в настоящее время и в обозримом будущем. Так, Федеральная программа развития атомной энергетики России предусматривает к 2020 году достижение производства на АЭС в общей выработке электроэнергии в стране до 22 – 25%, а к 2030 г. – соответственно 25 – 27%. Однако достижение указанного производства электроэнергии на АЭС невозможно без повышения уровня выгорания ядерного топлива.

В настоящее время ведется большое количество работ по совершенствованию технологии производства топливных элементов для обеспечения надежной работы в условиях повышенного выгорания. Высокое выгорание (80...100 мВт.сут/кг U) достигается путем введения выгорающего поглотителя нейтронов, в частности, Gd_2O_3 , позволяющего повысить безопасность реактора, увеличить загрузку топлива в реактор и улучшить характеристики жизни топливных элементов.

В статье представлены исследования по получению тонких порошков гидроксида гадолиния и определению их физико-химических характеристик. Методом химического диспергирования получены мелкодисперсные порошки гидроксида гадолиния. Влияние различных факторов на характеристики порошка: дисперсность, морфология и химический состав. Оптимальные результаты получены при использовании разбавленных растворов хлорида гадолиния и 5-10% мас.% решение. Методами рентгеновской дифракции и гравиметрического анализа определяются условия формирования аморфного гидроксида гадолиния и стабилизации перехода в моногидрат метагадолиния, которые при дегидратации в два этапа образуют кристаллический оксид гадолиния. Подтвержден хроматический эффект порошков гидроксида гадолиния – изменение окраски от белой до розово-фиолетовой при изменении условий осаждения и термического воздействия на образцы порошков.

Ключевые слова: гидроксид гадолиния, осадитель, концентрация, гранулометрический состав, метагидроксид гадолиния, дегидратация, хроматический эффект.

Введение

В связи с ростом потребления электроэнергии и истощения природных ресурсов широкое применение ядерной энергетики, как альтернативы другим источникам энергии, представляет собой неизбежный и целесообразный путь энергообеспечения мировой экономики как в настоящее время, так и в ближайшем обозримом будущем. Так Федеральная программа развития ядерной энергетики России предусматривает к 2020 году достижение выработки на АЭС в общем объеме генерации электроэнергии в стране до 22 – 25%, а к 2030 году соответственно 25 – 27%. Однако достижение указанной выработки электроэнергии на АЭС невозможно без увеличения достигнутого на данное время уровня выгорания ядерного топлива.

В настоящее время ведется большое количество работ по совершенствованию технологии производства ТВЭЛ для обеспечения надежной работы в условиях повышенных выгораний. Повышенное выгорание (80...100 МВт.сут/кг U) достигается введением выгорающего поглотителя нейтронов, в частности Gd_2O_3 , позволяющего повысить безопасность реактора, увеличить загрузку топлива в реактор, а также улучшить ресурсные характеристики ТВЭЛов [1].

Важнейшей характеристикой топливных таблеток на основе UO_2 является равномерность распределения составляющих их компонентов. Существующая технология изготовления позволяет добиться гомогенного распределения гадолиния по топливной таблетке, что приводит к образованию однородной пористой структуры, способствует уменьшению максимального размера пор и образованию однородных размеров зерен, причем средний размер зерна в образцах, легированных Gd_2O_3 , составляет 1...2 мкм, по сравнению с образцами, легированными оксидами ниобия, железа и алюминия, где средний размер зерна изменяется от 8,0 до 25 мкм [2].

Однако для более равномерного распределения по объему смеси вводимого в нее компонента необходимо, при прочих равных условиях, повысить дисперсность частиц компонента, тем самым увеличив его количество. Использование порошка Gd_2O_3 с размером частиц после размолта примерно в 2 раза меньше, чем у стандартного порошка Gd_2O_3 , позволило значительно улучшить качество урангадолиниевых таблеток: уменьшить максимальный размер пор в поле шлифа, улучшить фазовый состав таблеток, в частности увеличить содержание твердого раствора $UO_2 - Gd_2O_3$, оцениваемое по его доле в площади поля шлифа, умень-

шить максимальный размер непрореагировавших частиц Gd_2O_3 и UO_2 , а также повысить прочность таблеток [1, 3].

Учитывая вышесказанное, представляет интерес применение для легирования диоксида урана высокодисперсного, в идеале, нанодисперсного, порошка гидроксида гадолиния, полученного методом химического осаждения (химического диспергирования) из предельно разбавленных хлоридных растворов [4]. Предварительными опытами было установлено, что при таком осаждении получается порошок со значительно большей удельной поверхностью по сравнению с Gd_2O_3 . Для сравнения: удельная поверхность Gd_2O_3 составляет $1,2 \text{ м}^2/\text{г}$, а $Gd(OH)_3$ - $12,0 \dots 16,0 \text{ м}^2/\text{г}$.

Целью данной работы является получение нанопорошков гидроксида гадолиния путем управления характеристиками процесса осаждения: изучения влияния природы и концентрации кислот и осадителя, температуры, времени осаждения и т.д., а также исследование физико-химических свойств полученных гидроксидов.

Материалы и методики исследования

В качестве исходных материалов для синтеза образцов гидроксида гадолиния использовали: Gd_2O_3 марки ГДО-Ж (ТУ 48-4-524-90), 5%-ный раствор соляной кислоты марки (ОСЧ) и 10%-ый раствор NH_3 марки ОСЧ (ГОСТ 24147-80).

В качестве исследуемых материалов использовали порошки гидроксида гадолиния, полученные осаждением из хлоридных растворов гадолиния раствором NH_3 марки ОСЧ (ГОСТ 24147-80).

Свойства исходных веществ и полученных соединений гадолиния изучали методами сканирующей электронной микроскопии, рентгенофазового, термогравиметрического и химического анализов.

Удельную поверхность $S_{уд}$ исходного оксида и полученных порошков гидроксида гадолиния определяли с помощью анализатора удельной поверхности и пористости NOVA 1200e (США) по методу низкотемпературной адсорбции азота (метод БЭТ).

Погрешность измерений удельной поверхности составляет 3 %, диапазон измеряемых площадей от $0,01$ до $2000 \text{ м}^2/\text{г}$. Используя величины удельной поверхности порошков $S_{уд}$ средний размер частиц в агломератах определяли по формуле

$$D_{cp} = \frac{6}{\rho \cdot S_{уд}}, \quad (1)$$

где $S_{уд}$ – удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{кг}$; ρ – плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Для определения гранулометрического состава порошков использовали анализаторы Micro Sizer 201C с ультразвуковым диспергатором БПП SP 306 и Analysette 22 Microtec Plus.

Насыпную плотность определяли по стандартной методике в соответствии с ГОСТ 19440-94.

Рентгенофазовый анализ исходных оксидов и полученных осадков гидроксида гадолиния проводили на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2,0 в медном излучении ($K\alpha$) в диапазоне углов дифракции 2θ от 10° до 87° .

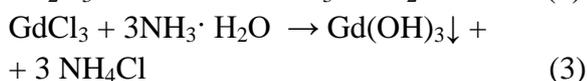
Термогравиметрический анализ выполняли на приборе NETZSCH STA 409 PC/PG в атмосфере He, навеска $\sim 0,25 \text{ г}$, скорость нагревания – $20,0 \text{ К}/\text{мин}$ с одновременным определением состава выделяющихся в процессе нагревания образцов газов на приборе Balzers MID.

Содержание примесей определяли методами атомной абсорбции и эмиссионно-спектрального анализа.

Результаты исследования и их обсуждение

Для растворения оксида гадолиния использовали раствор соляной кислоты. В качестве критерия выбора кислоты, используемой для получения соответствующей соли гадолиния, как было показано ранее, взято значение дисперсности конечного продукта - $Gd(OH)_3$, осажденного из растворов исследуемых кислот.

При использовании соляной кислоты протекающие процессы описываются уравнениями реакций 2, 3:



Установлено, что с увеличением концентрации HCl от 1,5 до 6 моль/л продолжительность растворения оксида гадолиния сокращается примерно в пять раз, но при этом содержание хлорид-иона в порошке $Gd(OH)_3$ возрастает с 0,02 до 0,04% масс. Причиной этого является образование малорастворимых основных солей состава $Gd(OH)_xCl_{(3-x)}$, где хлорид-ионы удерживаются в осажденном веществе не за счет адсорбционных, а за счет химических сил, сопоставимых по энергии связи со связью $\overset{3+}{E}-OH$.

Минимизировать содержание примесей основных солей можно осаждением гидроксида гадолиния только из очень разбавленных растворов, что способствует также увеличению дисперсности порошка и его химической однородности.

Осаждение проводили при pH 6,5 – 7 из растворов, нагретых до 85 °С при непрерывном перемешивании; далее полученный осадок промывали водой и сушили при 40-50°С до постоянной массы с целью предотвращения образования спекшихся конгломератов.

Согласно предварительным исследованиям, концентрация осадителя – раствора NH_3 значительно влияет на морфологию и размеры частиц гидроксида гадолиния. Для определения влияния концентрации этого раствора на остаточное содержание хлорид-иона, а также на дисперсность порошков были проведены опыты по осаждению $Gd(OH)_3$ из максимально разбавленных растворов хлорида гадолиния 5,0; 10,0 и 25,0% масс. раствором NH_3 . Полученные результаты показали, что с увеличением концентрации раствора аммиака насыпная плотность порошков гидроксида гадолиния возрастает с 0,92 г/см³ до 1,10 г/см³ при использовании 25%-ого раствора NH_3 . Максимальное значение удельной поверхности достигается при 10%-ой концентрации осадителя и составляет 15,6 м²/г, минимальное – 11,0 м²/г - при осаждении 25% NH_3 . Электронная микрофотография порошка гидроксида гадолиния, полученная при осаждении 10% раствором NH_3 , приведена на рис. 1.

На рисунках 2 и 3 приведены графики распределения частиц по размерам.

Как видно из рисунков 2 и 3, наиболее высокодисперсные частицы, основная масса которых представляет собой равноосные и сферические тела размером от 0,5 до 5 мкм, получают при использовании 5...10 %-ого раствора аммиака, тогда как повышение концентрации NH_3 до 25% приводит к осаждению в основном более крупных частиц и агломератов аморфного $Gd(OH)_3$ размером 20...80 мкм.

Для сравнения свойств полученных образцов для исследований выбраны порошки, осажденные 10% и 25%-ым раствором аммиака из хлоридных растворов гадолиния при температуре 80 С, pH раствора ~ 7 и постоянном перемешивании (скорость вращения мешалки ~ 500 об/мин).

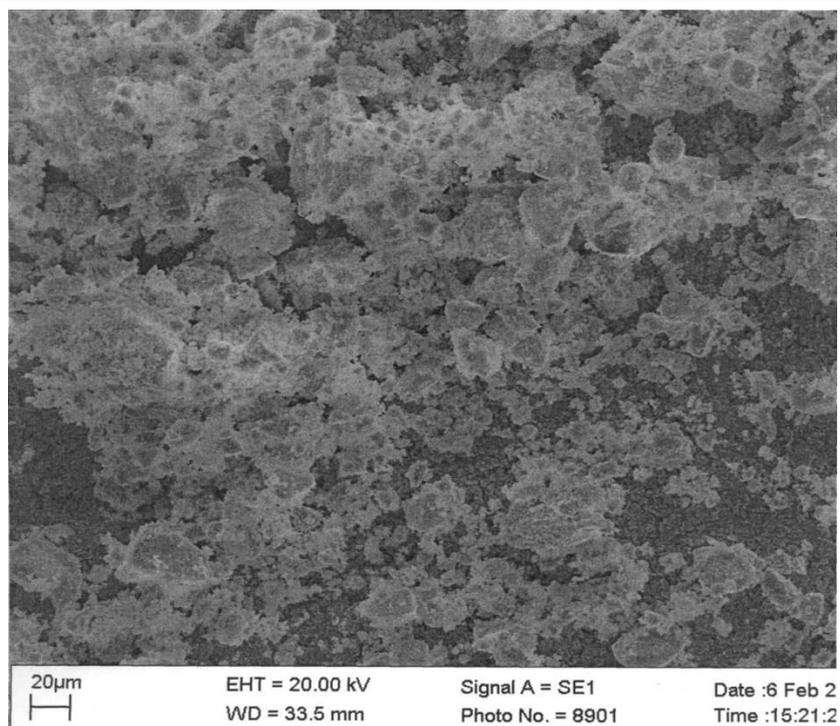


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение нанопорошка гидроксида гадолиния, осажденного из хлоридного раствора 10% раствором $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

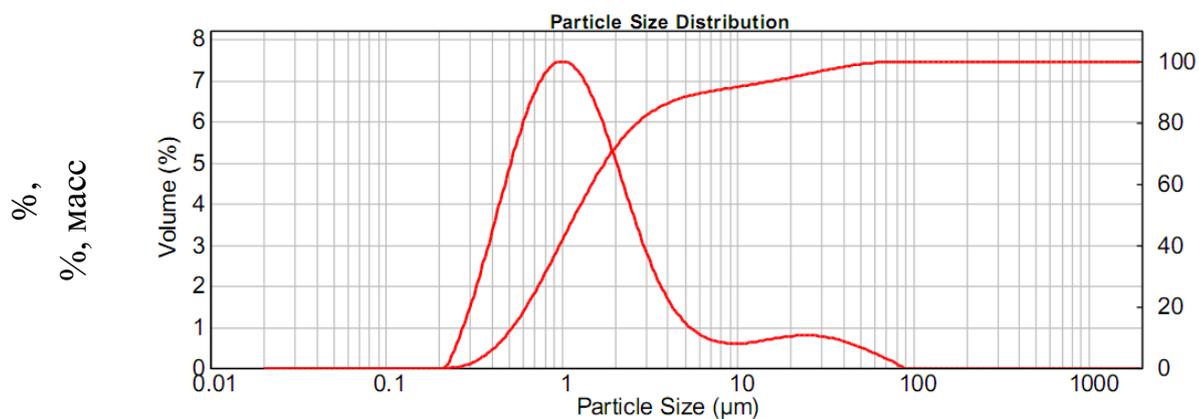


Рис. 2. Распределение по размерам частиц $\text{Gd}(\text{OH})_3$, осажденных 10 % раствором $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

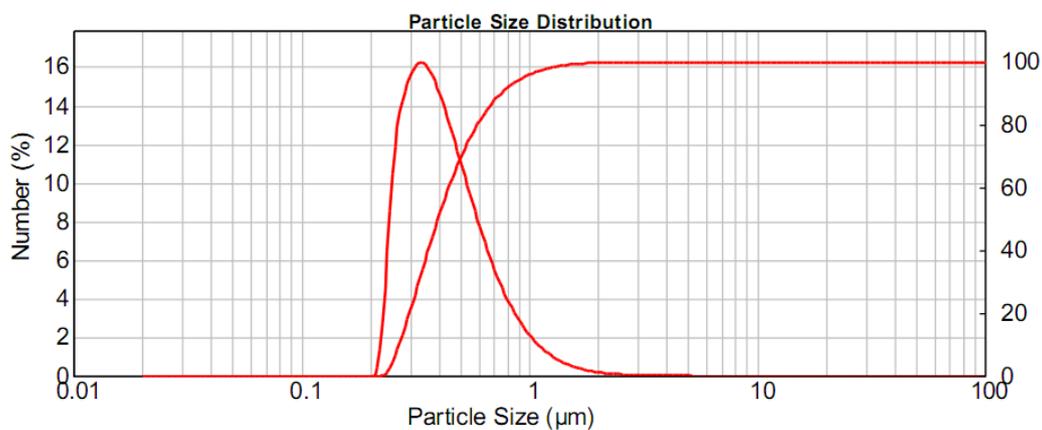
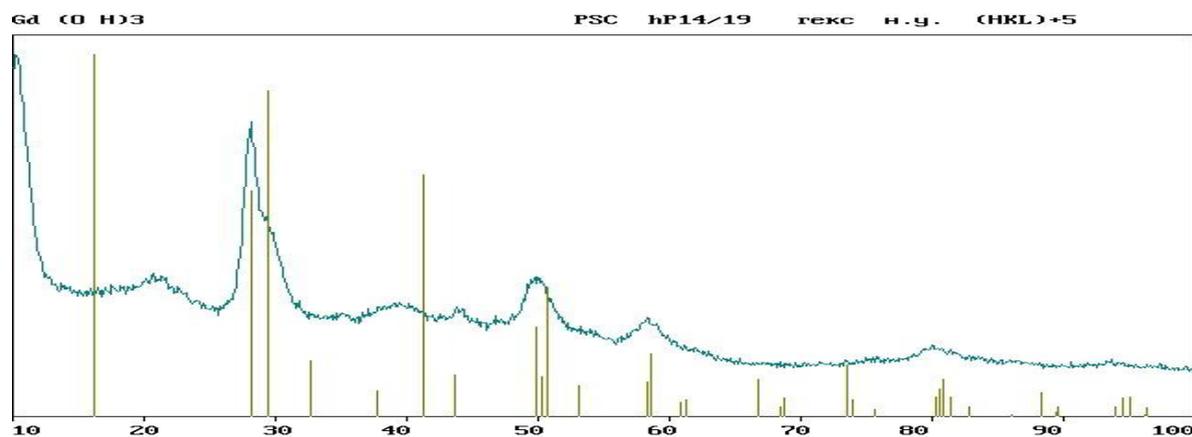


Рис. 3. Распределение по размерам частиц $\text{Gd}(\text{OH})_3$, осажденных 25% раствором $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Проведенный рентгенофазовый анализ указанных образцов показал различие в их структурах (рис. 4 а, б).

Как видно из рентгенограммы (рис.4 а), основная масса гидроксида гадолиния, осажденного 25%-ым раствором NH_3 , представляет собой рентгеноаморфное вещество с неравноосными искажениями пиков. Кроме того, в образцах идентифицируется фаза состава $\text{GdOOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ (следы),

однако самое сильное малоугловое отражение ($2\theta = 10^\circ$) идентифицировать не удалось. При осаждении гидроксида гадолиния 10%-ым раствором NH_3 данные рентгенофазового анализа (рис. 4 б) указывают на образование в основном фазы состава $\text{GdOOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$. Кроме того, как и в предыдущем случае, самое сильное малоугловое отражение не идентифицируется.



а)



б)

Рис. 4. Рентгенограммы образцов гидроксида гадолиния, полученных осаждением раствором $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$: а – 25%-ым раствором; б – 10%-ым раствором

Таким образом, данные рентгенофазового анализа также подтверждают зависимость структуры полученных порошков гидроксида гадолиния от условий осаждения.

Известно, что классическими формами существования рентгеноаморфных

гидроксидов РЗЭ являются близкие по энергии структуры димерных соединений, формирующихся в гелевой фазе – ортоформа $\text{Ln}(\text{OH})_3$ и метаформа LnOOH ; соответственно для гадолиния – $\text{Gd}(\text{OH})_3$ и GdOOH [5]. В зависимости от условий синтеза образуются гидратированные

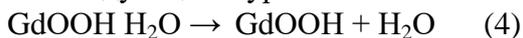
формы мета- и ортогидроксида гадолиния, причем степень их гидратации зависит от термодинамически выгодной структуры, т.е. от затраты энергии на их гидратацию.

По мнению авторов [5], образование метагидроксида гадолиния приводит к искажению линейной структуры $GdOOH$ и изменению длин связей $O - H$.

Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что изменение условий синтеза гидроксида гадолиния приводит к изменению его структуры, что частично подтверждается вышеприведенным РФ-анализом образцов.

Данные термогравиметрического анализа исследуемых порошков (рис. 5) показали, что разложение гидроксида гадолиния протекает в две стадии: в интервале температур $90 - 180$ С образец теряет 8% своей массы, что соответствует удалению одного моля H_2O ; в интервале $180 - 550$ °С образец теряет еще 5% массы, что соответствует удалению еще 0,5 моль H_2O .

Анализ гравиметрической кривой потери массы образца позволяет предположить следующий механизм дегидратации гидроксида гадолиния: вначале метагидроксид гадолиния $GdOOH \cdot H_2O$, теряя при нагревании до 180 °С 1 моль H_2O , дает линейную структуру $GdOOH$, которая при дальнейшем нагревании, теряя еще 0,5 моль H_2O , образует конечный продукт, соответствующий по массе оксиду гадолиния Gd_2O_3 , что также подтверждено рентгенофазовым анализом. В соответствии с вышеизложенным, дегидратацию гидроксида гадолиния можно представить следующими уравнениями:



Параллельное исследование состава газовой фазы подтвердило потерю массы образца за счет выделения воды, а также выявило наличие небольших количеств в газовой фазе кислорода, азота и хлорода.

Обращает на себя внимание выявленное нами свойство образцов гидроксида гадолиния изменять окраску от белой до розовой или розово-фиолетовой при изменении условий термической обработки – сушки осадков гидроксида гадолиния. Учитывая, что высушенные при температуре 90 °С осадки образуют большое количество трудно размалываемых спекшихся конгломератов, сушку проводили при ступенчатом подъеме температуры с выдержкой по 60 минут для каждой из температур: $40, 60$ и 90 °С.

Хроматический эффект для гидроксидов иттрия, гадолиния и циркония описан в работе [6], авторы которой наблюдали не всегда воспроизводимое изменение окраски синтезированных гелей указанных гидроксидов от желто-зеленой до красно-голубой. Как правило, окраска гидроксидов РЗЭ в ряду лантаноидов закономерно меняется в соответствии со стабилизацией 4f-электронной конфигурации. Этот процесс происходит под действием незначительного возмущения – изменения рН, ионной силы, солевого состава, механического и термического воздействий, и объясняется наличием стабильных и метастабильных полимеризованных структур, имеющих разные длины волн поглощения в ультрафиолетовой или видимой области спектра [7].

Результаты химического анализа (табл.) дают основание заключить, что концентрация примесей в полученных порошках гидроксида гадолиния незначительно отличается от содержания примесей в исходном Gd_2O_3 .

Содержание примесей в порошках Gd_2O_3 и $Gd(OH)_3$

Примесь	Содержание, 10^{-2} масс. %	
	Gd_2O_3	$Gd(OH)_3$
Ca	0,07	0,09
Fe	0,09	<0,10
Cu	0,01	<0,01
Si	0,9	<1,00
Cl-ион	2,0	2,00

Заключение

Методом химического диспергирования получены тонкодисперсные порошки гидроксида гадолиния.

Изучено влияние различных факторов на характеристики порошка: дисперсности, морфологии и химического состава.

Оптимальные результаты получены при использовании разбавленных хлоридных растворов гадолиния и 5-10% масс.% раствора NH_3 .

Методами рентгенофазового и гравиметрического анализов установлены условия образования аморфного гидроксида гадолиния и его стабилизация переходом в моногидрат метажидроксида гадолиния, который при гидратации в две стадии образует кристаллический оксид гадолиния.

Подтвержден хроматический эффект порошков гидроксида гадолиния – изменение окраски от белой до розово-фиолетовой при изменении условий осаждения и термического воздействия на образцы порошков.

Список литературы

1. Теплофизические свойства модифицированного оксидного ядерного топлива / В.Г. Баранов, А.В. Тенишев, С.А. Покровский, Д.П. Шорников // Сб. докл. науч. сессии НИЯУ МИФИ. – М., 2010. – Т.2. – С. 1-4.

2. Омельник А.П. Неразрушающий контроль выгорающего поглотителя в Левенец, А.А. Щур // Вісник Харківського університету. – 2005. – №71. – С. 104-108.

3. Оценка эффективности технологии топливных таблеток из порошка UO_2 с использованием модели динамики «активных» пор / А.И. Андреев, А.В. Бочаров, А.Б. Иванов, Г.А. Либенсон // Цветная металлургия. – 2002. – №4. – С. 47-50.

4. Савицкий Е.М. Редкоземельные элементы и их соединения в электронной технике. – Томск: Изд-во Томского госуниверситета, 1979. – 144 с.

5. Сухарев Ю.И., Белканова М.Ю. Моделирование процесса гидратации оксигидратов гадолиния и иттербия // Химия и биология. – 2005. – Вып. 3. – С. 41-43.

6. Сухарев Ю.И., Егоров Ю.В., Потемкин В.А. Окрашивание оксигидратных гелей некоторых тяжелых металлов // Известия Челябинского научного центра. – 1999. – Вып. 3. – С. 52-57.

7. Исследование процесса получения наноструктурированного титаната диспрозия механохимической обработкой оксидов титана и диспрозия / Е.В. Агеев, В.С. Панов, Ж.В. Еремеева, Е.В. Агеев, Л.В. Мякишева, А.А. Лизунов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2015. – № 5 (62). – С. 21-27.

Получено 04.03.16

V.S. Panov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, National Research Technological University MISA (e-mail: zeinalova@rambler.ru)

V.Y. Lopatin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, National Research Technological University MISA (e-mail: lopatin63@mail.ru)

J.V. Eremeeva, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, National Research Technological University MISA (e-mail: eremeeva-shanna@yandex.ru)

E.V. Ageev, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: ageev_ev@mail.ru)

A METHOD OF OBTAINING NANOPOWDER OF GADOLINIUM HYDROXIDE FOR ALLOYING FUEL PELLETS BY SYNTHESIS. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF THE NANOPOWDER

Nowadays nuclear energy has become widely used of as an alternative to other sources of energy due to the growth of electricity consumption and natural resource degradation. It is inevitable and desirable way of energy

supply in the world economy the foreseeable future either. So, the federal programme for the development of Atomic Energy of Russia provides achieving production at the plant in total up to 22-25% by 2020 and up to 25-27% by 2030. However, the achievement of the specified level is impossible without raising the level of fuel nuclear burnout at nuclear power plants.

Nowadays, a large number of works on improving production technology of nuclear fuel cells is being carried out to ensure its reliability in conditions of increased burnout. High Burnout (80 ... 100 MW per day/kg U) is achieved by introducing a burnable neutron absorber Gd₂O₃, in particular, to increase reactor safety. It also increases the loading of fuel into the reactor and characteristics of the nuclear fuel cells themselves.

This paper presents a study on production of fine powders of gadolinium hydroxide and determination of their physical and chemical characteristics. A chemical dispersion method was used to obtain fine powders of gadolinium hydroxide. The authors describe the influence of various factors on the powder characteristics, such as dispersion, morphology and chemical composition. The best results have been obtained when using dilute solutions of gadolinium chloride and 5-10%. An X-ray diffraction method and a gravimetric analysis determine the conditions of amorphous gadolinium hydroxide formation and stabilization of the transition into monohydrate metagalaxy gadolinium, which form a crystalline gadolinium oxide through two stages of dehydration. The chromatic effect of gadolinium hydroxide powders is confirmed, i.e. its color changes from white to pink-purple when changing the settling-out conditions and thermal effects on the powder samples.

Key words: gadolinium hydroxide, settler, concentration, particle size distribution, metahydroxide gadolinium, dehydration, the chromatic effect.

References

1. Teplofizicheskie svojstva modifirovannogo oksidnogo jadernogo topliva / V.G. Baranov, A.V. Tenishev, S.A. Pokrovskij, D.P. Shornikovi // Sb. dokl. nauch. sessii NIJaU MIFI. – M., 2010. – T.2. – S. 1-4.

2. Omel'nik A.P. Nerazrushajushhij kontrol' vygorajushhego poglotitelja v Levenec, A.A. Shhur // Visnik Har'kivs'kogo universitetu. – 2005. – №71. – S. 104-108.

3. Ocenka jeffektivnosti tehnologii toplivnyh tabletok iz poroshka UO₂ s ispol'zovaniem modeli dinamiki «aktivnyh» por / A.I. Andreev, A.V. Bocharov, A.B. Ivanov, G.A. Libenson // Cvetnaja metallurgija. – 2002. – №4. – S. 47-50.

4. Savickij E.M. Redkozemel'nye jelementy i ih soedinenija v jelektronnoj tehni-

ke.– Tomsk: Izd-vo Tomskogo gos-universiteta, 1979. – 144 s.

5. Suharev Ju.I., Belkanova M.Ju. Modelirovanie processa gidratcii oksigidratov gadolinija i itterbija // Himija i biologija. – 2005. – Vyp. 3. – S. 41-43.

6. Suharev Ju.I., Egorov Ju.V., Potemkin V.A. Okrashivanie oksigidratnyh gelej nekotoryh tjazhelyh metallov // Izvestija Cheljabinskogo nauchnoho centra. – 1999. – Vyp. 3. – S. 52-57.

7. Issledovanie processa poluchenija nanostrukturirovannogo titanata disprozija mehanohimicheskoj obrabotkoj oksidov titana i disprozija / E.V. Ageev, V.S. Panov, Zh.V. Eremeeva, E.V. Ageev, L.V. Mjakiševa, A.A. Lizunov // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2015. – № 5 (62). – S. 21–27.