

ТИТАНОСИЛИКАТНАЯ СТЕКЛОМАТРИЦА ДЛЯ ОТВЕРЖДЕНИЯ ОТХОДОВ, СОДЕРЖАЩИХ f-элементы

А.С. Алой, Ю.А. Барбанель, А.В. Трофименко

ФГУП НПО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина», Санкт-Петербург, Россия



В тройной системе $\text{Na}_2\text{O}-\text{TiO}_2-\text{SiO}_2$ были определены составы титаносиликатных стекол, которые обеспечивают не только стеклоподобную структуру, но и образование в стекле ассоциативных групп минерально-подобных соединений – фресноита ($\text{Ba}_2\text{TiSi}_2\text{O}_8$) и перовскита (SrTiO_3). Эти минералы прочно удерживают в себе f-элементы.

Для изучения возможности включения f-элементов оксиды европия и урана были добавлены в стекла в количестве 3 масс.%. Преобразования, которые произошли во время синтеза стекол и их кристаллизации, были изучены методами рентгеновской дифракции (РД) и дифференциально-термического анализа (ДТА). Распределение Eu и U по объему расплавов в стационарных условиях были исследованы с помощью лазерного флуоресцентного метода. Показано, что Eu распределен равномерно по объему стекла, в то время как U имеет тенденцию к седиментации в нижней части тигля за счет гравитации. Степень окисления для Eu была (+3), а U находился в состоянии (+6).

Так как в сетке стекла были реализованы структурные минералоподобные группировки фреснонита и перовскита, химическая устойчивость стекол была очень высокая; так скорость выщелачивания Eu составляла $3 \cdot 10^{-6}$ г/м²·сут, а U – $4 \cdot 10^{-6}$ г/м²·сут.

Ключевые слова: титаносиликатные стекла, иммобилизация ВАО, фресноит, перовскит.

Keywords: titanosilicate glass, immobilization of HLW, perovskite, fresnoite.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время начальное обогащение урана возросло в шесть раз по сравнению с тем, что использовали в военных программах, а выгорание в отработанном ядерном топливе (ОЯТ) – на два порядка. Соответственно возросло содержание продуктов деления (ПД), а малых актинидов – на три порядка (табл. 1) [1]. В итоге на 1 т тяжелых металлов (ТМ) в ОЯТ АЭС типа ВВЭР с выгоранием ~40 ГВт·сут/(т U) содержится примерно по 10 кг/т ²³⁵U и суммы изотопов Pu, а также ~0,7 кг/т Np, 0,5 кг/т транс-плутониевых элементов (ТПЭ) и 44 кг/т продуктов деления. Следует отметить наличие ~16 кг/т РЗЭ, наиболее близких по химическим свойствам к ТПЭ, и в 50 раз большее мольное содержание Zr, Mo и Ba, которые склонны к образованию осадков при водной переработке.

© А.С. Алой, Ю.А. Барбанель, А.В. Трофименко, 2013

Таблица 1

Содержание актинидов и высоковалентных продуктов деления (выдержка ОЯТ 5 лет) при различном выгорании ОЯТ

Элемент (изотоп)	Выгорание ОЯТ (ГВт-сут/т ТМ)					
	0,5	40	70	0,5	40	70
	Содержание г/т ТМ			Моль на 4,2 кмоль (1 т) ТМ		
²³² U	–	0,0015	0,004	–	–	–
²³⁵ U/ ²³⁸ U	6550/270	12500/5000	6200/7700	27,5/1,15	55,6/21,3	26,4/32,6
Np	0,5	700	1320	0,002	2,9	5,5
Pu	500	9900	12900	2,1	41	53,5
Am	0,5	480	1080	0,002	2,0	4,5
Sr	18	1440	1920	0,20	16	21,5
Zr	66	5240	7200	0,71	58	79
Mo	53	4260	6400	0,56	45	67
Tc	16	1090	1350	0,16	11	13,5
I	5	300	405	0,035	2,3	3,4
Cs	68	5120	6950	0,50	40	52,5
Ba	31	2460	3490	0,22	18	24
PЗЭ+У	220	~16000	~23000	1,3	104	158
ΣПД	550	~44000	~78000	4,6	363	650

При остекловывании такого типа отходов наблюдается тенденция к получению более тугоплавких композиций на основе высококремнеземистых и алюмосиликатных матриц, обладающих комплексом свойств, аналогичных минералоподобным материалам.

Выбор в качестве матрицы титаносиликатных стекол для иммобилизации высокоактивных отходов (ВАО), содержащих f-элементы, обусловлен следующими обстоятельствами:

- введение оксида титана в силикатные стекла в определенных соотношениях позволяет реализовать такой структурный каркас матрицы, что даже в случае расстекловывания или разрушении в процессе кристаллизации образующиеся фазы по типу природных минералов фресноита ($\text{Ba}_2\text{TiSi}_2\text{O}_8$) и перовскита (SrTiO_3) будут надежно удерживать f-элементы;

- использование модифицирующей структуру катионов (Na^+ , K^+ , Ba^{+2} , Ca^{2+}) позволяет создавать серию кристаллических титаносиликатов с большим интервалом концентрации TiO_2 и SiO_2 и расширяет область стеклообразования в титаносиликатных системах [2].

Стабильные стекла в этих системах не подверженные ликвации и кристаллизации образуются при соотношении $\text{Me}_2\text{O}(\text{MeO})/\text{TiO}_2 > 1$. Так при соблюдении данного соотношения зона стабильного стеклообразования захватывает и низкокремнеземистую область, ниже 50 мол.% SiO_2 . При концентрации оксида титана от 12 до 15 мол.% снижается склонность стекол к ликвации и кристаллизации [3].

При разработке составов стекол учитывалось, что в титаносиликатных системах область стеклообразования возрастает в ряду Li-Na-K для щелочных металлов и в ряду Ca-Sr-Ba для щелочноземельных элементов [4, 5].

СОСТАВЫ И УСЛОВИЯ СИНТЕЗА ТИТАНОСИЛИКАТНЫХ СТЕКОЛ

С учетом перечисленных выше закономерностей были синтезированы стекла, составы которых представлены в табл. 2. Синтез проводили в воздушной атмосфере. Температура синтеза и время выдержки для всех образцов были одинаковыми и составляли 1250°C, 3 часа.

Указанные в таблице составы стекол имеют одинаковые мольные концентрации компонентов, что позволяет сопоставлять их физико-химические свойства. Мольная концентрация оксида бария и стронция в образцах 1, 4 и 2, 5 равна суммарной мольной концентрации оксидов бария и стронция в образцах 3 и 6 при их соотношении $BaO/SrO = 1$. Известно, что оксиды РЗЭ и урана трудно растворяются в силикатных расплавах и в стекла входят в ограниченных количествах [6], поэтому концентрация оксидов урана и европия в синтезируемых стеклах составила 3,0 мас. %.

Таблица 2

Составы синтезируемых стекол (масс).%

№ образца Оксид	1	2	3	4	5	6	Концентрация, мол. %
Na ₂ O	20,0	21,7	20,8	20,0	21,7	20,8	26,4
BaO	24,0	–	12,5	24,0	–	12,5	12,8
SrO	–	17,7	8,5	–	17,7	8,5	
TiO ₂	12,5	13,6	13,0	12,5	13,6	13,0	12,8
SiO ₂	40,5	43,9	42,1	40,5	43,9	42,1	47,3
Eu ₂ O ₃	3,0	3,1	3,1	–	–	–	0,7
UO ₂	–	–	–	3,0	3,1	3,1	0,7

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В ШИХТЕ ПРИ СИНТЕЗЕ ТИТАНОСодержащих СТЕКОЛ

Для понимания процессов, приводящих к формированию структуры расплава, а затем и стекла, предполагается исследование фазовых превращений, происходящих на различных стадиях термообработки.

С этой целью проведено изучение состава фаз, образующихся в шихте при различных температурах вплоть до расплава. Шихта выбранных для исследования образцов 1–6 (табл. 1), проходила термообработку через каждые 100°C в интервале температур 600–1100°C с длительностью выдержки шесть часов. Фазовый состав шихты на различных стадиях термообработки определялся методом РФА. Составы кристаллических соединений, образующихся в шихте, представлены в табл. 3.

Экспериментальные данные показывают сложный многоступенчатый характер образования соответствующих кристаллических соединений в результате взаимодействия компонентов. На разных стадиях термообработки в шихте присутствуют силикаты, титанаты, титаносиликаты щелочно-земельных элементов. При температурах, близких к образованию расплава, в основном, существуют наиболее термодинамически устойчивые соединения по типу природных минералов (фресноита и перовскита), которые, переходя в расплав, образуют устойчивые структурные группировки, подобные им по составу и строению.

Европий и уран (Eu₂O₃ и U₃O₈) остаются в шихте в виде оксидов (Eu₂O₃ и U₃O₈) вплоть до 900°C.

Таблица 3

Фазовые превращения в шихте при синтезе титаносодержащих стекол

№ образца T, °C	1, 4	2, 5	3, 6
	Фазовый состав		
600	TiO ₂ , NaNO ₃ , BaCO ₃ , SiO ₂ , Ba ₂ TiSi ₂ O ₈	TiO ₂ , NaNO ₃ , SiO ₂ , SrSiO ₃ , SrTiO ₃ , Sr ₃ Ti ₂ O ₇	TiO ₂ , NaNO ₃ , SiO ₂ , SrSiO ₃ , SrTiO ₃ , Ba ₂ TiSi ₂ O ₈
700	NaNO ₃ , BaCO ₃ , SiO ₂ , Ba ₂ TiSi ₂ O ₈	TiO ₂ , NaNO ₃ , SiO ₂ , SrSiO ₃ , SrTiO ₃ , Sr ₃ Ti ₂ O ₇	TiO ₂ , NaNO ₃ , SiO ₂ , SrSiO ₃ , SrTiO ₃ , Ba ₂ TiSi ₂ O ₈
800	BaCO ₃ , BaTiO ₃ , Ba ₂ TiSi ₂ O ₈	SiO ₂ , SrSiO ₃ , SrTiO ₃ , Sr ₃ Ti ₂ O ₇ , Na ₂ SiO ₃ , Na ₂ Si ₂ O ₅	SrSiO ₃ , SrTiO ₃ , Ba ₂ TiSi ₂ O ₈ , Na ₂ Si ₂ O ₅
900	BaTiO ₃ , Ba ₂ TiSi ₂ O ₈	SrSiO ₃ , SrTiO ₃ , Na ₂ SiO ₃ , Na ₂ Si ₂ O ₅	SrTiO ₃ , Ba ₂ TiSi ₂ O ₈
1000	Ba ₂ TiSi ₂ O ₈	SrSiO ₃ , SrTiO ₃	SrTiO ₃ , Ba ₂ TiSi ₂ O ₈
1100	Аморфная фаза	Аморфная фаза	Аморфная фаза

СКЛОННОСТЬ СТЕКОЛ К КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Кристаллизационная способность стекол изучалась с помощью метода дифференциально-термического анализа (ДТА). ДТА проводился на дериватографе МОМ-1 с температурой нагрева до 1000°C, скорость нагрева 5–10 град/мин, погрешность измерения температуры ±5°C.

Основные характеристические температуры (размягчения, кристаллизации, ликвидуса) представлены в табл. 4.

Таблица 4

Данные ДТА

№ образца	T _g , °C	Температура кристаллизации, °C	Температура ликвидуса, °C
1	580	760	Не определена
2	590	730	910
3	560	770	900
4	560	740	Не определена
5	600	800	910
6	560	790	Не определена

Тот факт, что экзотермические эффекты образования кристаллических фаз наблюдаются на кривых ДТА в интервале температур 730–860°C, свидетельствует об устойчивости европий- и урансодержащих стекол к расстекловыванию.

Принудительную кристаллизацию образцов стекол № 1–6 проводили при температурах, соответствующих максимумам экзотермических эффектов на кривых ДТА с длительностью выдержки 3 ч.

По данным РФА соединение со структурой фресноита является основной кристаллической фазой в закристаллизованных стеклах № 1 и 4. Для стекол № 2 и 5 отмечается присутствие перовскита и силиката стронция. Кристаллизация стекол № 3 и 6 приводит к образованию фресноита и перовскита одновременно.

Аналогичные соединения отмечались и в продуктах термообработки шихты соответствующих составов при температурах, близких к образованию расплава (табл. 3), что свидетельствует об обратимости процесса стеклообразования.

Анализируя фазовые превращения, происходящие при формировании расплавов и кристаллизации стекол, можно предположить, что структура исследуемых титаносиликатных стекол формируется на основе фрагментов соединений аналогов природных минералов – фресноита и перовскита.

Так как f-элементы изоморфно входят в структуру природных минералов [2], то следует ожидать, что в стеклах подобного типа они будут прочно фиксироваться.

ОДНОРОДНОСТЬ ЕВРОПИЙ- И УРАНСОДЕРЖАЩИХ СТЕКОЛ

Методом рентгенофазового анализа (РФА) было определено, что стекла всех составов не содержат кристаллических фаз.

Исследование образцов стекол с европием и ураном, отобранных из разных частей расплава, производилось по спектрам люминесценции на лазерно-люминесцентном спектрометре, собранном на базе монохроматора ДФС-24 с обратной линейной дисперсией 0,45 нм/мм. Возбуждение производилось импульсным азотным лазером ИЛГИ-503. Регистрацию спектров осуществляли при помощи спектрометра с детектором типа-ФЭУ-79, работающим в режиме счета одноэлектронных импульсов.

Сравнение спектров люминесценции образцов 1–3 (рис. 1) показало, что величина относительной интенсивности люминесценции европия ($\lambda_{Eu^{3+}} = 611,8$ нм) одинакова для образцов, отобранных из разных частей расплава (верх, низ, середина). Этот факт указывает на то, что европий распределен в данных стеклах равномерно по объему.

Из полученных спектров люминесценции следует, что во всех изученных образцах европий сохраняет валентное состояние 3+.

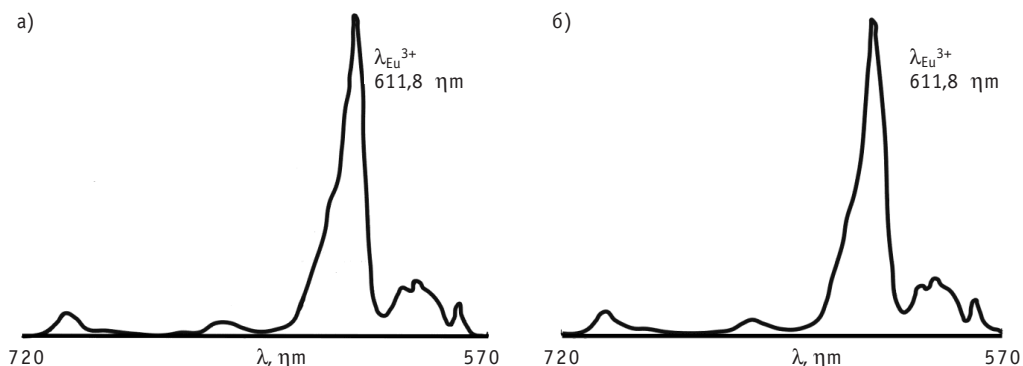


Рис. 1. Спектры люминесценции европия в щелочном титаносиликатном стекле. Содержание Eu_2O_3 3 мас.% $T = 293$ К: а) – верх слитка; б) – низ слитка

В спектрах стекол № 4–6 (рис. 2), содержащих уран, величина относительной интенсивности люминесценции ($\lambda_{UO_2^{2+}} = 530$ нм) постепенно возрастает от верхних к нижним частям расплава, что говорит об обогащении их ураном.

Склонность урана к седиментации, как и оксида плутония [7], может привести к нежелательным последствиям при остекловывании ВАО. Поэтому следует обратить особое внимание на выбор температурно-временных условий варки, предельной концентрации урана, при которой этот элемент распределяется равномерно по объему стекломассы, а также на необходимость перемешивания расплава.

Проведенные исследования показали, что люминесцирующими центрами в изученных образцах стекол являются исключительно ионы шестивалентного урана – UO_2^{2+} .

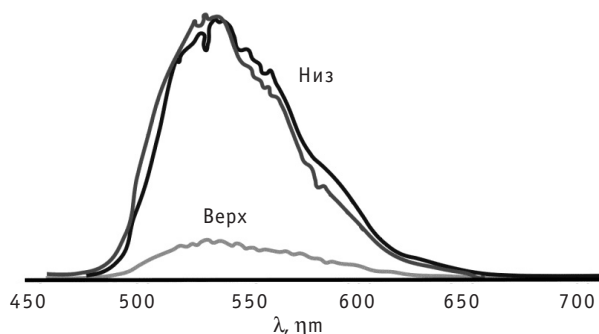


Рис. 2. Спектры люминесценции урансодержащих стекол

В спектрах люминесценции всех исследуемых составов не наблюдается сужения полос или появления тонкой структуры, следовательно, в изучаемых стеклах кристаллические образования отсутствуют.

ХИМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СТЕКОЛ

Изучение химической устойчивости образцов титаносиликатных стекол проводили по методике МСС-1 [8]. Условия выщелачивания: выщелачивающая среда – дистиллированная вода; $S/V = 10 \text{ м}^{-1}$; температура – 25°C ; длительность – 28 дней.

Выщелаты анализировались на уран и европий лазерно-люминесцентным методом с временным разрешением. Относительное среднеквадратическое отклонение для урана составило 6%, а для европия – 3%. Чувствительность метода – 10^{-10} г/л .

Значения равновесных скоростей выщелачивания составляют $(1,4\text{--}3,8) \cdot 10^{-10} \text{ г/см}^2 \cdot \text{сут}$ для европия и $(1,1\text{--}4,0) \cdot 10^{-10} \text{ г/см}^2 \cdot \text{сут}$ для урана (табл. 5).

Полученные данные позволяют сделать вывод о высокой устойчивости европий- и урансодержащих титаносиликатных стекол.

Таблица 5

Скорости выщелачивания европия и урана из титаносиликатных стекол

№ образца	1	2	3	4	5	6
	Eu			U		
Скорость выщелачивания $\text{г/см}^2 \cdot \text{сут} \cdot 10^{10}$	3,8	3,6	1,4	1,1	4,0	2,5

ВЫВОДЫ

1. Разработаны составы титаносиликатных стекол с содержанием оксидов урана или европия 3 масс.%, в структуре которых образуются ассоциативные группировки по типу природных минералов – фресноита и перовскита, прочно удерживающих f-элементы. Значения равновесных скоростей выщелачивания составляют $(1,4\text{--}3,8) \cdot 10^{-10} \text{ г/см}^2 \cdot \text{сут}$ для европия и $(1,1\text{--}4,0) \cdot 10^{-10} \text{ г/см}^2 \cdot \text{сут}$ для урана.

2. Оценка однородности распределения европия и урана в объеме расплава на стадии варки стекла при отсутствии принудительного перемешивания показала, что европий равномерно распределяется по объему, в то время как для урана наблюдается обогащение нижних слоев расплава.

3. Показано, что в стеклах европий находится в состоянии Eu^{3+} , а уран – U^{6+} .

4. Синтезированные стекла обладают достаточно высокой устойчивостью к растекловыванию, т.к. наблюдаемые на кривых ДТА экзотермические эффекты кристаллизации расположены в области высоких температур $700\text{--}800^\circ\text{C}$.

Литература

1. Федоров Ю.С., Зильберман Б.Я., Алой А.С. и др. Проблемы модернизации экстракционной переработки отработавшего ядерного топлива//Российский химический журнал. – 2010. – Т. LIV. – № 3. – С. 12-23.
2. Lutze Ed. By W. and Ewing R.C. Radioactive Waste Forms for the Future//Elsevier Science Publishers B.V. – 1988. – P. 427–493.
3. Ходаковская Р.Я. Химия титаносодержащих стекол и ситаллов. – М.: Химия, 1978. – 285 с.
4. Павлушкин Н.М., Ходаковская Р.Я. Стеклообразное состояние. – Л.: Наука, 1971. – 310 с.
5. Варшал Б.Г., Илюхин В.В., Блов Н.В. Кристаллохимические аспекты ликвационных явлений в трехкомпонентных титаносиликатных системах//Физика и химия стекла. – 1975. – Т. 1. – № 2. – С. 117-121.
6. Антен А.А. Химия стекла. – М.: Химия, 1974. – 352 с.
7. Кушников В.В., Матюнин Ю.И., Крылова Н.В.//Атомная энергия. – 1991. – 70. – 4. – С. 239-243.
8. Standard Test Method for Static Leaching of Monolithic Waste Forms for Disposal of Radioactive Waste, ASTM C1220-92, American Society for Testing and Materials, 1916 Race St., Philadelphia, PA, 19103 (MCC-1).

Поступила в редакцию 29.10.2012

ABSTRACTS OF THE PAPERS**УДК 621.039.54**

Water Cooled Reactor VVER SCP (preliminary elaboration) \ Kirillov P.L.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scool. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 10 pages, 5 tables. – References, 22 titles.

Brief review on the state of nuclear power engineering on 01.01.2013 is presented here. The project of nuclear reactor cooled with water at supercritical pressure – VVER SCP based on operation experience of such nuclear reactors as WWER, PWR, BWR, RBMK (more than 14000 reactor-years), long term experience of thermoelectric stations on fossil fuel, where steam at supercritical and super-super-critical pressures is used. Advantages of such type of reactor are listed as well as scientific and technical problems to be solved. Preliminary estimations in accordance with INPRO approach are made. Knowledge accumulated during last 10 years in this field allows reactor concept to be specified and the project of experimental reactor of small power to be launched.

УДК 621.039.534

Effect of of the Diffusion of Metal Components out of Steel through the Oxide Coating on Mass Transfer in Flow Circuit with Heavy Lead-containing Coolants \ P.N. Martynov, K.D. Ivanov, O.V. Lavrova, S.–A.S. Niasov, V.M. Shelemetev, V.V. Ulyanov, R.P. Sadovnichy, A.S. Fomin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scool. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 5 pages, 1 table, 3 illustrations. – References, 3 titles.

Article is devoted the interaction of structural steel with heavy lead-containing coolants on the definition of the diffusion effect of metal components steel output through the oxide coating on the mass transfer in the flow circuit. Based on the analysis of experimental data rendered quantitative estimates of the intensity of metallic impurities proceeds directly into the coolant. It is shown that in the non-isothermal conditions of the circulation circuit, their share could be 50% or more of the total intensity of the oxidation of the matrix of steel, which must be considered when developing systems cooling technologies.

УДК 669–1

Mining Conditions Passivation on Steel Pipe Heaters Steam Generator NPP \ Pavlenko V.I., Lebedev L.L., Prozorov V.V., Doilnitsyn V.A.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scool. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 8 pages, 4 tables. – References, 4 titles.

Electrochemical studies conducted on samples of pipe heaters steam generators made of steel 08X18H10T not of used after washing with acid solutions and complexing with various additives followed by passivation or without passivation. Found that the best passivation marked processing samples in solutions containing aluminum nitrate – a stationary potential, while in comparison with the investigation of shifts to a more positive region, which indicates the high shielding of active sites on the surface of the metal.

УДК 621.039.72

The Titanosilicate Glass Matrix for Immobilization of the Wastes Containing f-elements \ A.S. Aloy, Y.A. Barbanel, A.V. Trofimenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scool. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 7 pages, 5 tables, 8 illustrations. – References, 4 titles.

The compositions of titanosilicated glasses were defined in the ternary system $\text{Na}_2\text{O-TiO}_2\text{-SiO}_2$, which provide not only a perfect glassy-like structure (body) formation, but also associative groups of mineral-like compounds-fresnoite ($\text{Ba}_2\text{TiSi}_2\text{O}_9$) and perovskite (SrTiO_3) were implemental as well. These associates can incorporate f-elements very firmly. To study how these associates can incorporate f-elements europium and uranium oxides were added to the system in amount of 3 wt.%. Transformation, which took place during the presynthesis of glasses and their crystallization, were investigated by X-ray diffraction (XRD) and differential-thermo analysis (DTA). Distribution of Eu and U throughout the melts body in steady state conditions was detected using laser-fluorescence method. As a result, Eu was uniformly distributed in the volume while U has a tendency has a tendency on sedimentation at bottom part due to gravitation. Oxidation state for Eu was (+3) and U was in (+6) state. Because glass networks were based mineral-like associates, namely

fresnoite and perovskite, chemical durability of produced glasses was very high level, since equilibrium leach rate of Eu was $3 \cdot 10^{-6}$ g/m²·day and of U was $4 \cdot 10^{-6}$ g/m²·day.

УДК 546.212:541.12.012.3+534-14

Use of Generation of Acoustic Vibrations in Chemical Reaction and Properties of the Bubble Medium in Liquid to Reveal through Defects in Claddings of Slugs with Sodium \ Titarenko N.N., Dvornikov P.A., Kovtun S.N., Polionov V.P.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 8 pages, 5 illustrations. – References, 23 titles.

An opportunity to use the acoustic emission method to control micro-defects in the equipment is considered. In particular, for the first time it is shown experimentally that while sodium is interacting with water, the acoustic emission parameters are determined by the size of the interacting area for reacting components of the reaction. It is assumed that the major source of acoustic emission in the reaction of sodium interacting with water is generation of acoustic vibrations caused by phase transitions of sodium hydroxide. The obtained data make it possible to design a high-efficient system to control through defects in claddings of slugs with sodium.

УДК 621.039.534

The Investigation of the Acoustic Level Limit Switch of Coolant in the Integrated Stand of the KV-2 \ V.I. Melnikov, V.V Ivanov, Yu.A. Kiselev, A.A. Kiselev, K.M. Miriasov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 5 pages, 3 illustrations. – References, 4 titles.

The results of the level switch based on 24 point acoustic probes which monitored process into the testing integrated unit KV-2 three-year operation was generalized. It has been estimated that the developed level switch worked satisfactorily. They make possible monitoring the thermohydraulic processes associated with vapor phase formation died to the increase of liquid level and steam condensation into reactor.

УДК 004.42.001.5

Coolant Forecasting of Nuclear Reactors \ Malovik K.N., Nikishin V.V.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 6 pages, 7 illustrations. – References, 15 titles.

The article considers analytic forecasting of coolant and its limit condition. Shown experimental data of physical modeling of volumetric steam content via improvement of machine vision system. Proposed using theory of dynamic trends for coolant forecasting of nuclear reactor.

УДК 621.039.517

Technique and Software to Calculate Temperature Field in the System of Layered Cylindrical Fuel Elements \ Starkov V.A., Marikhin N.Yu.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 9 pages, 2 tables, 4 illustrations. – References, 5 titles.

A technique has been proposed and thermal conductivity problem has been solved analytically for the system of layered cylindrical fuel elements. Based on the results, an algorithm and FORTRAN software for the thermo-hydraulic calculation of a channel (THCC) have been developed to calculate the temperature field and thermal flux density in a fuel assembly with layered cylindrical fuel elements. The software also provides the calculation of the surface boiling onset temperatures on the fuel elements, critical fluxes and corresponding thermotechnical margins. Two coolant circulation schemes are provided for a fuel assembly: straight flow and Field tube. The results of the THCC calculations were compared with the analogous ones. A correlation between the calculation results is shown as well as the advantages of the THCC software performance.

УДК 519.6:621.039.5

The Overimplicit Scheme of Incomplete Factorization Method for Solving the Three-dimensional Difference Equations of Elliptic Type \ N.M. Troyanova, V.P. Ginkin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 8 pages, 1 tables, 4 illustrations. – References, 8 titles.

The over-implicit scheme of the incomplete factorization method (IFM) is proposed for solving the systems of linear algebraic equations that approximate the equations for neutron transport in the multigroup diffusion approximation, and the variant of combined IFM schemes is proposed, in which the peripheral