

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ВОДОРОДА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ АЛЮМИНИЯ С ВОДНЫМИ РАСТВОРАМИ

**В.К. Милинчук, В.И. Белозеров, А.С. Шилина, О.А. Ананьева,**

**Т.Е. Куницына, А.Б. Гордиенко**

*Обнинский институт атомной энергетики ИАТЭ НИЯУ «МИФИ»*

**Р**

Изложены результаты исследований процесса генерации водорода в гетерогенных композициях, содержащих алюминий, жидкое натриевое стекло, кристаллогидраты метасиликата натрия и воду различной минерализации. Установлено, что кремнийсодержащие реагенты удаляют пассивирующее оксидное покрытие с поверхности алюминия и переводят его в активированное состояние, эффективно разлагающее воду на водород. Химическому разложению на водород подвергаются водные растворы с различной степенью минерализации. Процесс генерации водорода протекает при невысоких температурах и нормальном давлении с высокой скоростью и теоретически предельным выходом водорода – 0.12 кг H<sub>2</sub> / 1 кг Al. Изучение физико-химических процессов разложения и удаления поверхностных оксидных пленок и генерации водорода восстановлением из воды реакторными металлическими материалами является важной проблемой водородной безопасности на АЭС.

**Ключевые слова:** водород, алюминий, вода, оксид алюминия, водородная безопасность, гетерогенные композиции, жидкое натриевое стекло, кристаллогидраты метасиликата натрия.

**Keywords:** hydrogen, aluminum, water, aluminum oxide, hydrogen safety, heterogeneous composition, liquid sodium glass, crystalline of sodium metasilicate.

### ВВЕДЕНИЕ

Генерация водорода и риск возникновения процесса горения водорода представляют собой сложную проблему водородной безопасности на АЭС. Поэтому анализ всех вопросов, относящихся к водородной безопасности, является важной ступенью при принятии любых мер по предотвращению или снижению вероятности аварий, обусловленных горением водорода [1].

Используемые в ядерных реакторах конструкционные материалы на основе сплавов циркония, нержавеющей стали, алюминия и других металлов защищены пассивирующими оксидными пленками, предохраняющими металл от прямого контакта с водой и водяным паром [2]. Так циркониевые сплавы покрыты защитными пленками из оксида циркония ZrO<sub>2</sub>, алюминий и алюминиевые сплавы – пленками из оксида алюминия Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, нержавеющие и углеродистые стали – защитными слоями, образующимися при оксидировании или окислении путем электролиза стали и железа. Эти пассивирующие покрытия обладают высокой стойкостью по отношению к воде и водяному пару при высоких

© **В.К. Милинчук, В.И. Белозеров, А.С. Шилина, О.А. Ананьева, Т.Е. Куницына, А.Б. Гордиенко, 2013**

температурах (до 300°C) в мощных полях ионизирующих излучений. Если провести разрушение и удаление с поверхности металлов защитных покрытий термическим, механическим, химическим способами, то эти металлы переходят в химически активное состояние и с высокой скоростью восстанавливают водород из воды и водяного пара. Так после термохимического разрушения и удаления оксидного покрытия с поверхности циркония при температуре ~950°C протекает парациркониевая реакция с образованием водорода в соответствии с уравнением  $Zr+2H_2O \rightarrow ZrO_2+2H_2+\Delta H$ ,  $\Delta H=-586.6$  кДж/моль Zr [3]. При температурах выше 1200°C парациркониевая реакция протекает очень быстро, так как выделяющаяся теплота дополнительно разогревает цирконий до температуры плавления, и реакция становится самоподдерживающейся. В активной зоне реактора ВВЭР-1000 находится ~23 т конструкционных материалов на основе сплавов циркония, которые в активированном состоянии при взаимодействии с водяным паром могут образовать около 1000 кг водорода (~0.0442 кг водорода на 1 кг Zr). Возникновение парациркониевой реакции возможно лишь при перегреве активной зоны. Образование такого количества водорода чрезвычайно опасно с точки зрения как взрыво- и пожароопасности, так и образования в контуре реакторной установки газовых пузырей, препятствующих циркуляции теплоносителя, что может усугубить аварию из-за прекращения теплосъема с топлива.

В парациркониевом процессе разрушение пассивирующих покрытий и образование активированного металла происходят при высоких температурах. В процессах, протекающих на поверхности металлов и приводящих к удалению защитных покрытий, переводу металла в активное состояние, могут участвовать присутствующие в водной среде различные примеси, например, соли ртути, меди, ионы хлора. О природе и количестве этих примесей имеется достаточно полная информация. Система водно-химического режима АЭС обеспечивает требуемое качество водных сред. Однако в аварийных и неконтролируемых ситуациях в водную среду случайно могут попадать другие, нетипичные для водного режима АЭС химические соединения, которые могут оказаться активаторами металлов в достаточно мягких условиях и привести к неконтролируемому процессу генерации водорода.

В статье приведены результаты исследований процесса генерации водорода в гетерогенных композициях на основе алюминия, который входит в состав конструкционных материалов контейнента и активной зоны некоторых реакторов. Алюминий можно рассматривать как модельный металл по отношению к цирконию: в ряду напряжений металлов алюминий и цирконий располагаются рядом (стандартные электродные потенциалы в воде алюминия -1.66 В, циркония -1.59 В). Алюминий при взаимодействии с воздухом переходит в пассивное состояние, так как на его поверхности мгновенно появляется защитная пленка оксида алюминия  $Al_2O_3$  толщиной 10–100 нм, которая приводит к пассивации металла. Эта пленка может сохраняться в неизменном состоянии в течение длительного времени.

В водной среде реактора в качестве неконтролируемых примесей случайно могут оказаться различные химические соединения, которые используются в производственных целях или входят в состав различных материалов, например, жидкое стекло вводится в состав бетона реакторных блоков, известь широко применяется при проведении строительных и ремонтных работ на АЭС. При наличии в водной среде кремний- или кальцийсодержащих примесей в гетерогенной системе могут реализоваться условия, благоприятные для возникновения процесса генерации водорода. Это обусловлено тем, что в водной среде, например, метасили-

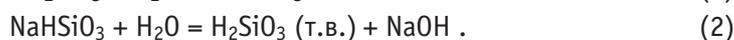
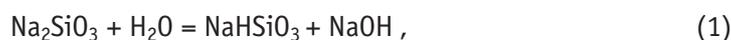
катные соли, входящие в состав жидкого натриевого стекла, претерпевают гидролиз, продукты которого взаимодействуют с алюминием, переводят его в активированное состояние, эффективно окисляющим воду с образованием молекулярного водорода [5–9]. Адекватный учет этого процесса генерации водорода с участием алюминия и других реакторных металлов может помочь в предотвращении и снижении последствий инцидентов, связанных с реакциями водорода с кислородом в условиях как штатной эксплуатации ядерных реакторов, а так и при авариях, и повышении водородной безопасности на АЭС.

### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследования процессов получения водорода проводили на гидрореакционных гетерогенных композициях, представляющих собой смесь алюминиевой пудры в виде чешуек размером 25–50 мкм, толщиной 0.25–0.50 мкм, с поверхностью ~1.6 м<sup>2</sup>/г (ГОСТ 5494-95, марка ПАП-2), промышленного жидкого натриевого стекла с силикатным модулем 3.2 (ГОСТ 13078-81). В качестве активатора использовались также кристаллогидраты метасиликата натрия с девятью молекулами воды Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>·9H<sub>2</sub>O (T<sub>пл</sub> = 48°C). Водные растворы этого соединения имеют щелочную реакцию. Кроме дистиллированной воды, использовали водные растворы с различной минерализацией, моделирующей состав морской воды с солесодержанием 39 г/л: хлорид натрия (77,3%), хлорид калия (1,64%), хлорид магния (11,21%), бромид магния (0,14%), сульфат магния (6,27%), сульфат кальция (3,02%), гидрокарбонат кальция (0,34%) [10]. К смеси дробно добавляется различное количество дистиллированной или минерализованной воды. Измерения водородного показателя проводили с помощью рН-метра марки «Анион 104». В качестве индикаторного электрода использовали стеклянный электрод с рН-функцией, а в качестве электрода сравнения – хлорид-серебряный электрод. Жидкое натриево-стекло имеет водородный показатель рН = 12.5. При добавлении к жидкому стеклу воды увеличивается степень гидролиза метасиликата натрия, и щелочность среды повышается до рН = 14. Реакционная смесь готовится путем тщательного перемешивания алюминиевой пудры и активатора в определенной пропорции. Навеска смеси загружается в стеклянную закрытую колбу объемом 500 мл с трубкой для отвода через водный раствор в измерительный сосуд образующегося водорода. Исследование генерации водорода проводилось в диапазоне от комнатной температуры до 100 °С. Колбу с образцом смеси нагревали до нужной температуры на электрической плитке и термостатировали до окончания процесса. Мониторинг реакции проводится путем измерения количества выделившегося водорода, поступающего в измерительный цилиндр установки (метод Лавуазье). Скоростью образования, выходом и длительностью генерации водорода управляли, изменяя состав композиции и температуру.

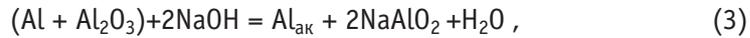
### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В гетерогенных композициях на основе алюминия, кремнийсодержащих соединений и водных растворов протекают физико-химические процессы, которые можно разбить на три стадии [4–9]. На первой стадии образуются химически активные соединения в результате гидролиза метасиликата натрия, входящего в состав жидкого натриевого стекла, и водных растворов силикатных солей кремниевой кислоты:

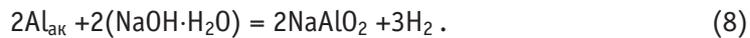
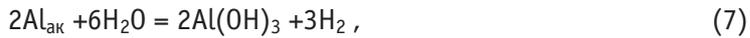
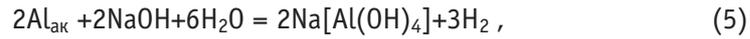


Продукт гидролиза – гидроксид натрия NaOH взаимодействует с оксидом алюми-

ния  $Al_2O_3$  по реакциям



в результате которых с поверхности алюминия удаляется оксидная пленка и образуется алюминий в активированном состоянии  $Al_{ак}$ . Третья стадия процесса – это взаимодействие  $Al_{ак}$  с водой по одной из следующих реакций с образованием водорода:



Рассмотрим закономерности генерации водорода гетерогенными композициями при варьировании соотношения алюминия, жидкого натриевого стекла и воды в зависимости от температуры и химического состава водного раствора.

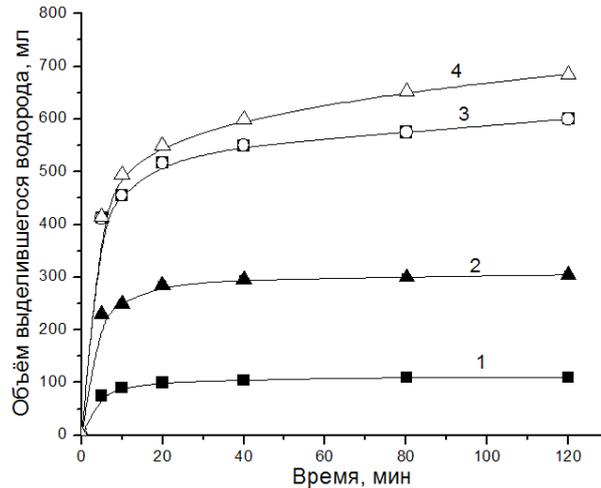


Рис. 1. Накопление водорода в зависимости от соотношения в композиции алюминиевой пудры и жидкого натриевого стекла: 1 – 1:1; 2 – 1:3; 3 – 1:5; 4 – 1:7 (масса алюминия 1 г, температура 60°C)

На рисунке 1 приведены кривые накопления водорода в композиции, состоящей из алюминиевой пудры и жидкого натриевого стекла. Как видно, скорость образования и выход водорода возрастают с увеличением концентрации жидкого стекла. В данном диапазоне соотношений алюминия и жидкого стекла выход водорода почти линейно зависит от концентрации жидкого стекла: при увеличении содержания жидкого стекла в композиции примерно в четыре раза выход водорода также возрастает в четыре раза. Выход водорода в расчете на 1 г алюминия составляет 0.13, 0.24, 0.53 и 0.65 л/г для композиций 1–4 соответственно. При дальнейшем увеличении содержания стекла выход водорода растет с замедляющейся скоростью и достигает предельного значения ~1.2 л/г при массовом соотношении порошка алюминия к жидкому стеклу ~1:10. Это значит, что при окислении 1 М алюминия в системе образуется ~1.5 М водорода, т.е. выход водорода достигает теоретически предельного значения.

Кривые, описывающие зависимость скорости образования и выхода водорода от состава композиции, состоящей из алюминиевой пудры, жидкого натриевого стекла и дистиллированной воды при соотношении компонентов 1:1,2:0 (кривая 1), 1:1,2:0,35

(кривая 2), 1:1,2:1,4 (кривая 3) и 1:1,2:2,1 (кривая 4), приведены на рис. 2. Видно, что скорость накопления и выход водорода растут нелинейно с увеличением степени разбавления жидкого стекла водой. При разбавлении на ~30 и 60% выход водорода увеличивается в ~2.5 и ~4.3 раза соответственно, а при дальнейшем увеличении степени разбавления раствора выход водорода замедляется и достигает предельной величины при степени разбавления ~90% (кривая 4). Максимальный выход водорода в расчете на 1 г алюминия составляет 0.3, 0.7, 1.0 и 1.1 л/г для композиций 1–4 соответственно. В композициях, содержащих разбавленные водные растворы жидкого стекла, для получения максимального выхода водорода требуется в ~10 раз меньше жидкого стекла, чем в композициях, содержащих только жидкое стекло. Это свидетельствует о значительном влиянии добавляемой к жидкому стеклу воды на активацию алюминия и на процесс образования водорода в реакции активированного алюминия с водой.

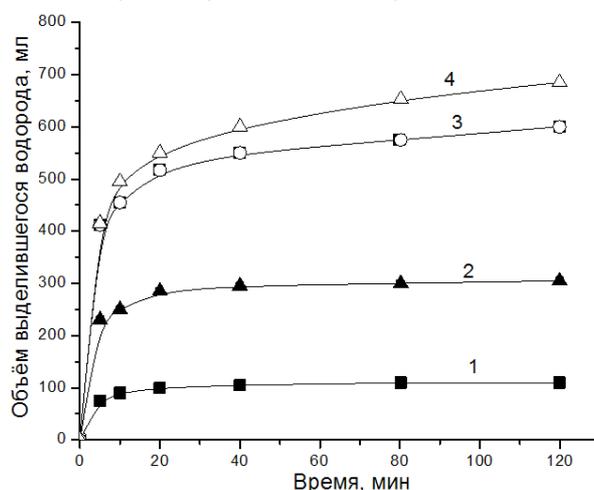


Рис. 2. Накопление водорода в зависимости от состава композиции, содержащей алюминиевую пудру, жидкое натриевое стекло и дистиллированную воду: 1 – соотношение компонентов 1:1,2:0; 2 – 1:1,2:0,35; 3 – 1:1,2:1,4; 4 – 1:1,2:2,1 (масса алюминия 2 г, температура 60°C)

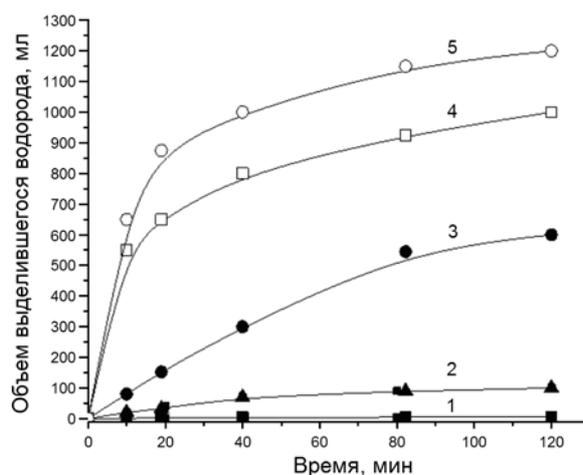


Рис. 3. Накопление водорода в композиции, содержащей алюминиевую пудру, жидкое натриевое стекло и дистиллированную воду в соотношении 1:2:4, в зависимости от температуры: 1 – 25°C; 2 – 40°C; 3 – 50°C; 4 – 60°C; 5 – 80°C (масса алюминия 1 г)

На рисунке 3 представлены кривые, характеризующие зависимость скорости

образования и выход водорода от температуры в интервале температур от комнатной (кривая 1) до 80°C (кривая 4) для композиции, содержащей алюминиевую пудру и жидкое натриево-стекло в соотношении 1:1.2. Образование водорода с очень низкой скоростью происходит уже при комнатной температуре. При нагревании до 40°C скорость накопления возрастает, а при нагревании до 60°C скорость накопления и выход водорода увеличиваются почти в 10 раз (кривая 3). Повышение температуры еще на 20°C приводит к еще большему выходу водорода (кривая 4). Установленная температурная зависимость генерации водорода свидетельствует об эндотермическом режиме процесса образования водорода. Такой характер режима обусловлен тем, что жидкое стекло представляет собой коллоидный раствор с высокой вязкостью, в десятки раз превосходящей вязкость воды. За высокую вязкость водного раствора жидкого стекла ответственно образование ассоциатов кремнекислородных анионов, накладывающее значительные диффузионные ограничения на течение всего процесса. Вязкость коллоидных систем с повышением температуры значительно снижается, что приводит к ускорению процесса генерации водорода.

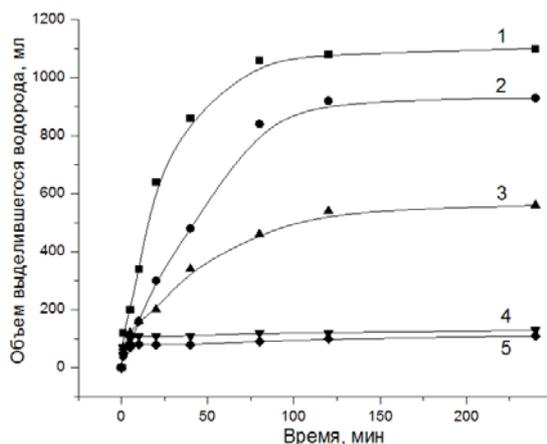


Рис. 4. Накопление водорода в композиции, содержащей 1 г алюминиевой пудры, 2,5 г жидкого натриевого стекла и 5 г воды с различным солесодержанием (г/л): 1 – дистиллированная вода; 2 – 20; 3 – морская вода, 37; 4 – 80; 5 – 160 (температура 60 °С)

Для оценки водородной опасности в результате разложения воды металлами принципиально важно выяснить влияние минерализации воды на процесс генерации водорода в гетерогенных композициях, содержащих различные активаторы металла. Рассмотрим закономерности генерации водорода в гетерогенной композиции с использованием в качестве активатора алюминия жидкого натриевого стекла. На рисунке 4 приведены кривые, характеризующие скорость накопления и предельный выход водорода в зависимости от солесодержания в водном растворе с различным содержанием морской соли. Для этой композиции обнаружена существенная зависимость процесса генерации от содержания соли в воде, а именно, наличие соли в воде приводит к существенному изменению основных параметров процесса генерации. Так при замене в композиции дистиллированной воды на водный раствор, соответствующий морской воде (содержание соли 37 г/л), скорость накопления и предельный выход водорода снижаются примерно в два раза. Отметим, что процесс генерации водорода протекает в композициях при использовании насыщенных водных растворов даже с солесодержанием 80 и 160 г/л, хотя с существенной скоростью и меньшим выходом водорода.

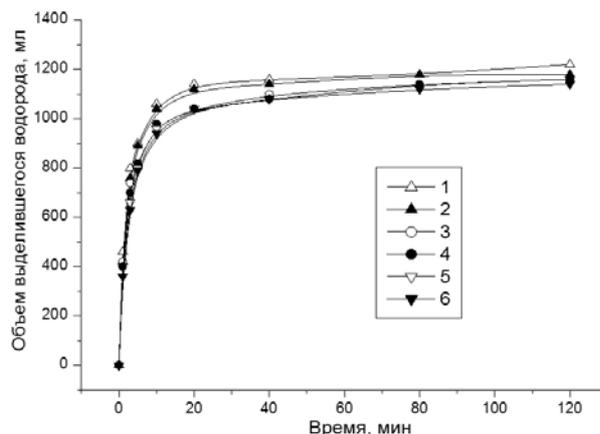


Рис. 5. Накопление водорода в композиции, содержащей 1 г Al, 2 г кристаллогидрата метасиликата натрия  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  и 10 г воды различной степени минерализации: 1 – дистиллированная вода; 2 – вода с содержанием морской соли 20 г/л; 3 – морская вода (солесодержание 37 г/л); 4 – вода с содержанием морской соли 80 г/л; 5 – вода с содержанием морской соли 160 г/л; 6 – вода с содержанием морской соли 250 г/л

По иному протекает процесс генерации в композиции, в которой вместо жидкого натриевого стекла был использован водный раствор кристаллогидрата метасиликата натрия  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ . В этих композициях, содержащих как дистиллированную воду, так и воду с различным содержанием морской соли, скорость накопления и предельный выход водорода полностью совпадают во всем диапазоне концентраций солей вплоть до насыщенных водных растворов с содержанием 160 и 250 г/л морской соли (рис. 5). Результаты этих исследований свидетельствуют об отсутствии влияния количества соли в таких композициях на процесс химического разложения воды на водород.

Столь различное влияние минерализации воды на процесс генерации водорода в двух типах композиций, содержащих одинаковый активатор алюминия – метасиликат натрия, следует искать в различиях их строения, влияющих на механизм процесса. Соли как сильные электролиты в растворах жидкого натриевого стекла и в водных растворах кристаллогидрата метасиликата натрия диссоциированы на ионы. Молекулы воды, гидратируя ионы, сами претерпевают поляризацию и соответствующие изменения строения и свойств. Суммарное влияние этих изменений на термодинамические свойства водных растворов выражается через коэффициент активности электролита в растворе. Средние коэффициенты активности таких основных в исследованных композициях электролитов, как NaCl и NaOH, в водных растворах при 25°C имеют близкие значения [10]. Вероятно, в водных растворах эти электролиты оказывают одинаковое влияние на процессы, ответственные за образование и взаимодействие активированного алюминия с молекулами воды в минерализованных растворах. Скорее всего, причину отличия в закономерностях генерации водорода в гетерогенных композициях с минерализованными растворами жидкого натриевого стекла и метасиликата натрия следует искать в различиях диффузионных процессов, ответственных за массоперенос реагентов в коллоидных растворах жидкого стекла и водных растворах метасиликатной соли и лимитирующих образование водорода на стадии взаимодействия алюминия с молекулами воды. Это является предметом дальнейших исследований.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности процесса генерации водорода в гетерогенных композициях, содержащих в водном растворе жидкое натриево стекло, кристаллогидраты метасиликата натрия, при хими-

ческом разложении воды алюминием. Этот процесс протекает при невысоких температурах и нормальном давлении с высокой скоростью и с теоретически предельным выходом водорода – 0.12 кг H<sub>2</sub> на 1 кг Al. Активаторами процесса генерации водорода являются стабильные и малоактивные химические соединения, участию которых в процессах генерации водорода в условиях водно-химического режима ядерных реакторов не придается должного значения. В этой связи представляется обоснованным предложение о необходимости проведения систематических исследований и разработки научных основ физико-химических процессов разрушения защитных оксидных покрытий реакторных металлов и сплавов и процессов генерации водорода при взаимодействии с водными средами, содержащими различные химические примеси. Изучение физико-химических процессов разложения и удаления поверхностных оксидных пленок и генерации водорода разложением воды реакторными металлическими материалами следует отнести к одной из важных проблем водородной безопасности на АЭС.

**Работа выполнена при финансовой поддержке государственного контракта № 14.740.11.0095.**

### **Литература**

1. НП–040–02. Правила обеспечения водородной взрывозащиты на атомной станции.
2. Справочник по ядерной энерготехнологии: Пер. с англ. / Ф. Раң, А. Адамантнадес, Дж. Кентон, Ч. Браун; под ред. В.А. Легасова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 752 с.
3. Mitigation of hydrogen hazards in severe accidents in nuclear power plants. International atomic energy agency. Vienna, 2011.
4. Патент № 2 371 382 РФ. МПК C01B 3/08. Гидрореакционная композиция для получения водорода./ В.К. Милинчук, С.М. Мерков // Бюлл. 2009. № 30.
5. Патент № 2 417 157 РФ. МПК C01B 3/08. Гидрореакционная гетерогенная композиция для получения водорода./ В.К. Милинчук, А.С. Шилина // Бюлл. 2011. № 12.
6. Шилина А.С., Милинчук В.К. Физико-химические процессы получения водорода и адсорбента, соответствующие принципам «зеленой» химии. // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEE. 2009. № 10. С. 10–14.
7. Милинчук В.К., Шилина А.С., Ананьева О.А., Куницына Т.Е., Пасевич О.Ф., Ларичева Т.Е. Исследование экологически безопасных, энергосберегающих способов получения водорода химическим разложением воды. // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEE. 2012. № 4. С. 49–54.
8. Ананьева О.А., Куницына Т.Е., Шилина А.С., Милинчук В.К. Получение водорода химическим разложением минерализованной воды. // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEE. 2012. № 5–6. С. 140–144.
9. Клишипонт Э.Р., Роцектаев Б.М., Милинчук В.К. Кинетика накопления водорода при химическом разложении воды в гетерогенных композициях. // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEE. 2012. № 9. – С. 116–120.
10. Киреев В.А. Краткий курс физической химии. – М.: Химия, 1978. – 624 с.

Поступила в редакцию 29.11.2012

**ABSTRACTS OF THE PAPERS****УДК 621.311:621.039**

*Nuclear power of direct conversion in space missions of the 21-st century \ Yarygin V.I.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) Obnibsk, 2013. 16 pages, 2 tables, 23 illustrations. References, 30 titles.*

The short review of a current state of the scientific research and development activity in the field of creation of the space nuclear power plants (SNPP) submegawatt and megawatt class with thermoelectric and thermionic converters the thermal energy to electric for transport power modules and interorbital tows is submitted. The analysis of the main results received at the creation of SNPP of the first generation (SNAP-10A, BUK, TOPAZ) is carried out and the main tasks and problems of the development of SNPP of the second generation are covered.

Topical issues of the use of SNPP and nuclear power propulsion systems for space exploration and the comparison of the characteristics of SNPP of direct and machine conversion of energy are considered.

**УДК 621.039**

*The simulation of the process of sodium freezing in the tubes for the optimization of fast breeder reactor units maintenance \ Tashlykov O.L., Naumov A.A. Sheklein S.E.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) Obnibsk, 2013. 6 pages, 5 illustrations. References, 8 titles.*

The peculiarities of the repair works of the fast breeder reactor NPP sodium systems are considered. The requirements for the sodium melting exclusion inside the equipment and piping during their opening and repair are given. The results of the sodium cooling process simulation with SolidWorks software are given. The advantages of quick-mounting (quick-detachable) device for sodium freezing by works execution at radioactive sodium systems are shown.

**УДК 621.039**

*The choice of locking medium of the shaft seal of main circulation pumps reactor facility with lead and lead-bismuth coolants \ Beznosov A.V., Novinsky E.G., Lvov A.V., Bokov P.A., Bokova T.A.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) Obnibsk, 2013. 6 pages, 1 tables, 3 illustrations. References, 4 titles.*

The paper discusses possible applications of locking media: oil, or high purity water in a rotating shaft seal system main circulation pumps (MCP) of the main circuit with fast reactors cooled by lead and lead-bismuth coolant. The analysis was performed based on the need to optimize the operating parameters of the seal and bearing in mind the possible impact of the medium on the locking performance characteristics of the reactor circuit, as in normal operation and in case of emergency admission of significant amounts of oil or condensate water from the rotating shaft seal system MCP to the reactor circuit.

**УДК 621.039.534**

*Research processes and devices hydrogen purification applied to the circulation loop with the heavy liquid metal coolants \ Ulyanov V.V., Martynov P.N., Gulevsky V.A., Fomin A.S., Teplyakov U.A.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) Obnibsk, 2013. 6 pages, 4 illustrations. References, 4 titles.*

The article deals with the problem of pollution circulation circuits with heavy liquid metal coolant slag deposits on the basis of lead oxide. As a solution to the above problem, the method of purification of hydrogen, comprising administering a mixture of Ar-H<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub> directly into the flow of the circulating heavy liquid metal coolant. As the device is used for hydrogen purification proposed mechanical (disk design) gas dispergator. A program of its method of testing conducted hydrogen purification circulation loop stand TT-2M with gas dispergator. Based on these results the gas dispergator can be recommended not only for research stands, but also for the first contours of promising reactors with heavy liquid metal coolant.

**УДК 620.9+544(075)**

*The study of hydrogen generation in the interaction of aluminum with aqueous solutions \ Milinchuk V.K.,*

*Belozеров V.I., Shilina A.S., Ananieva O.A., Kunizina T.E., Gordienko A.B.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) Obnibsk, 2013. 8 pages, 5 illustrations. References, 10 titles.*

The paper presents the results of research on hydrogen generation in heterogeneous compositions containing aluminum, liquid sodium glass, crystalline sodium metasilicate and water of varying salinity. Found that silicon reagents remove the passivation oxide coating on the surface of aluminum and its translation into an activated state, effectively decompose water into hydrogen. Chemical decomposition into hydrogen efficiently are aqueous solutions with varying degrees of mineralization. The process of generating hydrogen is carried out at low temperatures and atmospheric pressure at high speed and theoretically limiting the release of hydrogen  $H_2$  0.12 kg / 1 kg of Al. The study of chemical processes of decomposition and removal of surface oxide films and the generation of hydrogen from restoration water by reactor metallic materials is one of the tasks of hydrogen safety for nuclear power plants.

#### **УДК 621.039.586.001.57**

*Application of computer codes RELAP\SCDAP and MELCOR for the analysis of management of WWER-1000 accidents \ Samokhin D.S., Chuklin A.A.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) Obnibsk, 2013. 10 pages, 4 tables, 5 illustrations. References, 7 titles.*

The article describes the problem of shortage of significant information about the processes occurring in a nuclear reactor during heavy failure, about parameters of these processes, and as consequence, absence of optimum actions for management of heavy failures. The article gives a description of power plants, performed with the code MELCOR. There is compares the results of calculations of WWER-1000 severe accidents generated by means computer codes MELCOR and RELAP/SCDAP.

#### **УДК 621.039.586: 536.42**

*About the Nature of the course of BN Reactor beyond Design Accidents under post-accident Core Materials Relocation \ Vlasichev G.N.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) Obnibsk, 2013. 7 pages, 3 illustrations. References, 22 titles.*

In the safety analysis of BN reactor accepted division of beyond design accident into four stages: initial, transitional, post-accident material relocation and post-accident heat removal. Formed in transitional stage as a result of the molten cladding relocation and solidification initial steel blockages of channels for a while impede the flow down of liquid fuel and form a solid foundation for the pool. To move the fuel in channels it is required at first a melting of blockages. After reactor shutdown it is possible in the case of insufficient heat to the surrounding fuel assemblies. Under melt-through of blockage the melt will be flow into the channels between the yet solid parts of the fuel rods at some length, it hardens there and again forms a layer of blockages. As a result, the process of heat-generating mass moving will be not smooth, and the intermittent nature and will consist of repeating phases: melt-through of blockages layer, leaking of melt at some length and solidification, the melting of the next layer, etc.

#### **УДК 620.172.251.222**

*Mechanical properties of E110 alloy at temperature range up to 1273K \ Izmalkov I.N., Loshmanov L.P., Kostyukhina A.V.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) Obnibsk, 2013. 7 pages, 4 illustrations. References, 22 titles.*

E110 alloy is one of the main structural materials of VVER type reactor core. The effect of temperature up to 1273 K and strain rate on the mechanical properties of the E110alloy have been studied. The ring samplesmanufactured from VVER fuel rod cladding was tested. Tests have been conducted in the air and in a vacuum. As a result the strength and ductility properties of E110the alloy have been developed.

#### **УДК 621.039.54**

*Hybrid technique for shielding calculations on basis of CADIS \ Suslov I. R., Lyamcev I.A., Chernov S.V.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) Obnibsk, 2013. 9 pages, 3 tables, 3 illustrations. References, 20 titles.*

Presented a hybrid technique for shielding calculation that uses continuous energy Monte Carlo