

ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ ПЕРЕРАБОТКОЙ В ЩЕЛОЧНОЙ РАСТВОР И ОТВЕРЖДЕНИЕМ В ГЕОЦЕМЕНТНЫЙ КАМЕНЬ

**С.Н.Скоморохова, Э.Е.Коновалов, О.В.Старков, Е.А.Кочеткова,
В.С.Копылов, Т.В.Полетахина, Е.М.Трифанова**

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



Приведены результаты разработки способа обращения с радиоактивными отходами щелочных металлов, используемых в качестве теплоносителя в ядерных энергетических установках. Способ включает переработку и кондиционирование продуктов переработки для экологически безопасного длительного захоронения. Изложены основные физико-химические процессы, лежащие в основе способа, - диспергирование щелочного металла на инертном носителе, растворение и отверждение в геоцементный камень. Показаны особенности технологической схемы и свойства конечного продукта.

При снятии с эксплуатации ядерных энергетических установок с натриевым или калий-натриевым жидкометаллическим теплоносителем, образуются радиоактивные отходы (РАО) этих металлов с максимальной удельной активностью 10^8 - 10^9 Бк/кг. Долговременная активность этих отходов определяется, главным образом, радионуклидом цезий-137. Наличие в РАО щелочных металлов радионуклида натрия-22, а также незначительных количеств других радионуклидов - продуктов деления и активации существенно не влияет на технологию переработки и локализации продуктов переработки.

Технологические операции обезвреживания РАО щелочных металлов значительно усложняются из-за высокой химической активности, взрыво- и пожароопасности этих отходов. Наибольшее количество таких отходов образуется при снятии с эксплуатации промышленных быстрых реакторов с натриевым теплоносителем.

Выбор технологии обезвреживания РАО щелочных металлов предполагает оценку таких технико-экономических показателей как

- безопасность процесса;
- эффективность, управляемость процесса;
- соответствие санитарно-гигиеническим нормам;
- сложность используемого оборудования;
- доступность и стоимость материалов;
- качество конечного продукта переработки.

© С.Н.Скоморохова, Э.Е.Коновалов, О.В.Старков, Е.А.Кочеткова, В.С.Копылов, Т.В.Полетахина, Е.М.Трифанова, 1999

Современный подход к проблеме переработки радиоактивных отходов выдвигает в качестве основной характеристики технологии вид конечного целевого продукта переработки, подлежащего надежной изоляции от биосферы с сохранением устойчивости под действием природных агрессивных сред. При этом необходимо руководствоваться общепринятыми принципами безопасности и существующими требованиями к отвержденным композициям, связанными с экологически безопасным хранением (захоронением) РАО [1]. Реализация этих требований применительно к РАО щелочных металлов возможна путем синтеза шлакощелочных цементных компаундов на основе полиминерального алюмосиликатного сырья.

Предлагаемый в настоящей работе способ переработки РАО щелочных металлов предполагает осуществление трех основных процессов [2]:

- диспергирование расплава РАО щелочного металла до получения сыпучей дисперсной смеси на твердом, инертном к щелочному металлу носителе (металлургическом шлаке), служащем в дальнейшем одним из основных компонентов вяжущей системы;
- растворение диспергированного щелочного металла с одновременным затворением образующейся вяжущей системы;
- гидратационное твердение вяжущей системы с фиксацией щелочных металлов и радионуклидов цезия в структурах новообразований, формирующихся в твердой цементной матрице.

Процессы диспергирования и затворения реализуются в двух основных операциях технологической схемы (рис.1); гидратационное твердение протекает самопроизвольно в процессе хранения продукта переработки в нормально-влажностных условиях.

Состав и соотношение используемых в названных двух операциях компонентов (инертный носитель, глинистые добавки, РАО щелочного металла, затворяющий раствор), образующих вяжущую систему, определены с таким расчетом, что в результате самопроизвольного гидратационного твердения полученной раствороцементной массы формируется шлакощелочной цементный камень, в состав которого входят новообразования - аналоги пороодообразующих материалов.

ДИСПЕРГИРОВАНИЕ РАО ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

В процессе диспергирования расплава щелочного металла на инертном носителе происходит формирование высокоразвитой поверхности щелочного металла за счет его измельчения и распределения на поверхности частиц инертного носителя, не сопровождающееся химическим превращением щелочного металла.

Использование диспергированного щелочного металла позволяет обеспечивать необходимые кинетические параметры, полноту реакции и производительность основного этапа переработки отходов - затворения вяжущей системы водным щелочным раствором.

В химико-технологической практике процесс диспергирования щелочных металлов на инертных носителях успешно применяется для решения широкого спектра задач. Используют различные способы диспергирования: эжектирование расплава щелочного металла в кислородсодержащую газовую полость [3], в водный щелочной раствор [4], диспергирование в жидких инертных углеводородах [5] и на твердофазных сыпучих носителях [6]. Близким к диспергированию способом является испарение металла с последующим окислением на гранулах твердофазного окислителя [7]. Диспергирование щелочного металла на твердофазном носителе является наиболее разработанным способом. Известно [8], что расплавленный натрий при температуре 100-200°C при диспергировании в инертной атмосфере спонтанно рас-

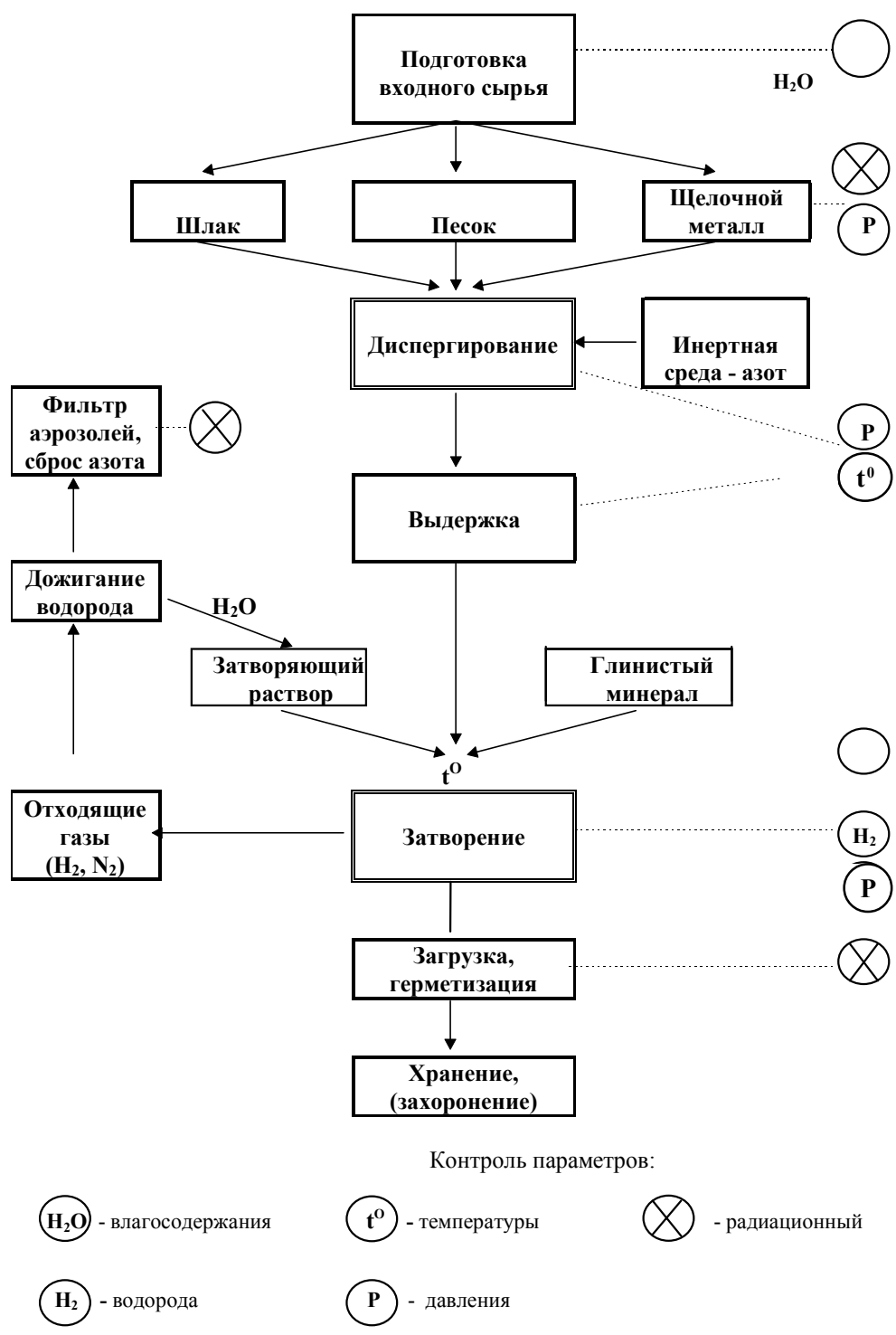


Рис. 1. Технологическая схема процесса переработки и кондиционирования РАО щелочных металлов

пределяется на поверхности инертного твердого вещества в виде тонкой пленки. Такими твердыми веществами могут быть, например, NaCl , Na_2CO_3 , Na_2O , уголь, песок, глина, порошок металла, Al_2O_3 , SiC . В зависимости от свойств и степени измельчения данные материалы могут поглощать различные количества натрия: от 2 до 30%, сохраняя при этом сыпучие свойства.

В зависимости от способа приготовления диспергированного натрия размеры его частиц существенно различны. Так, натриевый песок имеет размеры частиц $3 \cdot 10^{-3}$ – $3 \cdot 10^{-4}$ м [3]. Тонкодиспергированный натрий на поверхности твердых материалов с высокоразвитой поверхностью может достигать распределения 10^{-6} – 10^{-9} м.

Использование в качестве инертного носителя мелкомолотого металлургического гранулированного шлака позволяет в процессе диспергирования не только подготовить поверхность щелочного металла, но и одновременно решить вопрос формирования вяжущей системы для отверждения продуктов растворения в устойчивый шлакощелочной цементный камень (геоцемент).

Мелкомолотый гранулированный шлак, характеризующийся высокой удельной поверхностью (300 – 400 м²/кг), представляет собой аморфную смесь оксидов, химически инертных при низких температурах к щелочному металлу. Основной химический состав металлургических шлаков колеблется в пределах, % по массе: SiO_2 – 36–41; CaO – 34–45; Al_2O_3 – 7–17; MgO – 7–11; Fe_2O_3 – 0,4–2; MnO – 0,3–1.

В качестве технического средства для реализации процесса диспергирования был выбран диспергатор барабанного типа, предназначенный для среднего и тонкого помола с частицами размером 2 – $0,075$ мм способом самоизмельчения. Измельчение материала в такой установке происходит под одновременным воздействием раздавливающих, ударных и истирающих усилий со стороны мелющих тел (частиц инертного носителя).

Процесс диспергирования не сопровождается выделением тепла, реализуется при рабочей температуре, близкой к температуре плавления перерабатываемого щелочного металла: $t_{\text{исх.}} = 100$ – 120°C для натрия; $t_{\text{исх.}} = 20$ – 25°C для сплава NaK .

Оптимальные соотношения между натрием и инертным носителем подобраны исходя из двух критериев: сыпучести конечного продукта и максимальной емкости по щелочному металлу.

В условиях диспергирования в инертной атмосфере при оптимальном соотношении щелочного металла и шлака образуется сыпучая тонкодисперсная смесь, содержащая до 20% масс. щелочного металла, характеризующаяся размерами частиц:

$>1,6$ мм	1–3%;	$0,6$ – $0,2$ мм	23–36%;
$1,6$ – $0,6$ мм	8–17%;	$<0,2$ мм	68–44%.

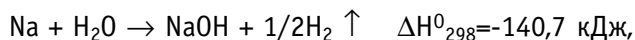
Оптимизация эксплуатационных условий работы диспергатора (состав инертного носителя; степень заполнения диспергатора; скорость и продолжительность вращения) позволяет реализовать процесс диспергирования в полунепрерывном и эффективном режимах.

Введение в состав инертного носителя до 20–30% масс. кварцевого песка повышает эффективность диспергирования и сыпучесть дисперсной смеси. Так, при соотношении шлака, песка и натрия 4:1:1 соответственно, полученная смесь легко транспортируется и сохраняет свою сыпучесть до 14 сут. в условиях хранения на воздухе (при относительной влажности 30–40%). При наличии постоянного перемешивания эта сыпучая смесь легко взаимодействует с реагентами (жидкими или газообразными) практически без диффузионных ограничений, что определяет возможность регулирования скорости взаимодействия.

РАСТВОРЕНИЕ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ И ЗАТВОРЕНИЕ ВЯЖУЩЕЙ СИСТЕМЫ

На этапе растворения достигается химическое превращение щелочного металла в щелочь и одновременное формирование алюмосиликатной вяжущей системы.

Процесс сопровождается выделением водорода в газовую фазу и самопроизвольным разогревом реакционной массы за счет экзотермической реакции



и за счет гидратационного взаимодействия компонентов вяжущей системы.

Известно [9], что в жидкофазных процессах, основанных на растворении щелочного металла в крепком каустическом растворе, кинетика процесса лимитируется диффузией в пленке NaOH (продукт реакции) на поверхности частиц щелочного металла. Спокойное течение процесса при использовании высококонцентрированных щелочных растворов (на 2-3% ниже насыщения) представляет собой метастабильное состояние. Резкое повышение температуры, перемешивание раствора приводит к радикальному увеличению скорости процесса.

В тех процессах, где используют распыление через форсунки жидкого металла в объем крепкого каустического раствора [10], по мнению авторов [9], удастся избежать проблемы образования метастабильной пленки. Полная скорость процесса эффективно регулируется скоростью подачи щелочного металла, а не химическими и кинетическими (диффузионными) эффектами. Однако использование распыляющих устройств создает трудности в техническом обслуживании систем, особенно применительно к щелочным металлам, загрязненным продуктами окисления и другими примесями.

Использование диспергированного РАО щелочного металла на твердом инертном носителе решает проблему метастабильной пленки NaOH в процессе растворения щелочного металла, а также устраняет необходимость использования распыляющих устройств.

Процесс регулируется скоростью подачи диспергированного щелочного металла совместно с водой и контролируется содержанием водорода в газовой фазе.

Затворение первой порции дисперсной смеси щелочным раствором и последующее дозирование ее поочередно с водой (затворяющим раствором) проводят с таким расчетом, чтобы процесс окисления щелочного металла постоянно протекал в вязком концентрированном (50-65%) щелочном растворе.

Высокая щелочность реакционной массы, ее пастообразная консистенция за счет присутствия шлака, песка и глинистых компонентов обуславливают "мягкий", управляемый характер процесса затворения. Высокоразвитая площадь реакционной поверхности щелочного металла в виде тонкой пленки на поверхности шлака обеспечивает практически мгновенное окисление щелочного металла при введении его в вяжущую систему (щелочную реакционную массу).

Таким образом, в соответствии с законом Шукарева-Нернста, отражающим особенности гетерогенного растворения

$$dc/d\tau = DS_x(C_{\text{нас}} - C)/\delta V,$$

предлагаемый процесс реализуется на высокоразвитой площади реакционной поверхности (S_x), при минимальном градиенте концентраций ($C_{\text{нас}} - C$), в вязкой реакционной массе (малая величина коэффициента диффузии D), в условиях активного перемешивания (малая толщина диффузионного слоя δ), что определяет оптимальные кинетические параметры процесса, позволяет осуществлять окисление щелочного металла в регулируемом полунепрерывном режиме.

Проведение процесса затворения в соответствии с предлагаемым способом обеспечивает самопроизвольный разогрев реакционной массы до температуры, близкой к $90-100^{\circ}\text{C}$, что способствует активизации процесса схватывания вяжущей системы и формированию минералоподобных новообразований, прочно удерживающих радионуклиды.

Проведены предварительные эксперименты по использованию в качестве затворяющего раствора модельных систем, имитирующих жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) атомных станций, содержащие NaNO_3 , $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$, $\text{NaOH}+\text{KOH}$, Na_3PO_4 , NaCl , сульфол, Mn_2O_3 , Fe_2O_3 , фильтроперлит с общим солесодержанием $50-300$ г/л. Введение ЖРО в затворяющий раствор открывает возможность одновременной переработки двух видов отходов.

ТВЕРДЕНИЕ И СВОЙСТВА ШЛАКОЩЕЛОЧНОГО ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Химическая природа отходов, их основной радионуклидный состав, уровень удельной активности и наиболее распространенные способы первичной переработки - все это позволяет считать, что наиболее перспективными матричными материалами для иммобилизации продуктов переработки РАО щелочных металлов являются шлакощелочные цементы, в которых одним из основных исходных компонентов вяжущей системы являются растворы соединений щелочных элементов. Основными компонентами шлако-щелочного цемента [11, 12] являются мелкомолотые гранулированные металлургические шлаки и соединения щелочных элементов. В состав этих цементов входят также различные добавки и, прежде всего, глинистые компоненты. Шлакощелочной цементный камень (геоцемент) отличается высокой устойчивостью к водным природным агрессивным средам, а, следовательно, и долговечностью [13,14].

Указанные компоненты вяжущей системы формируют в продуктах гидратации водостойкие соединения. Содержащиеся в вяжущем шлаковое стекло и минералы глины начинают взаимодействовать с едкими щелочами одновременно. Однако стекловидные силикаты интенсивнее гидратируются щелочами. На начальной стадии гидратации и твердения шлакощелочных вяжущих формирование структуры геоцементного камня обусловлено, в основном, образованием и кристаллизацией низкоосновных гидросиликатов и гидрогранатов. Щелочные и щелочно-щелочноземельные гидроалюмосиликаты вследствие их более медленной кристаллизации возникают на более поздних стадиях. Образуясь преимущественно в паровом пространстве, они заполняют его и способствуют возникновению прочных кристаллизационных контактов с первичными фазами, а также обуславливают формирование более однородной и плотной структуры [13]. Добавление в вяжущую систему природных или обожженных глин увеличивает наполнение геоцементного камня щелочными элементами в результате взаимодействия глин с едкими щелочами в естественных условиях или при гидротермальной обработке, образуя дополнительное количество кристаллических щелочных гидроалюмосиликатных новообразований. К ним относятся цеолитоподобные фазы типа гидронефелина ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), калиофелита ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), натролита ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), анальцима ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) и мусковита ($\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), которые повышают долговечность геоцементного камня.

Предварительный обжиг глинистых минералов при температуре 873 К и более интенсифицирует этот процесс в естественных условиях твердения, синтезируя водостойкое вещество состава анальцима.

Для образования наиболее водостойкого камневидного вещества, формирующегося в вяжущей системе, содержащей шлак, глинистый минерал и щелочь, необходимо, чтобы в исходном материале молярное отношение между содержащимися щелочью (в пересчете на Me_2O) и оксидом алюминия было бы близко к единице. Продукты вза-

имедействия глинистых частиц с едкими щелочами наряду с продуктами гидратации шлакощелочного вяжущего цементируют песчаные частицы заполнителя. Едкая щелочь, кроме взаимодействия с глинистыми частицами, химически активизирует поверхность песчаных частиц.

Так как глинистые частицы менее интенсивно взаимодействуют со щелочами, процесс их гидратации более продолжителен. В связи с этим геоцементный камень, содержащий радионуклиды цезия и натрия, со временем будет улучшать свои прочностные свойства, устойчивость к природным агрессивным средам и прочность фиксации радионуклидов цезия.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ РАО ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

Приведенная на рис.1 пооперационная технологическая схема была реализована на экспериментальной установке с одноразовой загрузкой по щелочному металлу до 2 кг.

В качестве основных узлов установка включает:

- диспергатор в виде цилиндрической барабанной мельницы ($L/D=3,3$);
- затворитель в виде бака с мешалкой;
- стыковочный узел, обеспечивающий дозированную подачу дисперсной массы из диспергатора в затворитель;
- электроприводы диспергатора и затворителя с преобразователями частот вращения;
- бункер для исходных сыпучих сред;
- бак для затворяющего раствора;
- мерники-дозаторы жидких и сыпучих сред;
- подводы инженерных коммуникаций (инертный газ, вода);
- анализатор водорода.

Параметры процесса диспергирования:

Начальная температура - $\sim 20^{\circ}\text{C}$ (NaK), 120°C (Na).

Максимальная температура процесса- 40°C (NaK), 135°C (Na)

Оптимальный компонентный состав смеси: РАО щелочного металла -13% масс., шлак - 52% масс., песок - 13% масс., глинистый материал - 22% масс.

Скорость вращения барабана - 75 об/мин.

Максимальная продолжительность вращения - 25 мин.

Полученный продукт диспергирования характеризовался удовлетворительными сыпучестью и однородностью частиц.

Параметры процесса затворения:

Начальная температура процесса - $\sim 20^{\circ}\text{C}$.

Максимальная температура - 100°C .

Концентрация водорода перед сбросом в вентиляцию- до 4% об.

Условия проведения - инертная атмосфера.

Окончание процесса устанавливается по отсутствию H_2 в газовой фазе.

Стандартные образцы, изготовленные из полученной массы геоцементного теста, после твердения характеризуются следующими свойствами:

Плотность образцов геоцементного камня - $1,7-2,0 \text{ г/см}^3$.

Содержание натрия в образцах - 5,6-10,9% масс.

Водотвердое отношение - 0,4-0,6 л/кг.

Механическая прочность на сжатие $\sim 7-19 \text{ МПа}$.

В 1 м^3 конечного продукта переработки может содержаться до 180-200 кг натрия (до 350 кг в пересчете на NaOH).

Исследования водоустойчивости отвержденных образцов показали величину скорости выщелачивания по Cs-137 - 10^{-4} - 10^{-5} г/см².сут.

Характеристики механической прочности и химической устойчивости полученных образцов удовлетворяют нормативным отечественным требованиям и требованиям МАГАТЭ для цементных компаундов.

Безопасность процесса обеспечивается следующими технологическими операциями: контролем водорода; продувкой инертным газом; дожиганием водорода с возвратом образующейся воды, содержащей тритий, в емкость для затворяющего раствора.

К достоинствам предлагаемой технологической схемы следует отнести:

- управляемость и контролируемость процесса;
- низкотемпературный характер технологических операций (<120°C);
- использование доступных материалов природного (каолин, песок) и техногенного происхождения (металлургический шлак);
- возможность осуществления процесса в полунепрерывном режиме, без использования крупногабаритного оборудования и операций нагрева и принудительного теплосъема реакционной массы;
- технологическая простота, возможность использования оборудования, имеющего высокую степень заводской готовности, разработанного для процессов цементирования РАО;
- возможность использования жидких радиоактивных отходов (ЖРО) в качестве затворяющего реагента (т.е. перерабатывать сразу два вида радиоактивных отходов);
- получение конечного продукта переработки в компактной форме трудно-растворимых соединений, пригодных для экологически безопасного захоронения.

Список литературы

1. Принцип безопасности и технические критерии для подземного захоронения радиоактивных отходов высокого уровня активности // Серия изданий по безопасности № 99. Нормы МАГАТЭ по безопасности. Международное агентство по атомной энергии. - Вена, 1990.
2. Положительное решение о выдаче патента № 97113190/25 (013981). Кл. 6 G 21 F 9/28, G 21 F 9/16. Приоритет от 31.07.97.
3. *Ситтиг М.* Натрий, его производство, свойства и применение. - М.: Госатомиздат, 1961. - 142 с.
4. Патент США № 4032614. Заявл. 20.10.75 № 624030, опубл. 28.06.77.
5. Патент Японии № 54-114473. Заявл. 27.02.73 № 20884, опубл. 06.09.79.
6. Патент США № 4234449. Заявл. 30.05.79 № 43855, опубл. 18.11.80.
7. *Коновалов Э.Е., Ластов А.И., Малумян И.В. и др.* Экологически безопасная локализация отходов радиоактивных щелочных металлов // Атомная энергия, 1991. - Т.70. - Вып.5. - С.307-310.
8. *Брауэр Г.* Руководство по неорганическому синтезу. - М.: Мир, 1985. - Т.3.
9. *Lutton Y.M., Colburn R.P., Welch F.* Sodium Removal and Decontamination of LMFBR Components for Maintenance. Atomic Energy Review. - 1980. - V.18. - №4. - P.815-892.
10. *Хаммер Р.Р., Льюис Л.К.* Обработка NaK из реактора EBR-1 с переводом в твердый продукт для хранения / В сб.: Материалы 1 конференции по дезактивации и снятию с эксплуатации радиоактивного оборудования. Е52. ЦНИИ АтомИнформ. - М.: Атомиздат, 1978. - Вып.3. - С.22-29.
11. *Глуховский В.Д.* Избранные труды. - Київ: Будивільник, 1992.
12. *Кривенко П.В., Пушкарева Е.К.* Долговечность шлакощелочного бетона. - Київ: Будивільник, 1993.
13. *Кривенко П.В.* Физико-химические основы долговечности шлакощелочного камня // Цемент. - 1990. - № 11. - С.2-4.

14. Коновалов Э.Е., Старков О.В., Мышковский М.П., Богданович Н.Г. Иммобилизация сорбированного на клиноптилолите Cs-137 в шлако-щелочном цементном камне (геоцементе) // Известия вузов. Ядерная энергетика. - 1997. - № 3. - С.33-35.

Поступила в редакцию 27.05.99.

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 530.1: 536.4

Fluctuation Theory of Microheterogeneity of Liquid Metal Coolants \A.L. Shimkevich; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 11 pages, 4 illustrations. - References, 32 titles.

A theory of the nonheterogeneous melts based on the calculus of variations of the Landau two parameters potential as a functional for density and composition fluctuations of a binary system is presented in this paper. Using diagram technique and "bootstrap" method, the Green functions for these fluctuations are obtained and their correlation radii are analyzed as a function of impurity concentration and model parameters.

It is shown that such the system in some conditions is characterized by impurity microheterogeneity.

УДК 621.039.534

Sodium Coolant in the Fast Reactor Technology \V.M. Poplavsky, R.P. Baklushin, V.N. Ivanenko; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 7 pages, 2 tables. - References, 5 titles.

The modern state of usage of sodium as coolant for NPP is considered. It is shown that the problems of technology of the sodium coolant, fire safety and quenching of sodium fires, interaction of sodium with water in steam generators, ecological and radiation safety are successfully solved. Methods of solution problems are briefly discussed.

УДК 621.039.534.6

Hydrogen and Sodium-Potassium Alloys \M.N. Arnoldov, M.N. Ivanovski, V.A. Morozov, S.S. Pletenets; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 9 pages, 1 table, 4 illustrations. - References, 8 titles.

Authors data on solubility of hydrogen in the sodium-potassium eutectic alloy and an analysis of oxygen influence on hydrogen solubility parameters in the sodium-potassium system is presented in this paper. The standard data is determined.

УДК 621.039.534.63

Chromium and Nickel Mass Transfer in a Circulating Sodium Loop \V.V. Alekseev, F.A. Kozlov, Yu.I. Zagorulko, N.D. Kraev; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 7 pages, 3 tables, 5 illustrations. - References, 5 titles.

Description of the model of impurities mass exchange in cooled channels of the circulating sodium loop is given. On the hightemperature section of experimental sodium loop the examinations of transfer of nickel and chromium formed by dissolution of nickel, chromium and stainless steel in sodium are made. On the basis of these experiments physical constants describing the mass transfer of the impurities depending on dissolving materials are obtained. Mutual influence of the impurities on their mass transfer in sodiums is shown.

УДК 541.15

Corrosion and Mass Transfer of Structural Materials in Sodium and Sodium-Potassium Coolants \N.D. Kraev; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 9 pages, 2 tables, 3 illustrations. - References, 28 titles.

Experimental results on the influence of temperature, flow velocity, oxygen and corrosion product concentration in sodium and sodium-potassium (22% sodium) coolants on corrosion resistance of various reactor materials is generalized in this paper.

УДК 621.039.533 : 519.55

The Diffusion Model of Intergranular Corrosion of Steels in Alkali Metals \I.V. Pyshin; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 7 pages, 3 illustrations. - References, 8 titles.

The process of intergranular corrosion in loops with liquid metal coolant has been simulated. The coolant penetration to a structural material is considered at edge graph of the polycrystalline structure of a loop material.

УДК 621.039.7 (088.8)

Neutralization of a Radioactive Wastes of Alkali Metals by Processing in Alkaline Solution and Solidification in Geocement \S.N. Skomorokhova, E.Ey. Kononov, O.V. Starkov, E.A. Kochetkova, V.S. Kopylov, T.V. Poletakhina, E.M. Triphanova; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika"

(Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 9 pages, 1 illustration. - References, 14 titles.

Results of development of the method of processing radioactive wastes of alkali metals used as the coolant in NPP are given. The method includes processing and conditioning of the products of processing for the ecologically safe long-time burial. Dispersion of an alkali metal on the solid inert carrier, dissolution and low baking into geocement stone are described. The features of the technological procedure and properties of a final product are shown.

УДК 621.039.53

The Basic Stages of Examinations of Corrosion in Liquid Metals \V.A. Ivanov, V.A. Solovjev; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 4 pages, 1 illustration. - References, 7 titles.

The development stages of the corrosion of structural materials in liquid metals is classified and the prediction of essential works necessary for the development of an expert system and for the formulation of theoretical principles of the liquid metal corrosion is made.

УДК 621.039.553

On Physicochemical Similarity of Liquid Metal Loops \A.L. Shimkevich, B.A. Shmatko; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 9 pages, 1 table, 4 illustrations. - References, 13 titles.

Derivation of the criterion of physicochemical similarity of circulating systems based on the solution of a nonuniform transport equation for technological impurities in the liquid metal coolants is shortly considered. The behaviour of a thermodynamic activity of oxygen in nonisothermal loops with the lead-bismuth coolant investigated by monitoring method is discussed. The accent is made on Permissible Activity Domain (PAD) related to normal operation of loops with lead-bismuth coolant.

УДК 681.128:538.4

Electromagnetic Flowmeters for Lead-Bismuth Eutectic Alloy \N.I. Loginov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 9 pages, 4 illustrations. - References, 7 titles.

Some methods of elimination of influence of contact electric resistance between a liquid lead-bismuth alloy and a stainless steel pipe on accuracy of measurement by the electromagnetic flowmeters are considered.

The constructions of the flowmeter permitting to realize these methods and providing the accuracy of flow measurement with an error 2,5...5% are offered. The method of measurement of the contact resistance is proposed, and experimental data on the contact resistance as a function of temperature and concentration of oxygen in alloy are published for the first time.

УДК 530.1:536.4

Oxygen Inhibition of Structural Materials in Melts of Lead-Bismuth Eutectic and Lead \B.F. Gromov, G.S. Yachmenev, A.Eu. Rusanov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 8 pages, 3 tables. - References, 4 titles.

Experimental data related with influence of the concentration of dissolved oxygen on corrosion resistance of steels in a lead-bismuth alloy of an eutectic composition and in the lead melt are represented. It is shown, that at fixed concentration of oxygen dissolved in coolant steel is passivated: the protective oxide film Me_3O_4 , Me_2O_3 (where Me - Fe, Cr, Si etc. - the steel components with high affinity to oxygen) forms on its surface. The oxide film essentially hampers the action of aggressive liquid-metal medium on a material. The most effective influence on protective properties of an oxide film renders a steel doping of steel with silicon ($\sim 1\div 3\%$ by mass).

УДК 669.884:539.12

Lithium in the Problem of Solar Neutrino \M.N. Arnoldov, A.V. Kopylov, I.V. Orekhov, V.V. Petuhov, Eu.A. Janovich; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 6 pages, 2 tables, 1 illustration. - References, 7 titles.

The problems of detection of the solar neutrino of intermediate energies by means of the metallic lithium detector is discussed in the paper. The possibility of extraction the product of neutrino-lithium interaction, i.e. beryllium-7 from lithium, by filtering of lithium at temperature close to its melting temperature are described.

УДК 621.039.534

Extraction of Microquantities of Beryllium from Aqueous Solutions of Lithium \G.Ja. Novikova, V.V. Petuhov; Editorial