

ФЕДЕРАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Научно-исследовательский технологический институт им. А.П. Александрова»

ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

№ 1 (23) 2021

Сосновый Бор

ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Периодический рецензируемый научно-технический сборник

№ 1 (23) 2021

Издается с 2015 года

Сборник распространяется на территории Российской Федерации

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор — В.А. Василенко, профессор, доктор технических наук, генеральный директор ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

В.И. Альмяшев, кандидат химических наук, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.

А.Я. Благовещенский, доктор технических наук, профессор ВУНЦ-ВМФ «Военно-морская академия», Военно-морской политехнический институт, Санкт-Петербург.

В.И. Бурсук, доктор технических наук, директор центра сервиса АО «Концерн «НПО «Аврора», Санкт-Петербург.

В.С. Гурский, доктор технических наук, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.

В. В. Гусаров, чл.-корр. РАН, доктор химических наук, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург.

А.Л. Дмитриев, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.

Ю.Э. Зевацкий, доктор химических наук, АО «Новбытхим», Санкт-Петербург.

А.В. Ельшин, доктор технических наук, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.

С.С. Ермаков, доктор химических наук, Санкт-Петербургский государственный университет.

А.А. Ефимов, доктор технических наук, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.

Ю.В. Крюков, (ответственный секретарь), кандидат технических наук, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.

Ю.А. Мигров, доктор технических наук, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.

Л.Н. Москвин, доктор химических наук, Санкт-Петербургский государственный университет.

Е.Б. Панкина, кандидат технических наук, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.

С.А. Петров, доктор технических наук, НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ, Санкт-Петербург.

О.Ю. Пыхтеев, кандидат химических наук, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.

О. В. Родников, доктор химических наук, Санкт-Петербургский государственный университет.

О.Б. Самойлов, доктор технических наук, АО «ОКБМ Африкантов», г. Нижний Новгород.

В. Л. Столярова, чл.-корр. РАН, доктор химических наук, Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН, Санкт-Петербург.

А. А. Сулацкий, (ответственный редактор), кандидат технических наук, ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова».

В.Б. Хабенский, доктор технических наук, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.

Учредитель: ФЕДЕРАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский технологический институт им. А.П. Александрова».

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации СМИ: ПИ № ФС77-58865 от 28.07.14.

Адрес редакции: 188540 Россия, Ленинградская область, г. Сосновый Бор, Копорское шоссе 72, ФЯО ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова».

Телефон: 8 (813-69) 6-01-43 — отв. секретарь редколлегии.

Факс: 8 (813-69) 2-36-72. E-mail: foton@niti.ru; Интернет сайт: www.niti.ru.

Подписной индекс 43300 в объединенном каталоге «Пресса России».

Научно-технический сборник включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по специальности 05.14.03 — Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации (технические науки).

При перепечатке ссылка на периодический рецензируемый научно-технический сборник «Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок» обязательна.

Содержание

Выпуск № 1 (23) 2021

Дискуссионные вопросы развития атомной энергетики

А.Я. Благовецковский, Л.Б. Гусев

Влияние типа парогенератора, его конструктивных и эксплуатационных характеристик на развитие атомной энергетики с двухконтурными энергоблоками ВВЭР 11

Стендовые испытания транспортных ЯЭУ

В.А. Василенко, С.А. Петров

Развитие программы «Военно-морские реакторы» Министерства энергетики США.... 21

Моделирование и исследование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов объектов с ЯЭУ

Л.Д. Литвиненко, В.В. Безлепкин, А.Г. Митрюхин, А.Г. Аношина, М.С. Устинов, Н.А. Брус, А.И. Наконечный

Испытания деаэратора подпитки и борного регулирования (ДА 65/20), изготовленного для ЛАЭС-2 40

Химические технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ, радиохимические и материаловедческие исследования

Т.В. Воронина

Совершенствование водно-химического режима контура жидкостного регулирования реактора ПИК 50

Исследование процессов при тяжёлых авариях на объектах атомной энергетики

В.Б. Хабенский, В.С. Грановский, В.И. Альмяшев, Е.В. Крушинов, А.А. Сулацкий, С.А. Витоль, Е.К. Каляго, В.В. Гусаров

Окисление расплава системы «сверхстехиометрический кориум-нержавеющая сталь» 62

Влияние объектов атомной энергетики на окружающую среду

И.Н. Скриган, А.Ю. Абашкин, Е.Ю. Иванов, А.В. Вавилов, А.С. Алой, Д.Б. Лопух, А.П. Мартынов, А.О. Плешаков

Исследование прототипа промышленной индукционной печи с холодным тиглем конусной формы для остекловывания высокоактивных отходов 81

Влияние типа парогенератора, его конструктивных и эксплуатационных характеристик на развитие атомной энергетики с двухконтурными энергоблоками ВВЭР

А.Я. Благовещенский, Л.Б. Гусев

Военно-Морской Политехнический Институт ВУНЦ ВМФ
«Военно-Морская Академия», Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Вводом в строй первой в мире атомной электростанции в 1954 году наша страна стала родиной атомной энергетики, получившей далее широкое развитие и в других ведущих государствах. Прогресс в отечественной стационарной и корабельной атомной энергетике опирался на комплексный подход в проведении научных исследований и конструкторско-технологических обоснований по широкому спектру возникающих задач. Среди них одним из ведущих направлений при создании ядерной энергетической установки является выбор типа, схемы и конструктивных решений парогенератора. В этой связи представляется неоправданным консерватизм, проявляющийся в стационарных двухконтурных энергоблоках с ВВЭР, оснащенных лишь одним типом крупногабаритных горизонтальных парогенераторов «полувекового конструктивного возраста». Положение усугубляется отсутствием планов по реализации новых прогрессивных технических решений по парогенераторам в нынешнем столетии.

Ключевые слова: реактор, горизонтальный парогенератор, прямоточный парогенератор, петлевая компоновка, блочная компоновка, саморегулирование, маневренность.

Развитие программы «Военно-морские реакторы» Министерства энергетики США

В.А. Василенко¹, С.А. Петров²

¹ ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор Ленинградской области

² НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ, Санкт-Петербург

Аннотация

В статье рассмотрены этапы реализации программы «Военно-морские реакторы» (далее программа ВМР) Министерства энергетики США в период с 2010 по 2025 годы. Приведены данные о структуре, содержании и объёмах финансирования направлений программы. Отмечается, что создание и обеспечение полного жизненного цикла корабельных ЯЭУ новых поколений требует проведения испытаний и исследований перспективного оборудования реакторных установок на наземных стендах-прототипах, на эксплуатацию и техническое обслуживание которых программой ВМР предусмотрены значительные средства.

Представленные в статье направления и номенклатура работ по программе ВМР, этапы и объёмы её финансирования могут быть полезными при разработке и планировании конструктивных, технологических и организационно-технических мероприятий, связанных с совершенствованием отечественной корабельной ядерной энергетики и береговой инфраструктуры, обеспечивающей безопасность эксплуатации, испытаний и отработки систем транспортных ЯЭУ, а также обращение с отработавшим ядерным топливом и снятым с эксплуатации оборудованием.

Ключевые слова: морские (корабельные) реакторы, перегрузка ядерного реактора, разработка корабельных реакторных систем, обеспечение безопасной эксплуатации корабельной ядерной энергетической установки, управление корабельным отработавшим ядерным топливом.

Испытания деаэратора подпитки и борного регулирования (ДА 65/20), изготовленного для ЛАЭС-2

*Л.Д. Литвиненко¹, В.В. Безлепкин¹, А.Г. Митрюхин¹, А.Г. Аношина¹,
М.С. Устинов¹, Н.А. Брус², А.И. Наконечный³*

¹АО «АТОМПРОЕКТ», г. Санкт-Петербург, Россия

²АО «ЭНИЦ», г. Электрогорск, Московской области, Россия

³АО Концерн «Росэнергоатом», Ленинградская АЭС, г. Сосновый Бор, Россия

Аннотация

В статье представлены результаты экспериментальных исследований деаэратора подпитки и борного регулирования насадочного типа, предназначенного для дегазации теплоносителя, выводимого из первого контура АЭС с ВВЭР.

Проблема гидродинамической неустойчивости в работе деаэраторов насадочного типа в режимах с большими расходами теплоносителя первого контура проявилась при проведении пусконаладочных работ на Тяньваньской АЭС в КНР. На основе расчётного теплогидравлического анализа, моделирования происходящих в деаэраторе процессов, был разработан технический проект нового деаэратора, изготовленного ОАО «Сибэнергомаш» для Ленинградской АЭС с целью устранения причин неудовлетворительной работы.

Новые деаэраторы подпитки и борного регулирования с омегаобразными элементами (наполнителями неупорядоченных насадок) были доработаны на предварительном этапе экспериментальных исследований и с высокой деаэрационной эффективностью и гидродинамической устойчивостью способны функционировать на АЭС с ВВЭР во всех эксплуатационных режимах работы системы подпитки и борного регулирования.

Ключевые слова: деаэратор, дегазация, деаэрационная колонна, насадка, насадочный элемент, захлебывание, система подпитки и борного регулирования.

Совершенствование водно-химического режима контура жидкостного регулирования реактора ПИК

Т.В. Воронина

Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»,
г. Гатчина Ленинградской области, Россия

Аннотация

На реакторе ПИК (НИЦ КИ – ПИЯФ) по проекту предусмотрен тяжеловодный контур жидкостного регулирования. В качестве теплоносителя контура жидкостного регулирования изначально планировали использовать раствор $Gd(NO_3)_3$ – поглотитель нейтронов для регулирования реактивности при выгорании топлива в активной зоне. В настоящее время контур жидкостного регулирования применяется для отвода тепла от стенок корпуса реактора и контроля их целостности. Его теплоносителем теперь является чистая тяжёлая вода. В связи с этим возникла необходимость пересмотреть объём химического контроля для этого контура.

В работе предложен и обоснован перечень контролируемых показателей для тяжёлой воды системы жидкостного регулирования. Выполнена оценка предельно допустимых концентраций для каждого контролируемого параметра.

Ключевые слова: химический контроль, водно-химический режим, контур ЖР, тяжёловодный теплоноситель, реактор ПИК.

Окисление расплава системы «сверхстехиометрический кориум-нержавеющая сталь»

*В.Б. Хабенский¹, В.С. Грановский¹, В.И. Альмяшев^{1,2,3}, Е.В. Крушинов¹,
А.А. Сулацкий¹, С.А. Витоль¹, Е.К. Каляго¹, В.В. Гусаров⁴*

¹ ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор Ленинградской обл., Россия

² ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) «ЛЭТИ»», Санкт-Петербург, Россия

³ ФГБУН «Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН», Санкт-Петербург, Россия

⁴ Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Применительно к стратегии удержания расплава кориума в корпусе реактора при тяжёлой аварии АЭС с водо-водяными реакторами выполнено экспериментальное исследование кинетики окисления расплава ($UO_{2+x} - ZrO_2$) + нержавеющая сталь аргоно-кислородной смесью при исходно сверхстехиометрическом состоянии оксидной части расплава. Опыты выполнены в условиях отсутствия и частичного наличия корки на поверхности металлической жидкости при её верхнем положении в ванне расплава. Обсуждаются особенности процесса и влияние параметров системы на скорость окисления.

Ключевые слова: тяжёлая авария, АЭС, расплав кориума, окисление, индукционная плавка в холодном тигле.

Исследование прототипа промышленной индукционной печи с холодным тиглем конусной формы для остекловывания высокоактивных отходов

*И.Н. Скриган^{1,2}, А.Ю. Абашкин¹, Е.Ю. Иванов¹, А.В. Вавилов², А.С. Алой¹,
Д.Б. Лопух², А.П. Мартынов², А.О. Плешаков¹*

¹АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина», Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический Университет «ЛЭТИ» (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), Россия

Аннотация

В статье представлены результаты исследований работы прототипа промышленной индукционной печи с холодным тиглем для остекловывания высокоактивных отходов переработки облученного ядерного топлива, содержащих благородные металлы, методом индукционной плавки в холодном тигле.

В ходе экспериментов проведены ресурсные испытания печи в течение 100 часов, переработано 440 л модельного раствора жидких радиоактивных отходов от переработки отработавшего ядерного топлива ВВЭР-1000 и наработано 250 кг боросиликатного стекла. Средняя производительность печи составила 11.4 кг/ч по стеклу.

По результатам исследований определены электротехнологические параметры работы установки, подтверждена эффективность использования холодного тигля с коническим дном для удаления благородных металлов и выданы исходные данные на проектирование промышленной печи остекловывания высокоактивных отходов.

Ключевые слова: индукционная плавка, холодный тигель, остекловывание, коническое дно, электрические и тепловые параметры, высокоактивные отходы, благородные металлы.