

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 5, 2014

Атомные электростанции

Альтернативные стратегии развития ядерной энергетики в XXI в.

Говердовский А.А., Калякин С.Г., Рачков В.И. 3

От Первой АЭС до ЯЭУ поколения IV [к 60-летию Первой в мире АЭС]

Рачков В.И., Калякин С.Г., Кухарчук О.Ф., Орлов Ю.И., Сорокин А.П. 11

Использование жидких металлов в ядерной, термоядерной энергетике и других инновационных технологиях

Рачков В.И., Арнольдов М.Н., Ефанов А.Д., Калякин С.Г., Козлов Ф.А., Логинов Н.И., Орлов Ю.И., Сорокин А.П. 20

Технология высокотемпературного натриевого теплоносителя в ядерных энергетических установках для водородной энергетики

Козлов Ф.А., Сорокин А.П., Алексеев В.В., Коновалов М.А. 31

Экспериментальные исследования теплогидравлических процессов при работе пассивных систем безопасности в новых проектах АЭС с ВВЭР

Морозов А.В., Ремизов О.В., Калякин Д.С. 40

Промышленные технологии на основе ядерно-оптического преобразователя энергии импульсного действия

Дюжов Ю.А., Дьяченко П.П., Калякина О.Н., Кухарчук О.Ф., Полетаев Е.Д., Смольский В.Н., Суворов А.А., Фокина О.Г. 48

Закономерности формирования гидравлических неравномерностей на выходе из коллекторной системы реакторной установки

Габрианович Б.Н., Дельнов В.Н. 54

Паротурбинные, газотурбинные, парогазовые установки и их вспомогательное оборудование

Экспериментальное исследование характеристик газотурбинной установки ТВЗ-117 при впрыске перегретой воды в компрессор

Фаворский О.Н., Алексеев В.Б., Залкинд В.И., Зейгарник Ю.А., Иванов П.П., Мариничев Д.В., Низовский В.Л., Низовский Л.В. 60

Водоподготовка и водно-химический режим

Энерго- и ресурсосберегающая технология утилизации шлама химводоочистки ТЭС

Николаева Л.А., Хусаенова А.З. 69

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

УДК 621.039

Альтернативные стратегии развития ядерной энергетики в XXI в.

© 2014 г. Говердовский А.А., Калякин С.Г., Рачков В.И.

ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского¹

e-mail: sorokin@ippe.ru

Актуализированы научно-технические и общественно-политические проблемы современной ядерной энергетики, без решения которых переход от действующих локальных ядерно-энергетических систем к крупномасштабной отрасли невозможен. Проанализированы существующие концепции долгосрочной стратегии развития ядерной энергетики. На основе разработанных сценариев показано, что наиболее перспективным вариантом является ориентация на замкнутый ядерный топливный цикл (ЯТЦ) с реакторами на быстрых нейтронах (далее быстрые реакторы), удовлетворяющий требованиям приемлемой безопасности. Сделан вывод, что основные положения “Стратегии развития атомной энергетики России в первой половине XXI века”, одобренные Правительством РФ в 2000 г., сохраняются и в настоящее время, хотя и требуют развития с учетом новых реалий на рынке органического топлива, состояния российской и мировой экономики, а также ужесточения требований безопасности (например, АЭС “Фукусима”) и нераспространения ядерного оружия.

Ключевые слова: стратегия развития, альтернативные энергоносители, возобновляемые источники энергии (ВИЭ), коэффициент использования установленной мощности (КИУМ), атомная энергия, безопасность ядерной энергетики, замкнутый ядерный топливный цикл, коэффициент воспроизводства (КВ), нераспространение ядерного оружия, переработка отработавшего ядерного топлива (ОЯТ).

АТОМНЫЕ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

УДК 621.039

От Первой АЭС до ЯЭУ поколения IV
[к 60-летию Первой в мире АЭС]

© 2014 г. Рачков В.И., Калякин С.Г., Кухарчук О.Ф., Орлов Ю.И., Сорокин А.П.

ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского¹

e-mail: sorokin@ippe.ru

Успешный пуск в 1954 г. в ФЭИ (г. Обнинск) Первой в мире АЭС стал поворотом от военных программ к мирному использованию атомной энергии. Вплоть до закрытия станции реактор АМ был одной из основных реакторных баз, на которых проводились нейтронно-физические исследования, исследования по физике твердого тела, испытания твэлов, электрогенерирующих каналов, наработка изотопной продукции. На станции прошли подготовку советские и зарубежные специалисты АЭС, персонал атомного ледокола “Ленин” и др. История становления ФЭИ связана с именами И.В. Курчатова, А.И. Лейпунского, Д.И. Блохинцева, А.П. Александрова, Е.П. Славского. Под научным руководством ФЭИ создано более 120 проектов различных ядерных энергетических установок – подводных, наземных, космических, в том числе сооружены два водоохлаждаемых энергоблока Белоярской АЭС на Урале, Билибинская АТЭС на Чукотке, транспортабельная ТЭС-3 на гусеничном ходу, реактор БН-350 в Казахстане, энергоблок БН-600 на Белоярской АЭС. Реализация программы развития технологии реакторов на быстрых нейтронах позволила России занять передовые позиции в мире в этой области. Все это время сотрудники института работали над созданием основ энергетических супертехнологий XXI в. Пущены в эксплуатацию новые крупные экспериментальные установки, среди которых ядерно-лазерный стенд “Б”, ускоритель ЭПП-15, большой физический стенд БФС, стенд высокого давления СВД-2, организованы научные, инженерные и технологические школы в области ядерной физики низких и промежуточных энергий, электростатических ускорителей многозарядных ионов, плазменных процессов в термоэмиссионных преобразователях и лазерах с ядерной накачкой, физики малогабаритных ядерных реакторов и радиационной защиты, теплофизики, физической химии и технологии жидкометаллических теплоносителей, физики радиационных повреждений и радиационного материаловедения. Деятельность института направлена на решение задач технологического развития крупномасштабной атомной энергетики на основе замкнутого ядерного топливного цикла с реакторами на быстрых нейтронах (далее быстрые реакторы), создания инновационных ядерных и неядерных технологий и расширение их использования.

Ключевые слова: атомная энергетика, Первая в мире АЭС, ядерные энергетические установки, быстрый реактор, жидкометаллические теплоносители, ускоритель, лазер с ядерной накачкой, радиационная защита, теплофизика, физическая химия и технология жидкометаллических теплоносителей, физика радиационных повреждений, радиационное материаловедение, неядерные технологии.

**АТОМНЫЕ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

УДК 621.039.5346.6(06)

Использование жидких металлов в ядерной, термоядерной энергетике и других инновационных технологиях

© 2014 г. Рачков В.И., Арнольдов М.Н., Ефанов А.Д., Калякин С.Г., Козлов Ф.А., Логинов Н.И., Орлов Ю.И., Сорокин А.П.

ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского¹

e-mail: sorokin@ippe.ru

К настоящему времени накоплен большой опыт обращения с жидкими металлами в качестве теплоносителей ядерных энергетических установок (ЯЭУ), получены обширные знания о физических, теплофизических и физико-химических свойствах этих теплоносителей, разработаны научные основы и комплекс методов и средств обращения с жидкими металлами – теплоносителями ЯЭУ. Созданы прототипы и энергоблоки АЭС с натрием: БОР-60, БН-350, БН-600 (СССР), “Рапсодия”, “Феникс”, “Суперфеникс” (Франция), EBR-II (США), PFR (Великобритания). В России созданы специальные ЯЭУ со свинцово-висмутовым теплоносителем для атомных подводных лодок и натрий-калиевым сплавом для космических аппаратов “Бук”, “Тополь”, не имеющие аналогов в мире. Жидкие металлы, к которым, прежде всего, относятся литий и его сплав со свинцом, являются перспективными для использования в термоядерной энергетике, где они могут быть не только теплоносителем, но и средой, воспроизводящей тритий. В настоящей работе рассмотрены физико-химические свойства жидкометаллических теплоносителей, а также практический опыт их использования в ядерной, термоядерной энергетике и инновационных технологиях, сформулированы направления дальнейших исследований. Описаны новые результаты исследований по технологии Pb–Bi и Pb для реакторов на быстрых нейтронах (далее быстрые реакторы) СВБР, БРЕСТ и ускорительно-управляемых систем.

Ключевые слова: ядерная энергетика, термоядерная энергетика, ядерные энергетические установки, быстрые реакторы, транспортные установки, космические реакторы, ускорительно-управляемые системы, жидкие металлы, натрий, литий, свинец, свинец-висмут, теплофизические свойства, физико-химические процессы, примеси, технология теплоносителей, контроль состояния, очистка от примесей, не реакторные технологии.

**АТОМНЫЕ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

УДК 621.039.534.63

Технология высокотемпературного натриевого теплоносителя в ядерных энергетических установках для водородной энергетики

© 2014 г. Козлов Ф.А., Сорокин А.П., Алексеев В.В., Коновалов М.А.

ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского¹

e-mail: sorokin@ippe.ru

При использовании высокотемпературных ядерных энергетических установок (ВТ ЯЭУ) с натриевым теплоносителем для получения водорода и других инновационных применений (газификации и ожигения угля, углубленной переработки нефти, преобразования биомассы в жидкое топливо, в химической промышленности, металлургии, пищевой промышленности и т.п.) интенсивность источников водорода, поступающего из III контура установки во II, по сравнению с источниками водорода на АЭС с БН-600, возрастает на два-три порядка. Для этих условий предложены принципиально новые технологические решения. Главным условием их реализации является повышение концентрации водорода в натриевом теплоносителе в 100–1000 раз по сравнению с современными АЭС в сочетании с удалением водорода из натрия путем его вакуумирования через мембраны из ванадия или ниобия. Численные исследования, выполненные с использованием диффузионной модели, показали, что при разработке твэлов ВТ ЯЭУ, варьируя такими параметрами, как материал оболочки твэлов, ее толщина, время эксплуатации, можно исключить поступление цезия в натрий через герметичную оболочку твэлов. Однако при потере герметичности оболочки твэлов неизбежна эксплуатация ВТ ЯЭУ при наличии цезия в натрии. В этих условиях для минимизации диффузии цезия в конструкционные материалы необходимо обеспечить глубокую очистку натрия от цезия.

Ключевые слова: натриевый теплоноситель, высокотемпературная ядерная энергетическая установка, водородная энергетика, очистка натрия, концентрация примесей, вакуумирование, потеря герметичности оболочки твэлов, очистка натрия от цезия.

**АТОМНЫЕ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

УДК 621.039.58

**Экспериментальные исследования теплогидравлических процессов
при работе пассивных систем безопасности в новых проектах АЭС с ВВЭР**

© 2014 г. Морозов А.В., Ремизов О.В., Калякин Д.С.

ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского¹

e-mail: morozovandrey.email@gmail.com

Представлены результаты экспериментального исследования теплогидравлических процессов при работе пассивных систем безопасности реакторных установок ВВЭР нового поколения. Эксперименты выполнены на модельных стендах в ГНЦ РФ-ФЭИ. Изучены процессы взаимодействия встречных потоков насыщенного пара и холодной воды в вертикальном паропроводе дополнительной системы пассивного залива активной зоны из гидроемкостей второй ступени. Исследованы особенности процесса неразвитого кипения жидкости на одиночной горизонтальной трубе, обогреваемой паром и парогазовой смесью, характерного для конденсационного режима работы парогенератора ВВЭР.

Ключевые слова: ВВЭР, пассивные системы, вертикальная заглушенная труба, горизонтальная трубка, конденсация, кипение.

DOI: 10.1134/S0040363614050063

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

УДК 621.039.5/6

Промышленные технологии на основе ядерно-оптического преобразователя энергии импульсного действия¹

© 2014 г. Дюжов Ю.А., Дьяченко П.П., Калякина О.Н., Кухарчук О.Ф., Полетаев Е.Д.,
Смольский В.Н., Суворов А.А., Фокина О.Г.

ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского²

e-mail: suvorov@ippe.ru

Рассмотрены вопросы практического применения мощных лазеров в различных промышленных технологиях. Показано, что создание сверхмощных лазерных излучателей мегаваттного диапазона на основе прямого преобразования энергии деления тяжелых ядер в энергию оптического (лазерного) излучения в импульсных реакторно-лазерных системах позволит значительно повысить эффективность существующих лазерных технологий и расширить область их применения.

Ключевые слова: мощные технологические лазеры, ядерно-оптическое преобразование энергии, лазер с ядерной накачкой, импульсная реакторно-лазерная система, лазерные технологии.

АТОМНЫЕ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

УДК 621.039.534

Закономерности формирования гидравлических неравномерностей на выходе из коллекторной системы реакторной установки

© 2014 г. Габрианович Б.Н., Дельнов В.Н.

ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского¹

e-mail: delnov@ippe.ru

Одним из условий надежной и эффективной работы реакторных установок (РУ) является обеспечение заданного распределения массового расхода теплоносителя на выходе из коллекторной системы (КС) в виде обратного поворота с боковым подводом теплоносителя в коллектор и центральным отводом теплоносителя из него. В КС теплоноситель через боковой кольцевой канал, образованный корпусом и центральной обечайкой, попадает в коллектор, изменяет в нем направление движения и выходит через каналы решетки, расположенной в центральной обечайке. Представлены результаты экспериментальных исследований гидродинамики проточных частей КС на моделях плоской и цилиндрической формы. Обнаружена неизвестная ранее закономерность формирования гидравлических неравномерностей на выходе из КС, и получены полуэмпирические соотношения по определению распределения массового расхода теплоносителя на выходе из КС. Закономерность формирования гидродинамических неравномерностей на выходе из КС заключается в том, что положение максимальной скорости теплоносителя на выходе из решетки совпадает с положением максимальной скорости в ядре падающей на нее струи, а максимальная средняя скорость теплоносителя в отверстиях решетки пропорциональна средней скорости теплоносителя в падающей струе.

Ключевые слова: реакторная установка, коллекторная система, проточная часть, гидравлическая неравномерность, закономерность формирования гидравлических неравномерностей, полуэмпирические соотношения.

ПАРОТУРБИННЫЕ, ГАЗОТУРБИННЫЕ, ПАРОГАЗОВЫЕ
УСТАНОВКИ И ИХ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 621.438

Экспериментальное исследование характеристик газотурбинной установки ТВЗ-117 при впрыске перегретой воды в компрессор¹

© 2014 г. Фаворский О.Н., Алексеев В.Б., Залкинд В.И., Зейгарник Ю.А., Иванов П.П.,
Мариничев Д.В., Низовский В.Л., Низовский Л.В.

Объединенный институт высоких температур РАН²

e-mail: zeigar@oivtran.ru

Приведены результаты экспериментального исследования характеристик ГТУ ТВЗ-117 при впрыске холодной и перегретой (метастабильной) воды на вход в компрессор ГТУ. В последнем случае создается более тонкий распыл жидкости. Впрыск воды позволяет существенно увеличить мощность установки (1% впрыска воды по отношению к расходу воздуха при постоянной температуре рабочего тела за камерой сгорания обеспечивает прирост мощности на примерно 12%), расширяет регулировочные возможности ГТУ. Использование распыла метастабильной перегретой воды также дает возможность с большей надежностью реализовать технологию впрыска воды в компрессор, особенно впрыска в промежуточные ступени компрессора, однако требует в каждом отдельном случае учета условий эксплуатации конкретной установки. Из-за малого времени пребывания воды в тракте компрессора даже при тонком распыле капель в конверсионных машинах 15–20% влаги не успевает испариться в проточной части компрессора. При впрыске холодной воды это количество на 5–10% больше.

Ключевые слова: газотурбинная установка, впрыск воды в компрессор, регулировочные характеристики ГТУ, испарение капель воды.

ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ

УДК 628.477

Энерго- и ресурсосберегающая технология утилизации шлама химводоочистки ТЭС

© 2014 г. Николаева Л.А., Хусаенова А.З.

Казанский государственный энергетический университет¹

e-mail: larisnik16@mail.ru

Рассматривается метод утилизации отходов производства. Представлена схема утилизации смеси активного ила и шлама химводоочистки (ХВО) путем ее сжигания с возможной регенерацией тепла. Экспериментально определена сорбционная емкость продуктов сгорания смеси активного ила и шлама по отношению к газовым выбросам. Произведены расчеты адсорбера периодического действия с неподвижным слоем шлама, КПД котла-утилизатора и технико-экономических показателей предложенной схемы утилизации.

Ключевые слова: схема утилизации, шлам химводоочистки, сорбционная емкость, изотерма адсорбции, адсорбер периодического действия.