

ТЕПЛО- ЭНЕРГЕТИКА

В номере:

- *Энергоустановка с когенерацией электричества и тепла на основе возобновляемых источников энергии и электрохимических водородных систем*
- *Критический тепловой поток при кипении воды в каналах*
- *Аэродинамическое исследование охлаждаемого соплового аппарата турбины*

2 **2015**

ООО МАИК «НАУКА/
ИНТЕРПЕРИОДИКА»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, МОНТАЖ И РЕМОНТ КОТЛОВ, ТУРБИН, СЕТЕЙ, ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

CONSTANT™

СТАБИЛЬНОСТЬ В НАСТОЯЩЕМ,
УВЕРЕННОСТЬ В БУДУЩЕМ!

www.constant-kte.com

10 ЛЕТ НАДЕЖНОГО ПАРТНЕРСТВА!

ООО «КОМТЕХЭНЕРГО»

Россия, город Ярославль, Проспект Ленина, 7. Тел./факс: +7 (4852) 757-027. E-mail: info@constant-kte.com



Быстродействующие распределенные системы ответственного управления

САРГОН®
www.nvtav.ru

Программные средства

- Полнофункциональность исполнительных систем АРМ и контроллеров
- Объектность и компонентность программ
- Независимость технологических программ и видеопрограмм от размещения их в ПТК
- Возможность имитационной отладки АСУТП
- Библиотеки готовых решений для приложений и типовых ЛСУ

Системные решения

- Шкаф ИРТЗО
- Шкаф температурного контроля
- Шкаф удаленных модулей УСО
- Шкаф управления горелкой
- Интеллектуальная СК "СКИД"
- Открытость решений
- Возможность использования в системе на базе любого современного ПТК

Технические средства

- Приспособленность для работы в жестких условиях эксплуатации
- Наличие резервированной сети Ethernet
- Компактная конструкция
- Большое количество высокоскоростных последовательных интерфейсов
- Большая вычислительная мощность
- Система Plug&play
- Открытость интерфейсов

Россия, 111250, Москва,
проезд завода "Серп и молот", д.6
Тел.: (495)361-2334, 362-1771
Факс: (495)361-6807
mail@nvtav.ru, www.nvtav.ru

НВТ
АВТОМАТИКА

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 2, 2015

Энергосбережение, новые и возобновляемые источники энергии

Энергоустановка с когенерацией электричества и тепла на основе возобновляемых источников энергии и электрохимических водородных систем

Григорьев С.А., Григорьев А.С., Кулешов Н.В., Фатеев В.Н., Кулешов В.Н.

3

Тепло- и массообмен, свойства рабочих тел и материалов

Критический тепловой поток при кипении воды в каналах. Современное состояние, характерные закономерности, нерешенные проблемы и пути их решения (обзор)

Бобков В.П.

10

Паротурбинные, газотурбинные, парогазовые установки и их вспомогательное оборудование

Аэродинамическое исследование охлаждаемого соплового аппарата турбины

Мамаев Б.И., Саха Р., Фрид Й.Е.А.

19

Термодинамический метод расчета процесса расширения в охлаждаемой газовой турбине

Ромахова Г.А.

26

Паровые котлы, энергетическое топливо, горелочные устройства и вспомогательное оборудование котлов

Результаты расчетных и экспериментальных исследований гидродинамики циркуляционных контуров в аппаратах с циркулирующим кипящим слоем и системах со связанными реакторами

Рябов Г.А., Фоломеев О.М., Санкин Д.А., Мельников Д.А.

33

Моделирование топочных процессов при сжигании распыленного угля в вихревой топке усовершенствованной конструкции. Часть 1. Аэродинамика течения в вихревой топке

*Красинский Д.В., Саломатов В.В., Ануфриев И.С.,
Шарьтов О.В., Шадрин Е.Ю., Аникин Ю.А.*

41

Расширение практического диапазона использования расчетной модели топочного устройства с твердым шлакоудалением

Осинцев К.В.

47

Атомные электростанции

Эффективность энергокомплексов на базе АЭС при комбинировании с дополнительными источниками энергии с учетом факторов риска

Аминов Р.З., Хрусталева В.А., Портянкин А.В.

55

Металлы и вопросы прочности

Разработка и применение информационно-аналитического комплекса по проблеме эрозии-коррозии элементов трубопроводов II контура энергоблоков Нововоронежской АЭС с РУ ВВЭР-440

*Томаров Г.В., Поваров В.П., Шипков А.А., Громов А.Ф.,
Киселев А.Н., Шепелев С.В., Галанин А.В.*

63

Охрана окружающей среды

Возможные пути снижения воздействия объектов теплоэнергетики на окружающую среду

*Зройчиков Н.А., Прохоров В.Б., Тупов В.Б.,
Архипов А.М., Фоменко М.В.*

69

Водоподготовка и водно-химический режим

Оценка эффективности декарбонизации добавочной воды атмосферными деаэраторами

Ларин Б.М., Ларин А.Б.

77

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, НОВЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ
ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

**Энергоустановка с когенерацией электричества и тепла на основе
возобновляемых источников энергии и электрохимических
водородных систем¹**

© 2015 г. Григорьев С.А.², Григорьев А.С.³, Кулешов Н.В.², Фатеев В.Н.³, Кулешов В.Н.²

Национальный исследовательский университет “Московский энергетический институт”² – Национальный исследовательский
центр “Курчатовский институт”³

e-mail: sergey.grigoriev@outlook.com; KuleshovNV@mpei.ru

Описана схема энергоустановки с когенерацией электричества и тепла на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) с использованием водородных электрохимических систем для аккумулярования энергии путем прямого и обратного преобразования электроэнергии, получаемой от ВИЭ, в химическую энергию водорода с запасанием последнего. Приведены эффективные технические решения по использованию электрохимических водородных систем в энергетике для хранения энергии с КПД ее циклического преобразования более 40%. Показано, что хранение энергии в виде водорода экологически безопасно и значительно превосходит по своим емкостным показателям традиционные аккумуляторные батареи, что особенно актуально при длительном отсутствии поступления энергии от ВИЭ, например, в условиях полярной ночи и в безветренную погоду. Для обеспечения требуемого теплопотребления объекта в пиковый период предлагается сжигать часть водорода в котельной.

Ключевые слова: энергоустановка, когенерация электричества и тепла, возобновляемый источник энергии, электрохимическая система, водород.

ТЕПЛО- И МАССООБМЕН, СВОЙСТВА РАБОЧИХ ТЕЛ И МАТЕРИАЛОВ

Критический тепловой поток при кипении воды в каналах. Современное состояние, характерные закономерности, нерешенные проблемы и пути их решения (обзор)

© 2015 г. Бобков В.П.

ФГУП ГНЦ РФ – Физико-энергетический институт¹

e-mail: vpbobkov@yandex.ru

Излагаются некоторые общие вопросы описания кризиса теплоотдачи в каналах. Обсуждаются данные экспериментальных исследований по критическим тепловым потокам (КТП) в различных каналах, банки данных по КТП, основные определяющие параметры, базовые зависимости КТП и система поправочных функций. Анализируются два метода оценки погрешностей описания КТП. Проведен анализ влияния режимных параметров, поперечных размеров каналов и условий на их входе. Для концентрических кольцевых каналов рассмотрены эффект формы поверхности теплообмена и схемы подвода тепла. Определены понятия теплового пограничного слоя и элементарной тепловой ячейки (ЭТЯ) при кризисе теплоотдачи в каналах сложного поперечного сечения. Введены новые понятия для описания КТП в сборках стержней: эффект пучка, тепловая разверка, осредненные по сечению сборки и локальные (для элементарной ячейки) параметры, поэлементный анализ КТП в пучках, стандартных и нестандартных ячейках. Рассмотрены возможное влияние теплофизических свойств стенки на КТП в тесных сборках и другие эффекты. Анализируются тепловое взаимодействие неравнозначных ячеек и эффект схемы подвода тепла по периметру ячейки. Особое внимание уделено описанию влияния на КТП неравномерности энерговыделения вдоль каналов. Поставлены задачи исследования КТП в каналах различной формы поперечного сечения.

Ключевые слова: кризис теплоотдачи, кипение, вода, труба, кольцевой зазор, сборка стержней (пучок стержней), описание кризиса, базовые таблицы, поправочные функции, элементарные ячейки, анализ, обобщение.

ПАРОТУРБИННЫЕ, ГАЗОТУРБИННЫЕ, ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ И ИХ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Аэродинамическое исследование охлаждаемого соплового аппарата турбины

© 2015 г. Мамаев Б.И.¹, Саха Р.², Фрид Й.Е.А.²

ООО “Сименс”¹ – Королевский технологический институт²

e-mail: Boris.Mamaev@siemens.com

Исследование соплового аппарата (СА) дало несколько важных результатов, касающихся методик проведения экспериментов и расчетов. Сопловой аппарат имел развитую систему пленочного и конвективного охлаждения. Продувки показали слабое взаимное влияние охлаждения различных видов на потери энергии. В центральной части по высоте СА без вторичных течений соблюдается принцип суперпозиции этих влияний. Выпуск охладителя приводит к росту профильных потерь, увеличивающемуся с повышением расхода охладителя. Наибольшее влияние на потери оказывают выпуски на спинку профиля и через выходную кромку. Выпуск охладителя через перфорацию вызывает снижение пропускной способности СА, слабо влияя на угол выхода потока, а выпуск через выходную кромку увеличивает этот угол в соответствии с ростом потерь и расхода смеси. Вторичные течения ослабляют влияние выпуска охладителя, который практически не изменяет распределение потерь у концов лопаток турбины и даже уменьшает вторичные потери. Угол выхода потока здесь существенно растет, что можно рассчитать, только изменив обычную модель течения. В зоне вторичных течений отсутствует заметное изменение угла выхода при любом охлаждении. Эта зона требует дополнительного изучения.

Ключевые слова: расход охладителя, коэффициент потерь, угол выхода потока, вторичные течения.

ПАРОТУРБИННЫЕ, ГАЗОТУРБИННЫЕ, ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ И ИХ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Термодинамический метод расчета процесса расширения в охлаждаемой газовой турбине

© 2015 г. Ромахова Г.А.

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет¹

e-mail : Romakhova@mail.ru

Предложен метод расчета процесса расширения в газовой турбине с открытым охлаждением. Метод базируется на представлении турбины как термодинамической системы с переменной массой, состоящей из двух подсистем: подсистемы газа с постоянной массой и подсистемы охладителя с переменной массой. Приведено аналитическое решение системы уравнений, описывающей процесс расширения. Показаны точность и достоверность получаемых результатов. Разработанный метод позволяет аналитически рассчитывать параметры процесса расширения, в том числе потери, вызванные охлаждением. Приведены результаты расчета этих потерь для различных значений эффективности системы охлаждения и температуры газа перед турбиной. Выполнен эксергетический анализ потерь в установке с охлаждаемой турбиной. Показано, что потери от охлаждения могут составлять 5% энергии топлива и более и не могут быть компенсированы эффективностью утилизационного контура в комбинированной установке. Проведено сравнение полученных результатов с опубликованными данными по установке ГТЭ-65 ОАО “Силовые машины”.

Ключевые слова: газовая турбина, открытое охлаждение, процесс расширения, потери от охлаждения, эффективность охлаждения.

ПАРОВЫЕ КОТЛЫ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО, ГОРЕЛОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ КОТЛОВ

Результаты расчетных и экспериментальных исследований гидродинамики циркуляционных контуров в аппаратах с циркулирующим кипящим слоем и системах со связанными реакторами¹

© 2015 г. Рябов Г.А., Фоломеев О.М., Санкин Д.А., Мельников Д.А.

ОАО “Всероссийский теплотехнический институт”²

e-mail: georgy.ryabov@gmail.com

Рассмотрены вопросы расчета контура циркуляции в аппаратах с циркулирующим кипящим слоем и системах со связанными между собой реакторами (полигенерирующие системы для получения электро-энергии, тепла и полезных продуктов и химические циклы сжигания и газификации твердых топлив). Разработана методика расчета контура циркуляции частиц применительно к котлам с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС) и системам со связанными между собой реакторами с кипящим слоем (КС) и ЦКС. Важным элементом этой методики являются новые зависимости для связи расхода ожижающего агента (воздух, газ, пар) с показателями работы реакторов и системы в целом (расход материала, перепад давлений в топке и сопротивление циклона, уровень слоя в стояке). Выполнены экспериментальные исследования гидродинамики контура циркуляции на аэродинамической установке, определены опытные значения сопротивления горизонтальной части L-клапана, которые удовлетворительно соответствуют разработанной расчетной зависимости.

Ключевые слова: циркулирующий кипящий слой, системы со связанными между собой реакторами, контур циркуляции, гидродинамика, опускное движение частиц, пневматические клапаны.

**ПАРОВЫЕ КОТЛЫ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО,
ГОРЕЛОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ КОТЛОВ**

**Моделирование топочных процессов при сжигании распыленного угля
в вихревой топке усовершенствованной конструкции.**

Часть 1. Аэродинамика течения в вихревой топке¹

© 2015 г. Красинский Д.В.², Саломатов В.В.^{2,3}, Ануфриев И.С.², Шарыпов О.В.^{2,3},
Шадрин Е.Ю.³, Аникин Ю.А.²

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН² –
Новосибирский национальный исследовательский государственный университет³

e-mail: dkr@itp.nsc.ru

Представлены результаты комплексного экспериментального и численного исследования аэродинамики и процессов переноса в вихревой топке, конструкция которой усовершенствована путем распределенного тангенциального ввода топливовоздушных струй через верхние и нижние горелки. Экспериментальное исследование аэродинамических характеристик пространственного турбулентного течения проводилось в изотермической лабораторной модели (в масштабе 1:20) усовершенствованной вихревой топке с помощью лазерной доплеровской измерительной системы. Сопоставление данных эксперимента с результатами численного моделирования изотермического течения, выполненного для этой же лабораторной модели топки, показывает их соответствие, приемлемое для инженерной практики.

Ключевые слова: вихревая топка парового котла, лазерная доплеровская анемометрия, численное моделирование, факельное сжигание угля.

ПАРОВЫЕ КОТЛЫ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО,
ГОРЕЛОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ КОТЛОВ

Расширение практического диапазона использования расчетной модели
топочного устройства с твердым шлакоудалением

© 2015 г. Осинцев К.В.

Южно-Уральский государственный университет¹

e-mail: osintsev2008@yandex.ru

Рассмотрена модель топочного устройства с твердым шлакоудалением и различными схемами настенной компоновки горелок, используемая для оценки тепловых характеристик факела при ведении проектно-конструкторских работ, наладке и исследованиях котлов. Предложена методика применения модели. Вносимые предложения позволяют повысить надежность системы ввода в топку реagentных и регулируемых инертных потоков, минимизировать шлакование при сжигании шлакоудаления твердых топлив, увеличить межремонтный срок службы котельного оборудования.

Ключевые слова: котел, факел, горелка, модель, методика, топка, шлакоудаление.

Эффективность энергокомплексов на базе АЭС при комбинировании с дополнительными источниками энергии с учетом факторов риска^{1, 2}

© 2015 г. Аминов Р.З.³, Хрусталеv В.А.⁴, Портянкин А.В.⁴

Саратовский научный центр Российской академии наук³ –
Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина⁴

e-mail: oepgran@inbox.ru

Статья посвящена анализу эффективности комбинирования АЭС с водо-водяными энергетическими реакторами (ВВЭР) с другими энергоисточниками в составе единых энергокомплексов. Такие энергокомплексы обеспечивают приемистость и гибкость при обязательном нормативном первичном и противоаварийном регулировании нагрузки, а также участие в прохождении ночных минимумов графиков электрических нагрузок с сохранением высоких значений коэффициента использования установленной мощности всего энергокомплекса при более высоких КПД паротурбинной части. Рассмотрены варианты комбинирования АЭС с водородными надстройками и газотурбинными установками (ГТУ) для выработки электроэнергии. Поскольку водород является опасным энергоносителем, что вносит дополнительные элементы риска, предложена методика оценки этих рисков при различных условиях осуществления топливоводородного цикла на АЭС. Рассматривается методика учета рисков с использованием статистических данных, в том числе характеристик водородопроводов и газопроводов, частоты разгерметизации оборудования технологических трубопроводов. Рассчитаны ожидаемые интенсивности пожаров и взрывов на АЭС с водородными надстройками и ГТУ. При оценке ущерба от событий (пожаров и взрывов) в машинных залах АЭС использованы данные американской статистики. Приведены консервативные сценарии пожаров и взрывов водородовоздушных смесей в машинных залах АЭС. Представлены результаты расчета соотношения вносимого годового риска к достигаемой годовой чистой прибыли в сопоставимых вариантах, которое может использоваться при отборе проектов с наиболее технически достижимой и социально приемлемой безопасностью.

Ключевые слова: атомная электростанция, водородные надстройки, газотурбинная установка, водород, взрывы, пожары, ущербы, риски.

**МЕТАЛЛЫ
И ВОПРОСЫ ПРОЧНОСТИ**

Разработка и применение информационно-аналитического комплекса по проблеме эрозии-коррозии элементов трубопроводов II контура энергоблоков Нововоронежской АЭС с РУ ВВЭР-440

© 2015 г. Томаров Г.В.¹, Поваров В.П.², Шипков А.А.¹, Громов А.Ф.², Киселев А.Н.²,
Шепелев С.В.¹, Галанин А.В.²

ЗАО “Геотерм-ЭМ”¹ – Нововоронежская АЭС²

e-mail: geotherm@gmail.com

Рассмотрены особенности создания информационно-аналитического комплекса по проблеме эрозии-коррозии элементов трубопроводов II контура энергоблоков Нововоронежской АЭС (НВАЭС) с РУ ВВЭР-440. Приведены результаты статистического анализа сведений о количестве, месторасположении, условиях эксплуатации элементов и предвключенных участков трубопроводов конденсатно-питательного и влажно-парового трактов. Рассмотрены принципы подготовки и использования информационно-аналитического комплекса для определения ресурса работы до достижения недопустимых утонений стенок элементов трубопроводов II контура энергоблоков Нововоронежской АЭС с РУ ВВЭР-440.

Ключевые слова: Нововоронежская АЭС, элементы трубопроводов, II контур, локальная эрозия-коррозия.

**ОХРАНА
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**Возможные пути снижения воздействия объектов теплоэнергетики
на окружающую среду**

© 2015 г. Зройчиков Н.А., Прохоров В.Б., Тупов В.Б., Архипов А.М., Фоменко М.В.

Национальный исследовательский университет “Московский энергетический институт”¹

e-mail: 2318228@mail.ru

Отмечены основные тенденции в комплексном решении экологических проблем теплоэнергетики на примере ОАО “Мосэнерго”, и приведены данные по структуре энергетического оборудования Москвы и ее изменению, потреблению энергоресурсов и выработке тепловой и электрической энергии. Представлены динамика загрязнения атмосферного воздуха Москвы с 1990 по 2010 г., а также основные мероприятия по снижению вредного воздействия работы энергетического оборудования. Приведены результаты оригинальных разработок кафедры котельных установок и экологии энергетики (КУиЭЭ) по снижению выбросов оксидов азота и уменьшению шумового воздействия энергетического оборудования.

Ключевые слова: паровой котел, природный газ, мазут, уголь, сжигание, режимы, загрязнение воздушного бассейна, энергетический комплекс Москвы, оксиды азота, снижение выбросов, шум, глушитель.

ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ

Оценка эффективности декарбонизации добавочной воды атмосферными деаэраторами

© 2015 г. Ларин Б.М., Ларин А.Б.

Ивановский государственный энергетический университет¹

e-mail: admin@xxte.ispu.ru

Нормы качества водного теплоносителя предполагают полное отсутствие свободной углекислоты в питательной воде парогенерирующих систем на ТЭС. Удаление свободной и частично связанной углекислоты из добавочной воды энергетических котлов ТЭС производится, как правило, в атмосферных деаэраторах. Работа их в качестве декарбонизаторов может оцениваться измерением рН поступающей в деаэратор и деаэрированной воды. Приведены методика расчета остаточной концентрации углекислоты в деаэрированной воде и эффекта декарбонизации по изменению рН (ΔpH) и пример расчета, выполненный сотрудниками ИГЭУ на основе длительного промышленного эксперимента на атмосферных деаэраторах типа ДСА-300.

Ключевые слова: декарбонизация, обработка воды, суперсверхкритические параметры, угольная кислота, деаэрация воды, коррозия, подпиточная вода.