

ТЕПЛО- ЭНЕРГЕТИКА

В номере:

- *Газификация твердых топлив в мировой энергетике*
- *Влияние объемного паросодержания на гидравлическое сопротивление погруженного дырчатого листа*
- *Построение математических моделей технологических процессов теплоэнергетического оборудования*

7 **2015**

**ООО МАИК «НАУКА/
ИНТЕРПЕРИОДИКА»**

ВИДЕОЭНДОСКОП VUCAM X0

Портативный видеоэндоскоп с сенсорным дисплеем
и современным пользовательским интерфейсом



**Артикуляция 130°
в любом направлении**

90° боковое
направление обзора
100° поле обзора

**Возможность произ-
водить стереоскопи-
ческие измерения
геометрических
параметров дефектов**

130°
Артикуляция

100° поле обзора

45° поле обзора

0° прямое направление
обзора

- Современный сенсорный дисплей
- Документирование результатов контроля
- Фотоснимки во время записи видео
- Удобный файл менеджер
- Ретроспектива записи видеоизображения
- Поддержка карт памяти SD
- Горячие клавиши
- Прочная и легкая конструкция
- Источник света с пожизненной гарантией
- Возможность регулировки уровня наклона монитора



Официальное представительство
viZaar industrial imaging AG
в России и странах СНГ

197022, Россия, Санкт-Петербург,
ул. Профессора Попова 37В
+7 (812) 748-28-47

info@vizaar.ru
www.vizaar.ru



**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 7, 2015

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

Газификация твердых топлив в мировой энергетике (обзор)

Ольховский Г.Г. 3

Повышение эффективности энергетического комплекса предприятий
по переработке углеводородного сырья

Долотовский И.В., Ларин Е.А., Долотовская Н.В. 12

Методика определения акустического центра источника шума

Тараторин А.А., Тупов В.Б. 19

Атомные электростанции

Влияние объемного паросодержания на гидравлическое сопротивление
погруженного дырчатого листа

*Блинков В.Н., Елкин И.В., Емельянов Д.А., Мелихов В.И., Мелихов О.И.,
Неровнов А.А., Никонов С.М., Парфенов Ю.В.* 24

Комплекс технологий и пилотных систем для экологически безопасного
вывода из эксплуатации энергетического, технологического, емкостного
и транспортного оборудования

*Сморodin А.И., Редькин В.В., Фролов Ю.Д., Коробков А.А.,
Кемаев О.В., Кулик М.В., Шабалин О.В.* 30

Энергосбережение, новые и возобновляемые источники энергии

Численное моделирование фильтрации биогаза и теплообмена
в деформируемом теле полигона твердых бытовых отходов.

Ч. II. Верификация модели и ее применение

Куцкий Д.В. 36

Автоматизация и тепловой контроль в энергетике

Построение математических моделей технологических процессов
теплоэнергетического оборудования на основе статистических
методов аппроксимации

Колчев К.К., Мезин С.В. 44

Тепло- и массообмен, свойства рабочих тел и материалов

Радиационная составляющая теплопроводности водяного пара
при высоких давлениях и температурах

Панченко С.В., Дли М.И., Борисов В.В. 52

Охрана окружающей среды

Методы снижения бактериального загрязнения систем оборотного
охлаждения ТЭЦ

Чичирова Н.Д., Чичиров А.А., Власов С.М., Власова А.Ю. 62

Водоподготовка и водно-химический режим

Прогнозирование показателей эффективности декарбонизации воды термическими деаэраторами атмосферного давления без парового барботажа в деаэраторном баке

Ледуховский Г.В., Горшенин С.Д., Виноградов В.Н., Барочкин Е.В., Коротков А.А.

68

Теплофикация и тепловые сети

Оценка тепловых потерь в тепловых сетях при применении жидкокристаллической теплоизоляции

Ильин Р.А.

76

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

Газификация твердых топлив в мировой энергетике (обзор)

© 2015 г. Ольховский Г.Г.

ОАО “Всероссийский теплотехнический институт”¹

e-mail: vti@vti.ru

В обзоре материалов конференции по газификации твердых топлив, проведенной в 2013 г. в США, рассмотрены масштабы коммерческого использования наиболее продвинутых систем газификации углей в химической промышленности и энергетике. Приведены сведения о проектах парогазовых электростанций с системами газификации твердых топлив, которые реализуются в настоящее время или уже эксплуатируются в США, о характере и результатах исследований, проводимых в специализированных организациях для совершенствования газификационного оборудования и систем.

Ключевые слова: уголь, газификация, парогазовые установки, синтез-газ, очистка газа, огнеупоры, моделирование.

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

**Повышение эффективности энергетического комплекса предприятий
по переработке углеводородного сырья¹**

© 2015 г. Долотовский И.В., Ларин Е.А., Долотовская Н.В.

Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина²

e-mail: dolotowsky@mail.ru

Предложена методика схемно-параметрического анализа эффективности теплоэнергетической системы энергетического комплекса предприятий по переработке газа и газового конденсата. Разработана альтернативная структура энергетического комплекса с автономным источником тепловой и электрической энергии, который объединен с технологической системой. Выработка энергоносителей осуществляется с утилизацией вторичных энергоресурсов, отходов и стоков. С использованием разработанного информационно-аналитического обеспечения выполнена многокритериальная оценка эффективности альтернативных вариантов энергетического комплекса и его систем на основе автономных энергоисточников типа ПГУ-ТЭЦ для Астраханского газоперерабатывающего завода и определен наиболее эффективный вариант состава оборудования. Выявлено влияние основных технико-экономических факторов на показатели экономической эффективности. Срок окупаемости инвестиций в создание системы энерго- и водоснабжения в структуре энергетического комплекса предприятия составляет 8–9 лет.

Ключевые слова: энергетический комплекс, переработка углеводородного сырья, автономный источник энерго- и водоснабжения, эффективность.

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

Методика определения акустического центра источника шума¹

© 2015 г. Тараторин А.А., Тупов В.Б.

Национальный исследовательский университет “Московский энергетический институт”²

e-mail: TupovVB@mpei.ru

Предлагается методика экспериментального определения акустического центра источника шума, в том числе не имеющего четко выраженных границ и излучающего звуковую энергию неравномерно по поверхности. Установлены ограничения предложенной методики, и обсуждены факторы, влияющие на точность определения расположения акустического центра. Приводятся результаты эксперимента, поставленного в соответствии с предложенной методикой, и проведено их сравнение с результатами математического моделирования паровой струи.

Ключевые слова: акустический центр, паровой выброс, источник шума, экранирование, затухание шума, математическое моделирование.

Влияние объемного паросодержания на гидравлическое сопротивление погруженного дырчатого листа¹

© 2015 г. Блинков В.Н.², Елкин И.В.², Емельянов Д.А.³, Мелихов В.И.², Мелихов О.И.³,
Неровнов А.А.², Никонов С.М.³, Парфенов Ю.В.³

Электрогорский научно-исследовательский центр по безопасности АЭС² – Национальный исследовательский университет
“Московский энергетический институт”³

e-mail: tf.12.05@mail.ru

Представлены результаты экспериментального исследования течения двухфазного потока через погруженный дырчатый лист (ПДЛ), полученные на стенде ОАО ЭНИЦ. Приведено подробное описание экспериментального стенда, рабочий участок которого представляет собой поперечную “вырезку” натурного парогенератора ПГВ-1000 с моделями внутрикорпусных устройств. Изложена методика проведения опытных пусков, описана система контрольно-измерительных приборов. Во всех экспериментальных режимах использовался ПДЛ со степенью перфорации 5.7% (отношение площади отверстий к площади листа). Давление в системе составляло примерно 7 МПа, расход подаваемого пара варьировался от 4.23 до 7.94 т/ч, что соответствовало скорости пара на зеркале испарения 0.15–0.29 м/с. Получены распределения перепадов давления на ПДЛ, объемного паросодержания под ПДЛ и над ним. В результате обработки экспериментальных данных определен коэффициент гидравлического сопротивления ПДЛ двухфазному потоку. Путем сопоставления полученного коэффициента гидравлического сопротивления ПДЛ двухфазному потоку с коэффициентом гидравлического сопротивления ПДЛ однофазному потоку пара определена поправка на двухфазность для условий функционирования ПДЛ. Показано, что эта поправка может быть как больше (при малых объемных паросодержаниях), так и меньше единицы (при больших объемных паросодержаниях).

Ключевые слова: экспериментальное исследование, двухфазные течения, парогенератор, погруженный дырчатый лист, гидравлическое сопротивление, барботаж, объемное паросодержание.

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Комплекс технологий и пилотных систем для экологически безопасного вывода из эксплуатации энергетического, технологического, емкостного и транспортного оборудования

© 2015 г. Смородин А.И.¹, Редькин В.В.², Фролов Ю.Д.¹, Коробков А.А.², Кемаев О.В.²,
Кулик М.В.², Шабалин О.В.²

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана¹ – Межрегиональное общественное учреждение
“Институт инженерной физики”²

e-mail: smorodin38@rambler.ru

Предложен комплекс технологий и пилотных систем для экологически безопасного вывода из эксплуатации (ВЭ) энергетического, технологического, емкостного и транспортного оборудования. В качестве базовых технологий для комплекса выбраны: криогенные азотные технологии для вытеснения водорода из контура охлаждения турбогенераторов; криоструйная очистка оборудования энергоблоков гранулами CO₂; консервация осушенным воздухом оборудования остановленных энергоблоков; демонтирующая и разделительная резка оборудования и конструкционных материалов энергоблоков. Показано, что на основе выбранных технологий могут быть построены четыре пилотные системы комплекса для экологически безопасного ВЭ энергетического оборудования: многорежимная азотная криогенная система (МАКС) с четырьмя подсистемами; система криоструйной очистки гранулами CO₂ тепломеханического и электротехнического оборудования энергоблоков, а также технологического, емкостного и транспортного оборудования; бескомпрессорные воздухоосушительные системы для осушки и консервации оборудования остановленных энергоблоков; криогазовая система универсальной резки паротурбинного оборудования энергоблоков. Результаты проведенных исследовательских и опытно-демонстрационных испытаний операционных блоков рассмотренных технологических систем позволяют использовать предлагаемые технологии и системы в создаваемых пилотных комплексах для ВЭ энергетического, технологического, емкостного и транспортного оборудования.

Ключевые слова: вывод из эксплуатации, азотные криогенные технологии, криоструйная очистка, гранулы CO₂, консервация осушенным воздухом, криогазовая система резки.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, НОВЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Численное моделирование фильтрации биогаза и теплообмена
в деформируемом теле полигона твердых бытовых отходов.

Ч. II. Верификация модели и ее применение

© 2015 г. Куцый Д.В.

Институт технической теплофизики Национальной академии наук Украины¹

e-mail: dkutsyi@biomass.kiev.ua

Статья посвящена исследованию параметров скважин, которые используются в вертикальных системах сбора биогаза для дегазации полигонов. Для этого рассматривается теплофизическая модель, разработанная в первой части этой работы. При моделировании использованы исходные данные, полученные на реальных свалке и полигоне, с последующим сравнением результатов расчетов и экспериментальных измерений. Предложен метод определения средних гидродинамических свойств отходов, позволяющих учитывать их гетерогенность. На основании этих свойств исследовано влияние эксплуатационных и конструкционных параметров скважины на показатели ее работы. Установлено, что возрастание разрежения, диаметра бурения и высоты перфорации обеспечивает повышение дебита скважины примерно на 10%. На примере типичной свалки и полигона показано влияние увеличения дебита скважины на сроки окупаемости проекта сбора биогаза.

Ключевые слова: биогаз, газосборная скважина, полигон, радиус действия скважины, свалка, эффективность сбора.

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Построение математических моделей технологических процессов теплоэнергетического оборудования на основе статистических методов аппроксимации

© 2015 г. Колчев К.К., Мезин С.В.

Национальный исследовательский университет “Московский энергетический институт”¹

e-mail: kolchevkk@mail.ru

Описывается метод построения математических моделей технологических процессов теплоэнергетического оборудования на основе статистического метода аппроксимации. Рассматриваемый метод был использован в разрабатываемом программном модуле (плагине), предназначенном для расчета нелинейных математических моделей газотурбинных установок (ГТУ) и их диагностики. Математические модели, построенные с помощью данного модуля, применяются для описания текущего состояния системы. Отклонения фактического состояния системы от оценки, полученной с помощью математической модели, свидетельствуют о нарушениях в работе этой системы. Теоретической основой являются метод многомерной интерполяции и аппроксимации и теория случайных функций. Метод позволяет создавать сложные статические модели объектов управления и диагностики. Модуль, разработанный с использованием данного метода, дает возможность выполнять периодическое диагностирование действующего оборудования в целях выявления отклонений от нормального режима работы. Рассматриваются особенности построения математических моделей и приводятся примеры их применения с использованием наблюдений, полученных на оборудовании ГТУ.

Ключевые слова: диагностика, математическая модель технологических процессов, многомерная аппроксимация, статистические методы.

ТЕПЛО- И МАССООБМЕН, СВОЙСТВА РАБОЧИХ ТЕЛ И МАТЕРИАЛОВ

Радиационная составляющая теплопроводности водяного пара при высоких давлениях и температурах¹

© 2015 г. Панченко С.В., Дли М.И., Борисов В.В.

Смоленский филиал Национального исследовательского университета “Московский энергетический институт”²
e-mail: tan_pan@inbox.ru

Задача переноса энергии теплопроводностью и излучением сведена к дифференциальному уравнению, содержащему производные температуры на границах и базирующемуся на селективно-сером приближении поглощающей среды. Предложен метод аналитического решения линеаризованной задачи радиационно-кондуктивного теплообмена (РКТ) в плоском слое селективно поглощающей среды, позволяющий получить несимметричный профиль температуры, более точно аппроксимирующий результаты экспериментов. Показана адекватность метода решения сравнением результатов расчета с данными эксперимента и численными методами. Проведен анализ влияния межмолекулярных взаимодействий на оптические свойства сильно сжатых сред. Получена зависимость для определения интегральной интенсивности полос водяного пара при давлениях до 100 МПа. Совпадение результатов расчетов интенсивности поглощения при повышенных давлениях, в том числе для водяного пара, вполне удовлетворительное. Представлены значения лучистой составляющей при измерении теплопроводности водяного пара в широком диапазоне температур и давлений с учетом селективности поглощения и отклонения коэффициентов теплопроводности при наличии поглощения и модели прозрачного газа. Результаты работы могут быть использованы для оценки радиационной составляющей при измерениях теплопроводности поглощающих газов и жидкостей.

Ключевые слова: теплопроводность, излучение, плоский слой, радиационно-кондуктивный теплообмен, линеаризованная задача РКТ, дифференциальное уравнение, метод решения, водяной пар, спектр поглощения, интенсивность поглощения, селективно-серая модель, межмолекулярные взаимодействия, радиационная составляющая потока энергии, поправки на излучение для коэффициентов теплопроводности водяного пара.

Методы снижения бактериального загрязнения систем оборотного охлаждения ТЭЦ

© 2015 г. Чичирова Н.Д., Чичириков А.А., Власов С.М., Власова А.Ю.

Казанский государственный энергетический университет¹

e-mail: vlasovsm@list.ru

Проведены исследования бактериального загрязнения циркуляционной и добавочной воды несопряженной системы оборотного охлаждения с башенными испарительными градирнями тепловых электрических станций. В качестве объекта исследования выбрана несопряженная система оборотного охлаждения Набережно-Челнинской ТЭЦ. Установлено, что циркуляционная вода системы оборотного охлаждения в высокой степени загрязнена аэробными гетеротрофными бактериями. В то же время добавочная вода для системы охлаждения из р. Кама имеет умеренное загрязнение анаэробными бактериями. Измерения биологического загрязнения в разных частях системы оборотного охлаждения показали, что в конденсаторах турбин происходит существенное скачкообразное снижение популяции колоний микроорганизмов, что, вероятно, свидетельствует об их гибели и отложении на поверхности теплообмена конденсатора. Расчет по специальной программе показал, что биологическое загрязнение системы оборотного охлаждения представляет наибольшие риски забивки оборудования (семь баллов по девятибалльной шкале), его коррозии (два балла), нанесения ущерба здоровью персонала (два балла). Бурное развитие аэробных бактерий, очевидно, происходит под действием повышенной температуры и интенсивной аэрации воды в градирне. Предложено периодически проводить мониторинг системы оборотного охлаждения на биологическое загрязнение и установить график бактерицидной обработки циркуляционной воды в зависимости от уровня ее бактериальной загрязненности.

Ключевые слова: тепловая электрическая станция, несопряженная система оборотного охлаждения, конденсатор турбин, бактериальное загрязнение, реагентная обработка циркуляционной воды.

ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ

Прогнозирование показателей эффективности декарбонизации воды термическими деаэраторами атмосферного давления без парового барботажа в деаэрационном баке

© 2015 г. Ледуховский Г.В., Горшенин С.Д., Виноградов В.Н., Барочкин Е.В., Коротков А.А.

Ивановский государственный энергетический университет¹

e-mail: lgv83@yandex.ru

Приведены результаты расчетно-экспериментальных исследований декарбонизации воды в деаэраторах атмосферного давления без парового барботажа в деаэрационном баке, в ходе которых уточнены значения константы скорости процесса термического разложения гидрокарбонатов, доказана гипотеза о смене механизма процесса при переходе к малым значениям общей щелочности деаэрируемой воды. По результатам исследований предложена методика прогнозирования показателей эффективности декарбонизации воды деаэраторами, характеризующая максимально возможной точностью, обусловленной метрологическими характеристиками нормативных методов измерения щелочности.

Ключевые слова: деаэрация, декарбонизация, гидродинамическая задача, константа скорости реакции, математическое моделирование.

ТЕПЛОФИКАЦИЯ И ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ

Оценка тепловых потерь в тепловых сетях при применении жидкокристаллической теплоизоляции

© 2015 г. Ильин Р.А.¹

Лаборатория нетрадиционной энергетики Отдела энергетических проблем Саратовского научного центра РАН
при Астраханском государственном техническом университете

e-mail: kaften.astu@mail.ru

Одна из актуальных проблем, возникающих при эксплуатации тепловых сетей в России, – потери тепловой энергии при ее передаче потребителям. По утверждениям специалистов, потери в тепловых сетях достигают 35–50%. В статье описаны некоторые свойства применяемых в настоящее время теплоизоляционных материалов. Приведены сведения о жидкокристаллической теплоизоляции TLM Ceramic. Описываются как ее положительные технико-экономические и эксплуатационные свойства, так и сомнения специалистов в соответствии ее заявленных характеристик действительным. Приведены данные натурных измерений участков теплопроводов на ОАО “ТЭЦ-Северная” (г. Астрахань), покрытых жидкокристаллической теплоизоляцией толщиной 2 мм. Определены удельные потери тепла с поверхности теплопроводов, приведены доводы о нецелесообразности применения жидкокристаллической теплоизоляции TLM Ceramic на объектах теплоэнергетики.

Ключевые слова: тепловые потери, теплоизоляция, тепловые сети, расчет тепловых потерь, жидкокристаллическая изоляция.