

ТЕПЛО- ЭНЕРГЕТИКА

В номере:

- *Распределенные системы накопления электроэнергии на основе парков электромобилей*
- *Выбор лабиринтных уплотнений в паровых турбинах*
- *Перспективы использования золы-уноса тепловых электростанций*

1 **2015**

ООО МАИК «НАУКА/
ИНТЕРПЕРИОДИКА»

КАМЕРА ПРОМЫШЛЕННОГО НАБЛЮДЕНИЯ

inVIZ **SNK**

inspect series



Надежная поворотная камера
для дистанционного визуального контроля цистерн и резервуаров



Водонепроницаемость
до 50 метров под водой



Устойчивость
к радиоактивному
излучению



Оптическое увеличение 40x
и цифровое увеличение 720x



Высокое разрешение
670 ТВ линий



Линейные
измерительные лазеры



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

Продукция и услуги ЗАО "Турботект Санкт-Петербург":

- Системы промывки осевых компрессоров ГТУ
- Мобильные и стационарные устройства для подготовки и подачи моющего раствора и воды
- Моющие растворы
- Маслозаправочные установки
- Устройство для сбора масла
- Очиститель масла электростатический
- Сервисные работы и оборудование для наружной и внутренней промывки АВО газа
- Проектирование и изготовление нестандартного оборудования

Turbotect
Санкт-Петербург

КОГДА* ЧИСТО

СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ

*** ПОВЫШЕНИЕ КПД НА 5%,
МОЩНОСТИ НА 10%**

ЗАО «Турботект Санкт-Петербург»
197110, Россия, Санкт-Петербург,
ул. Красного Курсанта, 11/1-2
Тел.: +7 812 380 20 77
факс: +7 812 380 31 46
e-mail: info@turbotectspb.com
www.turbotectspb.com



TURBOTECT® ТУРБОТЕКТ®

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 1, 2015

С Новым годом, дорогие читатели!

Энергосбережение, новые и возобновляемые источники энергии

- Распределенные системы накопления электроэнергии на основе парков электромобилей
Жук А.З., Бузоверов Е.А., Шейндлин А.Е. 3
- Перспективные направления разработки фотопреобразователей для энергетики
Стребков Д.С. 9
-

Паротурбинные, газотурбинные, парогазовые установки и их вспомогательное оборудование

- Выбор лабиринтных уплотнений в паровых турбинах
Костюк А.Г. 17
- Анализ влияния отдельных составляющих потерь от влажности на экономичность ступени и отсеков паровых турбин
Филиппов Г.А., Грибин В.Г., Аветисян А.Р., Лисянский А.С. 22
- Оценка эффективности работы пара применительно к проектируемой турбине
Аствацатурова А.А., Зорин В.М., Трухний А.Д. 29
- Тепловые и экологические характеристики основного оборудования энергоблока 480 МВт "Раздан-5" в режиме ПГУ
Саргсян К.Б., Ерицян С.Х., Петросян Г.С., Автандилян А.В., Геворкян А.Р., Клуб М.В. 36
-

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

- Снижение выбросов оксидов азота на котле ТГМЕ-464 электростанции IRU (Эстония)
Росляков П.В., Ионкин И.Л. 45
- Перспективы использования золы-уноса тепловых электростанций Ростовской области
Федорова Н.В., Шафорост Д.А. 53
- Расчет параметров автоколебаний в вертикальной камере горения воздухонагревателя доменной печи при неустойчивом горении
Басок Б.И., Гоцуленко В.В. 59
- Исследование характеристик процесса горения метано-водородных топлив
Веткин А.В., Сурис А.Л., Литвинова О.А. 65
-

Тепло- и массообмен, свойства рабочих тел и материалов

- Исследование влияния турбулизирующих вставок на интенсификацию теплообмена
Goodarzi K., Goudarzi S. Y., Zendehebudi Gh. 69
- Математическая модель теплоотдачи в каналах с насадочными и зернистыми слоями
Лантев А.Г., Фарахов Т.М. 77
-
-

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, НОВЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ
ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Распределенные системы накопления электроэнергии
на основе парков электромобилей

© 2015 г. Жук А.З., Бузоверов Е.А., Шейндлин А.Е.

Объединенный институт высоких температур РАН¹

e-mail: 666zhuk@ihed.ras.ru

В ОИВТ РАН разрабатывается несколько энергетических технологий, направленных на решение проблемы покрытия неравномерных нагрузок в энергосистемах. Одно из направлений исследований — использование аккумуляторных батарей электромобилей для компенсации пиков нагрузок в энергосистеме (технология V2G – vehicle-to-grid). В статье путем проведения расчетов сравнивается эффективность систем накопления энергии на базе электромобилей с традиционными энергогенерирующими технологиями и системами накопления энергии. Сравнение выполняется по критерию минимума затрат на поставку энергосистеме пиковой энергии. Расчеты показывают, что распределенные системы накопления на базе парков электромобилей экономически эффективны при режиме их использования до 1 ч/сут. В отличие от традиционных методов, себестоимость регулирования нагрузок в энергосистеме на основе технологии V2G не зависит от длительности периода компенсации нагрузки (продолжительности пика потребления).

Ключевые слова: энергосистема, регулирование, энергетический буфер, эффективность, vehicle-to-grid, электромобиль, аккумуляторная батарея.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, НОВЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Перспективные направления разработки фотопреобразователей для энергетики¹

© 2015 г. Стребков Д.С.

Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства²

e-mail: viesh@dol.ru

Развитие солнечной энергетики должно базироваться на оригинальных инновационных российских и мировых технологиях. Необходимо развивать перспективные российские технологии изготовления фотопреобразователей и полупроводниковых материалов: бесхлорные технологии получения солнечного кремния; технологии матричных солнечных элементов с КПД 25–30% при преобразовании концентрированного солнечного, теплового и лазерного излучения; технологии герметизации высоковольтных кремниевых солнечных модулей напряжением 1000 В и сроком службы до 50 лет; новые методы концентрации солнечного излучения с равномерным освещением фотопреобразователей при 50–100-кратной концентрации; солнечные энергетические системы с круглосуточным производством электрической энергии, не требующие аккумулирующих устройств и резервных источников энергии. Перспективным направлением в кремниевой энергетике является использование высокотемпературных реакций в гетерогенных средах высокомолекулярных силикатных растворов для длительного (более 1 года) производства тепла и электроэнергии в автономном режиме.

Ключевые слова: солнечная энергетика, фотопреобразователи, матричные солнечные элементы, планарные солнечные модули, высоковольтные солнечные модули, “солнечный” кремний, солнечные концентраторы.

ПАРОТУРБИННЫЕ, ГАЗОТУРБИННЫЕ, ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ И ИХ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Выбор лабиринтных уплотнений в паровых турбинах¹

© 2015 г. Костюк А.Г.

Национальный исследовательский университет “Московский энергетический институт”²

e-mail: kostjukag@yandex.ru

Рассмотрены экономичность, виброустойчивость, сохранность в эксплуатации и стоимость основных типов периферийных уплотнений, применяемых в паровых турбинах. Проводится сравнение традиционных уплотнений с сотовыми. Указаны условия, при выполнении которых замена традиционных уплотнений на сотовые может оказаться оправданной. Рекомендуются применение разношаговых многогребенчатых уплотнений (РМУ) как наиболее перспективных.

Ключевые слова: лабиринтные уплотнения, потери от утечек, возбуждающие силы, виброустойчивость валопровода, сохранность уплотнений, стоимость уплотнений.

ПАРОТУРБИННЫЕ, ГАЗОТУРБИННЫЕ, ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ И ИХ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Анализ влияния отдельных составляющих потерь от влажности на экономичность ступени и отсеков паровых турбин¹

© 2015 г. Филиппов Г.А.², Грибин В.Г.², Аветисян А.Р.³, Лисянский А.С.⁴

Национальный исследовательский университет “Московский энергетический институт”² – Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН³ – ОАО “Силовые машины”⁴

e-mail: avetis@ibrae.ac.ru

Работа посвящена анализу влияния дисперсной влаги на экономичность ступеней и отсеков паровых турбин, работающих в области влажного пара. Предложена методика обобщения экспериментальных данных, на основе которой проанализированы опубликованные ранее результаты экспериментов по влиянию различных составляющих потерь на экономичность ступеней и отсеков паровых турбин. Показано влияние крупнодисперсной влаги на показатели экономичности турбин.

Ключевые слова: потери, экономичность турбин, КПД, влажность, крупнодисперсная влага.

ПАРОТУРБИННЫЕ, ГАЗОТУРБИННЫЕ, ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ И ИХ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Оценка эффективности работы пара применительно к проектируемой турбине

© 2015 г. Аствацатурова А.А., Зорин В.М., Трухний А.Д.

Национальный исследовательский университет “Московский энергетический институт”¹

e-mail: AstvatsaturovaAA@yandex.ru

Во многих публикациях приведены формулы для оценки значений внутренних относительных КПД еще не спроектированных турбин. Такие оценки необходимы на первых этапах разработки и расчета тепловой схемы новой паротурбинной установки (ПТУ). Формулы приведены без указания автора, конкретного исходного материала, точности оценки. Для ответа на эти вопросы проведен анализ соответствующих публикаций и сопоставлены результаты расчетов внутренних относительных КПД по опубликованным формулам и по hs -диаграммам спроектированных турбин. Установлено, что автором формул является известный ученый-турбинист проф. Б.М. Трояновский. Показано, что формулы дают “верхнюю” (наилучшую) оценку КПД. Предложены новые формулы той же структуры, что и формулы Б.М. Трояновского, но дающие среднюю оценку по отношению к спроектированным турбинам. Результаты сопоставления призваны помочь разработчикам тепловых схем новых ПТУ в выборе значений внутренних относительных КПД цилиндров еще не спроектированной турбины.

Ключевые слова: внутренний относительный КПД, цилиндры высокого, среднего и низкого давлений (ЦВД, ЦСД, ЦНД), перегретый пар, насыщенный пар, аппроксимационные формулы, hs -диаграмма, тепловая схема.

ПАРОТУРБИННЫЕ, ГАЗОТУРБИННЫЕ, ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ И ИХ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Тепловые и экологические характеристики основного оборудования энергоблока 480 МВт “Раздан-5” в режиме ПГУ

© 2015 г. Саргсян К.Б.¹, Ерицян С.Х.¹, Петросян Г.С.¹, Автандилян А.В.¹, Геворкян А.Р.¹, Клуб М.В.²

Учреждение “Раздан-5” ЗАО “Газпром Армения”¹ – ОАО “ЛьвовОРГРЭС”²

e-mail: pto.razdan5@mail.ru

Приведены результаты тепловых испытаний энергоблока № 5 Разданской ТЭС мощностью 480 МВт (в дальнейшем изложении – энергоблок “Раздан-5”), проведенных ОАО “ЛьвовОРГРЭС” после комплексного опробования энергоблока. Целью испытаний являлось снятие тепловых характеристик парового котла и паровой турбины (ПТ) при работе энергоблока в режиме ПГУ. Определены показатели экономичности работы котла и турбины, а также экологические показатели энергоблока, выполнено сравнение расчетных и фактических значений. Установлены удельные расходы топлива брутто и нетто на выработку электроэнергии энергоблоком.

Ключевые слова: паросиловой энергоблок, паровой котел, паровая турбина, надстройка энергоблока, газотурбинная установка, сбросная схема, опытно-промышленная эксплуатация.

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

**Снижение выбросов оксидов азота на котле ТГМЕ-464
электростанции IRU (Эстония)**

© 2015 г. Росляков П.В., Ионкин И.Л.

Национальный исследовательский университет “Московский энергетический институт”¹

e-mail: RoslyakovPV@mpei.ru

Исследована возможность реализации мероприятий по снижению выбросов оксидов азота на котле ТГМЕ-464 (ст. № 2) электростанции IRU (г. Таллинн, Эстония). Предложены и экспериментально апробированы малозатратные технологические мероприятия – нестехиометрическое сжигание и сжигание с умеренным контролируемым химическим недожогом. Разработаны рекомендации по внедрению малотоксичных режимов сжигания природного газа и режимные карты котла. В результате внедрения предложенных мероприятий выбросы оксидов азота снижены до требуемого уровня.

Ключевые слова: котел, оксиды азота, малотоксичная горелка, нестехиометрическое сжигание, умеренный недожог.

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

**Перспективы использования золы-уноса тепловых электростанций
Ростовской области**

© 2015 г. Федорова Н.В., Шафорост Д.А.

Южно-Российский государственный политехнический университет им. М.И. Платова¹

e-mail: fedorovanv61@rambler.ru

Приведен подробный анализ химического состава минеральной составляющей топлива и примесей в золошлаковых материалах (ЗШМ) на примере некоторых угольных ТЭС Ростовской области. Рассмотрены физико-химические свойства и способы извлечения из зол и шлаков различных углей компонентов, представляющих промышленный интерес: алюмосиликатных полых микросфер; инертной массы алюмосиликатного состава; магнетитовых микрошариков; несгоревших угольных частиц; карбонатных микросфер; тяжелой фракции, содержащей ферросилиций; примесей благородных металлов, редких и рассеянных элементов. Предложены варианты использования этих компонентов непосредственно на ТЭС и на предприятиях Ростовской области.

Ключевые слова: утилизация золошлаковых материалов, зола-унос, сепарация, горючая фракция, металлсодержащая фракция, силикатная фракция, алюмосиликатные полые микросферы, карбонатные микросферы, магнетитовые микрошарики.

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

Расчет параметров автоколебаний в вертикальной камере горения
воздухонагревателя доменной печи при неустойчивом горении

© 2015 г. Басок Б.И., Гоцуленко В.В.

Институт технической теплофизики НАН Украины¹

e-mail: gosul@ukr.net

Разработана методика для упрощенного расчета параметров автоколебаний, возбуждающихся при неустойчивом (вибрационном) горении в вертикальных камерах горения воздухонагревателей доменных печей. В основе предложенной методики – нелинейная автономная динамическая система, подобная уравнениям теории помпажа лопастного нагнетателя. В теории помпажа лопастного нагнетателя напорная характеристика определяет часть механической энергии вращения привода нагнетателя, которая переходит в создаваемый им напор. В данной же системе вместо напорной характеристики нагнетателя введена напорная характеристика камеры горения, которая как функция расхода описывает ту часть подведенного к потоку тепла, которое переходит в его напор. В отличие от напорной характеристики нагнетателя, определяемой экспериментально, напорная характеристика камеры горения находится расчетным путем, что существенно упрощает процесс вычисления параметров автоколебаний по предложенной методике. В частности, анализ периодических решений полученной динамической системы позволил установить характер зависимости амплитуды рассматриваемых автоколебаний от волнового сопротивления вертикальной камеры горения.

Ключевые слова: вибрационное горение, автоколебания, время запаздывания сгорания, неустойчивость, вертикальная камера горения.

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

Исследование характеристик процесса горения метано-водородных топлив¹

© 2015 г. Веткин А.В., Сурис А.Л., Литвинова О.А.

Московский государственный машиностроительный университет¹

e-mail: avetkin@mail.ru

Выполнены численные исследования характеристик процесса горения метано-водородных топлив, используемых в настоящее время в трубчатых печах некоторых нефтеперерабатывающих заводов, и проанализированы возможные проблемы, связанные с переводом существующих печей с природного газа на метано-водородное топливо. Исследовано влияние состава топливной смеси и связанных с ним температуры и излучательной способности продуктов горения, а также температуры стенок камеры сгорания, средней длины пути луча и тепловыделения на изменение радиационного теплового потока. Концентрация метана в топливе варьировалась от 0 до 100%. Исследования проводились как при произвольно задаваемых температурах газа, так и при эффективных температурах, определяемых на основании решения системы уравнений при различных теплонапряженностях камеры сгорания и зависящих от адиабатической температуры горения и температуры на выходе из камеры. Получена аппроксимационная зависимость для оценки степени изменения радиационного теплообмена в радиантной камере печи при переходе на топливо с большим содержанием водорода. В связи с невозможностью использования приближенных формул, рекомендованных нормативным методом теплового расчета котлов для определения излучательной способности газа, ограниченных соотношением парциальных давлений водяного пара и диоксида углерода в продуктах горения ($p_{\text{H}_2\text{O}}/p_{\text{CO}_2} = 0.2\text{--}2.0$), в настоящей работе применялись непосредственно данные Хоттеля. Исследовано также влияние состава метано-водородного топлива на равновесную концентрацию оксидов азота.

Ключевые слова: метано-водородное топливо, состав топлива, радиационный теплообмен, тепловой поток, оксиды азота, трубчатые печи, излучательная способность, эффективная температура.

**ТЕПЛО- И МАССООБМЕН,
СВОЙСТВА РАБОЧИХ ТЕЛ И МАТЕРИАЛОВ**

**Исследование влияния турбулизирующих вставок
на интенсификацию теплообмена**

© 2015 г. Goodarzi K., Goudarzi S.Y., Zendejbudi Gh.

Ясуджский университет, факультет машиностроения²

e-mail: kgoudarzi@yu.ac.ir

В настоящей работе исследование теплообмена в каналах со вставками различной формы с применением CFD-моделирования (computational fluid dynamics – вычислительная гидродинамика) проведено на примере газового водонагревателя. Исследованы вставки в трубку водонагревателя (завихрители потока) трех типов: звездообразные, спиральные проволочные и классического образца в виде витых лент. Для моделирования режима течения в работе используется RNG k – ε -модель турбулентности, где k – кинетическая энергия турбулентных пульсаций, ε – скорость диссипации кинетической энергии турбулентности. В исследованном диапазоне чисел Рейнольдса (от 5800 до 18500) максимальный коэффициент теплоотдачи получен при использовании звездообразных вставок с соотношением площадей поверхности звездообразной пластины и входного поперечного сечения трубы $A_{star}/A_{inlet} = 0.50$. Полученные результаты показали, что применение вставок всех типов приводит к значительному увеличению теплоотдачи и перепада давления по длине гладкостенной трубы. Кроме того, сделан вывод о том, что как коэффициент теплоотдачи, так и коэффициент сопротивления трения в трубе со звездообразной вставкой существенно выше, чем в трубе со спиральной проволочной вставкой и вставкой классического образца в виде витой ленты.

Ключевые слова: теплообмен, интенсификация, турбулентный поток, вставка в трубу, параметр TPF.

ТЕПЛО- И МАССООБМЕН,
СВОЙСТВА РАБОЧИХ ТЕЛ И МАТЕРИАЛОВ

Математическая модель теплоотдачи в каналах
с насадочными и зернистыми слоями¹

© 2015 г. Лаптев А.Г.², Фарахов Т.М.³

Казанский государственный энергетический университет² – ООО ИВЦ “Инжехим”³

e-mail: tvt_kgeu@mail.ru

Для определения коэффициентов теплоотдачи рассмотрена модель турбулентного пограничного слоя Прандтля. Получены уравнения для расчета коэффициентов переноса импульса и теплоотдачи при турбулентном режиме. Определены параметры пограничного слоя на элементах насадок. Приведены примеры расчетов числа Нуссельта для канала с элементами мелкой насадки в широком интервале чисел Рейнольдса. Дано сопоставление с результатами, полученными другими исследователями.

Ключевые слова: пограничный слой, насадки, теплообмен, турбулентность, коэффициенты переноса.