

ТЕПЛО- ЭНЕРГЕТИКА

В номере:



- *Питательный насос SIGMA KNE 5.1 для энергоблока со сверхкритическими параметрами пара*
- *Анализ аэродинамической структуры закрученного течения в моделях вихревых горелочных устройств*
- *Оптимизация состава измерений для идентификации трубопроводных систем*

9

2014

ООО МАИК «НАУКА/
ИНТЕРПЕРИОДИКА»

РЕШЕНИЯ ДЛЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ



ЭНЕРГИЯ НА РЕЗУЛЬТАТ



МЫ ПОМОГАЕМ ПОЛУЧАТЬ ЭНЕРГИЮ, КОТОРАЯ ПИТАЕТ ВСЕ ОТРАСЛИ ЭКОНОМИКИ.

«Силловые машины» успешно создают энергооборудование и содействуют его эффективной эксплуатации на электростанциях. Мы знаем, как достичь оптимальных параметров и повысить проектные показатели. «Силловые машины» гарантируют работоспособность турбин и генераторов в течение долгих лет. Работая с нами, вы сможете достичь успешных результатов и обеспечить стабильное развитие.

- /// более 100 лет опыта в проектировании и производстве оборудования для тепловых станций;
- /// более 40% паровых теплоэлектростанций, а также около 40 % газотурбинных электростанций и парогазовых установок в России оснащены паротурбинным оборудованием «Силловых машин»;
- /// проектирование и производство энергооборудования различных модификаций и мощностей, а также систем автоматики на основе самых прогрессивных технологий;
- /// комплексное сервисное обслуживание и решения по модернизации.

www.power-m.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 9, 2014

Паротурбинные, газотурбинные, парогазовые установки и их вспомогательное оборудование

Экономическая эффективность использования сверхвысоких значений начальных параметров пара в теплофикационных энергоблоках

Касилов В.Ф., Захаренков Е.А. 3

Питательный насос SIGMA KNE 5.1 для энергоблока со сверхкритическими параметрами пара

Krátký T., Sedlář M., Jorda P., Zavadil L., Hansgut R. 14

Коэффициент эффективности работы вентиляторных и башенных градирен

Сосновский С.К., Кравченко В.П. 20

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

Закономерности теплообмена в газовых слоях факела и экранов топок паровых котлов. Часть I. Геометрическая и физическая модель факела как источника теплового излучения

Макаров А.Н. 26

Анализ аэродинамической структуры закрученного течения в моделях вихревых горелочных устройств

Гешева Е.С., Литвинов И.В., Шторк С.И., Алексеенко С.В. 33

Исследование эффективности пневмоимпульсной очистки ширмовых поверхностей котла ПК-38 Назаровской ГРЭС

Аглиулин С.Г., Николаев С.Ф., Звезинцев В.И., Юркин И.А., Шабанов И.И., Палкин В.Ф., Сергиенко С.П., Власов С.М. 42

Влияние катализатора горения на эффективность работы паровых котлов

Капустянский А.А. 50

Автоматизация и тепловой контроль в энергетике

Упрощение модели сложной теплообменной системы для решения задачи релейного управления

Шилин А.А., Букреев В.Г. 56

Особенности моделирования гидравлических систем с регулирующими органами

Тверской Ю.С., Маршалов Е.Д. 64

Теплофикация и тепловые сети

Оптимизация состава измерений для идентификации трубопроводных систем

Гребнева О.А., Новицкий Н.Н. 70

За рубежом

Проблемы удаления диоксида серы при сжигании твердых топлив

Boyardjiev Chr.B. 76

ПАРОТУРБИННЫЕ, ГАЗОТУРБИННЫЕ, ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ И ИХ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 621.165:697.34

Экономическая эффективность использования сверхвысоких значений начальных параметров пара в теплофикационных энергоблоках

© 2014 г. Касилов В.Ф., Захаренков Е.А.

Национальный исследовательский университет “Московский энергетический институт”¹

e-mail: kasilovvf@mpei.ru

Приведены результаты расчетных исследований как термодинамической, так и экономической составляющих эффекта от повышения начальных параметров пара до сверхвысоких значений для теплофикационных энергоблоков. В качестве исходного варианта принята тепловая схема турбоустановки с паровой турбиной Т-250/300-23.5 ТМЗ. В исследованиях рассматривались диапазоны начального давления $p_0 = 23.5\text{--}30.0$ МПа, температуры $t_0 = 540\text{--}600^\circ\text{C}$ и давления пара после однократного промежуточного перегрева $p_{п.п} = 3.6\text{--}4.5$ МПа. В расчетах термодинамической эффективности оценивались степень влияния роста параметров пара на мощность и уровень электрического КПД энергоблока в конденсационном и теплофикационном режимах эксплуатации теплофикационной турбины. В экономической части расчетов определены показатели коммерческой эффективности инвестиций в соответствующие проекты, объемы общих инвестиционных и производственных издержек. Результаты расчетов позволили оценить оптимальный уровень сверхвысоких значений начальных параметров пара для теплофикационного энергоблока с паровой турбиной Т-280/335-26.1. Наилучшие показатели коммерческой эффективности достигаются для варианта с параметрами свежего пара и в промежуточном перегревателе $p_0 = 26.1$ МПа, $p_{п.п} = 4.035$ МПа, $t_0/t_{п.п} = 575/575^\circ\text{C}$. В этом случае получены значения КПД брутто 42.56%, КПД нетто 40.94%, номинальной мощности в конденсационном режиме эксплуатации 334 МВт, а в теплофикационном при $Q_T = 1381.6$ ГДж/ч (330 Гкал/ч) – 279.1 МВт. Использование более высоких параметров пара приводит к существенному росту стоимости проектов. Показано, что при модернизации энергоблоков с турбинами Т-250/300-23.5 ТМЗ целесообразным может быть восстановление изначальных проектных значений температур свежего пара и после промежуточного перегрева $t_0/t_{п.п} = 565/560^\circ\text{C}$.

Ключевые слова: теплофикационный энергоблок, турбоустановка, паровая турбина, тепловая схема, сверхвысокие параметры пара, экономичность, мощность турбины.

**ПАРОТУРБИННЫЕ, ГАЗОТУРБИННЫЕ, ПАРОГАЗОВЫЕ
УСТАНОВКИ И ИХ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

УДК 621.671

**Питательный насос SIGMA KNE 5.1 для энергоблока
со сверхкритическими параметрами пара¹**

© 2014 г. Krátký T.², Sedlář M.², Jorda P.³, Zavadil L.², Hansgut R.³

Центр гидравлических исследований “СИГМА НИИ”² – АО “СИГМА ГРОУП”³

e-mail: t.kratky@sigma.cz

Для энергоблоков со сверхкритическими параметрами пара требуется разработать новые питательные насосы. Данная работа посвящена созданию такого насоса путем численного моделирования гидродинамических и механических характеристик конструкции насоса. В статье приводятся некоторые результаты проведенного моделирования.

ПАРОТУРБИННЫЕ, ГАЗОТУРБИННЫЕ, ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ И ИХ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 621.175

Коэффициент эффективности работы вентиляторных и башенных градирен

© 2014 г. Сосновский С.К.¹, Кравченко В.П.²

Научно-производственная фирма “Пластэнерго”¹ – Одесский национальный политехнический университет²

e-mail: vpkrav@rambler.ru

Показано, что приведенные в нормативной документации диапазоны перепадов температур воды в градирнях не соответствуют нормативным тепловым нагрузкам. Продемонстрировано несовершенство существующих критериев оценки эффективности реконструкции градирен. Введены понятия коэффициента эффективности работы градирен и их рабочих характеристик с номинальными значениями основных параметров. Разработана методика определения этих величин. Предложен алгоритм прямого расчета экономического эффекта реконструкции градирен.

Ключевые слова: коэффициент эффективности работы градирен, реконструкция, экономический эффект.

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

УДК 621.186:536.3

Закономерности теплообмена в газовых слоях факела и экранов топок паровых котлов. Часть I. Геометрическая и физическая модель факела как источника теплового излучения

© 2014 г. Макаров А.Н.

Тверской государственный технический университет¹

e-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru

Проведен анализ развития в XIX–XXI вв. методов расчета теплообмена в факельных печах, топках, камерах сгорания. На протяжении XX в. расчеты теплообмена осуществляли на основе закона излучения твердых тел, выведенного Й. Стефаном и Л. Больцманом. Показана ошибочность использования этого закона для расчета теплообмена факела (газообразного источника излучения) в нагревательных печах и энергетических установках. Обосновано существование кризиса методов расчета теплообмена в факельных печах и энергетических установках. Для преодоления этого кризиса предложена геометрическая и физическая модель факела в виде излучающих цилиндрических газовых объемов как источников теплового излучения.

Ключевые слова: теплообмен, факел, топка, паровой котел, излучение, методика.

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

УДК 532.527(2),532.51,532.52

**Анализ аэродинамической структуры закрученного течения в моделях
вихревых горелочных устройств¹**

© 2014 г. Гешева Е.С.², Литвинов И.В.^{2,3}, Шторк С.И.^{2,3}, Алексеенко С.В.^{2,3}

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

e-mail: anokhina@itp.nsc.ru

Представлены результаты экспериментальных и расчетных исследований характеристик крупномасштабных вихревых структур, образующихся в моделях различных горелочных устройств с закруткой потока. Эксперименты включали в себя визуализацию течения и измерения полей скоростей с использованием современной бесконтактной диагностической системы на основе лазерно-доплеровского анемометра (ЛДА). Кроме того, с помощью специальных акустических датчиков исследовались частотные характеристики нестационарных режимов вихревого течения. Методом фазового осреднения было получено распределение статического давления, которое индуцируется нестационарным вихрем. Наряду с экспериментами, с помощью аналитической теории и коммерческого пакета Star CCM+ выполнялись расчеты характеристик закрученного потока. Адекватность результатов математического моделирования проверялась сопоставлением с данными физического эксперимента.

Ключевые слова: вихревое горелочное устройство, крупномасштабные вихревые структуры, прецессия вихревого ядра, фазовое осреднение, аналитические расчеты, численное моделирование.

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

УДК 620.424.1

**Исследование эффективности пневмоимпульсной очистки ширмовых
поверхностей котла ПК-38 Назаровской ГРЭС**

© 2014 г. Аглиулин С.Г.¹, Николаев С.Ф.¹, Звегинцев В.И.², Юркин И.А.², Шабанов И.И.²,
Палкин В.Ф.³, Сергиенко С.П.³, Власов С.М.³

ОАО «Сибтехэнерго»¹ – ООО «Сибтехакадем»² – Назаровская ГРЭС³

e-mail: zvegin@itam.nsc.ru

Для непрерывной профилактической очистки ширм первичного и вторичного трактов пароперегревателя котла ПК-38 Назаровской ГРЭС было предложено использовать новую пневмоимпульсную технологию, основанную на ударном воздействии струи воздуха на золовые отложения. Установка пневмоимпульсной очистки (ПИО) была смонтирована на котле ПК-38 (ст. № 6А), в процессе реальной эксплуатации которого были проведены ее испытания. Система ПИО обеспечила длительную (не менее 3 мес наблюдаемого периода) бесшлаковочную работу ширмовых поверхностей в диапазоне паровых нагрузок 215–235 т/ч при средней нагрузке 225 т/ч при температурах топочного газа перед ширмами 1220–1250°С.

Ключевые слова: поверхности нагрева, шлакование, пневмоимпульсная очистка, ударно-волновое воздействие.

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

УДК 621.18

Влияние катализатора горения на эффективность работы паровых котлов

© 2014 г. Капустянский А.А.

Частное акционерное общество “Техэнерго”¹

e-mail: kapustyansky@gmail.com

Проанализировано состояние энергорынка Украины. Доказана приоритетность использования местного низкосортного твердого топлива путем его факельного сжигания в энергетических котлах ТЭС и ТЭЦ на краткосрочную перспективу. Представлены результаты экспертных испытаний котлов марок ТПП-210А, БКЗ-160-100, БКЗ-210-140, Еп-670-140 и ТГМ-84 с исследованием влияния на эффективность их работы добавления в тракт первичного воздуха катализатора горения. Достигнуты положительные результаты при сжигании антрацитового штыба или его смеси с тощим углем во всем диапазоне рабочих нагрузок исследуемых котлов. Представлена возможность исключить потребление котлами “подсветочного” высокорекреационного топлива (природный газ или мазут) и работать на паровых нагрузках ниже технического минимума при сжигании непроектного угля. Решены вопросы нормализации вытекания жидкого шлака без затягивания леток котлов.

Ключевые слова: паровой котел, твердое топливо, механический недожог, катализатор горения, “подсветка” факела, жидкое шлакоудаление, топочный процесс.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ
В ЭНЕРГЕТИКЕ**

УДК 681.5.015.2

**Упрощение модели сложной теплообменной системы
для решения задачи релейного управления¹**

© 2014 г. Шилин А.А., Букреев В.Г.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет²

e-mail: bukreev@tpu.ru

Предложен метод аппроксимации многомерной модели сложной теплообменной системы с запаздыванием нелинейным дифференциальным уравнением второго порядка. Приведены результаты моделирования, подтверждающие адекватность нелинейных свойств редуцированной и исходной математических моделей, а также их соответствие реальным данным объекта управления.

Ключевые слова: сложные теплообменные системы, линеаризация, структурные преобразования, аппроксимация многомерных моделей.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ
В ЭНЕРГЕТИКЕ**

УДК 620.9.001.5

**Особенности моделирования гидравлических систем
с регулирующими органами**

© 2014 г. Тверской Ю.С., Маршалов Е.Д.

Ивановский государственный энергетический университет¹

e-mail: tverskoy@su.ispu.ru

Рассмотрены теоретические основы моделирования гидравлических систем с регулирующими органами, позволяющими вести учет особенностей (топологии) гидравлической линии. Такое моделирование дает возможность прогнозировать фактические расходные характеристики на ранних стадиях проектирования и своевременно вносить соответствующие коррективы в топологию трубопроводов. Задача моделирования решена с применением методов обобщенного термодинамического анализа. Математические модели гидравлических систем с регулирующими органами доведены до уровня имитационных моделей реального времени, что может быть использовано для постановки вычислительных экспериментов в целях повышения качества работы автоматических систем регулирования.

Ключевые слова: АСУ ТП, регулирующий орган, диагностирование, моделирование, термодинамический анализ, гидравлическая система, расходная характеристика.

ТЕПЛОФИКАЦИЯ И ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ

УДК 656:658.26.001.45

Оптимизация состава измерений для идентификации трубопроводных систем

© 2014 г. Гребнева О.А., Новицкий Н.Н.

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения РАН¹

e-mail: oksana@isem.sei.irk.ru

Рассмотренная в статье задача является составной частью задачи идентификации трубопроводных систем (ТПС), основанной на активном воздействии на условия, определяющие точность оценивания фактических параметров реальных систем, без знания которых, в свою очередь, невозможны эффективные реконструкция, наладка и диспетчерское управление. Разработан алгоритм, особенностью которого является инвариантность к возможным постановкам задачи. Алгоритм обеспечивает получение глобального решения за конечное и ограниченное число шагов.

Ключевые слова: тепловые сети, активная идентификация, математическое моделирование, оптимальное планирование, расстановка измерительных приборов, информационный и экономический критерии.

УДК 622-96.621.311.22

Проблемы удаления диоксида серы при сжигании твердых топлив

© 2014 г. Boyadjiev Chr.B.

Институт инженерной химии Болгарской академии наук¹

e-mail: chr.boyadjiev@gmail.com

Для очистки дымовых газов от диоксида серы широко применяются двухфазные абсорбенты (суспензии CaCO_3). Описан качественный теоретический анализ кинетики абсорбции при использовании двухфазного абсорбента с применением модели конвективно-диффузионного типа. Показано, что низкая концентрация CaCO_3 в каплях резко снижает скорость химической реакции и процесс является практически физической абсорбцией SO_2 в воде. Предложена модель средней концентрации для количественного анализа процесса абсорбции, а также итерационный численный алгоритм для решения системы уравнений.

Ключевые слова: удаление диоксида серы, двухфазный абсорбент, конвективно-диффузионная модель, модель средней концентрации, итерационный численный алгоритм.