

ТЕПЛО- ЭНЕРГЕТИКА

В номере:

- *Сравнительная экологическая оценка установок нетрадиционной энергетики*
- *Экспериментальное определение размеров капель водяного потока, уносимых высокотемпературными газами*
- *Оптимальное распределение нагрузки между источниками тепла на основе модели Курно*

8

2015

ООО МАИК «НАУКА/
ИНТЕРПЕРИОДИКА»



viZaar industrial imaging AG

Оборудование дистанционного визуального контроля

Проталкиваемые камеры



INVIZ REVOLVER 80

INVIZ BIG

Камеры промышленного наблюдения



INVIZ PIPE

INVIZ SNK

Видеоэндоскопы



INVIZ VUMAN RA-Y



VUCAM XO



VISIO PHOENIX

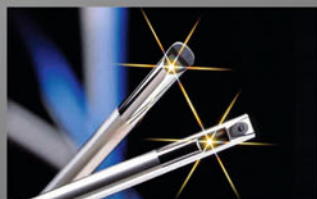


INVIZ DE

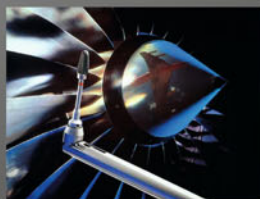


INVIZ UVIN

Оптические эндоскопы



БОРОСКОПЫ



БЛЕНДОСКОПЫ



ФИБРОСКОПЫ



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

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

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 8, 2015

Энергосбережение, новые и возобновляемые источники энергии

Сравнительная экологическая оценка установок нетрадиционной энергетики

Соснина Е.Н., Маслеева О.В., Крюков Е.В. 3

Моделирование теплового режима термоскважин геотермальных теплонасосных систем теплоснабжения. Ч. I. Учет замерзания поровой влаги в грунте

Васильев Г.П., Песков Н.В., Личман В.А., Горнов В.Ф., Колесова М.В. 11

Атомные электростанции

Прогнозирование условий возникновения в первых контурах АЭС с ВВЭР виброакустических резонансов с внешними периодическими нагрузками

Прокураков К.Н., Федоров А.И., Запорожец М.В. 17

Численное моделирование турбулентного течения в дросселе камеры низкого давления МБИР

Яруничев В.А., Орлова Е.Е., Лемехов Ю.В., Шпанский В.А. 24

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

Основные закономерности и действие принципа минимальных затрат энергии при пневмотранспорте и распределении мелкодисперсной пыли в пылесистемах с прямым вдуванием

Лейкин В.З. 28

Определение потерь тепла в окружающую среду на основе комплексного исследования эффективности работы котлов

Любов В.К., Малыгин П.В., Попов А.Н., Попова Е.И. 36

Возможность создания чистой угольной энергетики на основе наноматериалов

Зырянов В.В. 41

Тепло- и массообмен, свойства рабочих тел и материалов

Экспериментальное определение размеров капель водяного потока, уносимых высокотемпературными газами

Волков Р.С., Жданова А.О., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. 50

Металлы и вопросы прочности

Определение критических параметров обтекания пучка труб методом численного эксперимента

Каплунов С.М., Вальес Н.Г., Самольсов А.В., Марчевская О.А. 57

Теплофикация и тепловые сети

Оптимальное распределение нагрузки между источниками тепла на основе модели Курно

Пеньковский А.В., Стенников В.А., Хамисов О.В. 62

Автоматизация и тепловой контроль в энергетике

Алгоритмы сведения материальных и энергетических балансов
при расчетах технико-экономических показателей оборудования ТЭС
на основе метода регуляризации некорректных задач

Ледуховский Г.В., Жуков В.П., Барочкин Е.В., Зимин А.П., Разинков А.А.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, НОВЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Сравнительная экологическая оценка установок нетрадиционной энергетики¹

© 2015 г. Соснина Е.Н., Маслеева О.В., Крюков Е.В.

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева²

e-mail: sosnina@nntu.nnov.ru

Разработана и описана методика комплексной экологической оценки энергоустановок, функционирующих на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Данная методика учитывает не только процесс эксплуатации энергоустановок, но и весь их жизненный цикл – от добычи и транспортировки энергетических ресурсов для производства энергоустановок до процесса их утилизации. Такой подход дает возможность наиболее полно оценить влияние энергоустановок (ЭУ) на окружающую среду и может быть использован при доработке существующих и разработке новых регламентов по применению различных видов ЭУ нетрадиционной энергетики с учетом влияния экологического фактора. Рассмотрено применение методики комплексной экологической оценки на примере мини-ГЭС, ветровой, солнечной, биогазовой энергоустановок и традиционной ЭУ, работающей на природном газе. Сравнение экологического воздействия выявило преимущества использования новых энергетических технологий перед традиционными. Показано, что солнечные ЭУ практически не загрязняют окружающую среду при эксплуатации, однако негативное воздействие на нее процессов добычи полезных ископаемых, изготовления и утилизации используемых материалов, из которых состоят солнечные модули, максимальное. Биогазовые ЭУ занимают второе место по воздействию на окружающую среду из-за значительной массы биогазовой установки и газопоршневого двигателя. Минимальное воздействие на окружающую среду оказывают мини-ГЭС. Расход материальных и энергетических ресурсов на производство традиционных ЭУ меньше, чем для ЭУ на ВИЭ, однако при учете добычи и транспортировки топлива данный показатель увеличивается на несколько порядков. Наибольшее влияние на окружающую среду оказывает процесс эксплуатации традиционных ЭУ.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, энергоустановки, методика, комплексная экологическая оценка, жизненный цикл.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, НОВЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Моделирование теплового режима термоскважин геотермальных теплонасосных систем теплоснабжения.

Ч. I. Учет замерзания поровой влаги в грунте¹

© 2015 г. Васильев Г.П.², Песков Н.В.^{2,3}, Личман В.А.², Горнов В.Ф.², Колесова М.В.²

ОАО ИНСОЛАР-ИНВЕСТ² – Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова³

e-mail: eco-insolar@mail.ru

Представлены математические модели новых блоков программного комплекса INSOLAR.GSHP.12, моделирующего нестационарный тепловой режим геотермальных теплонасосных систем теплоснабжения (ГТСТ). Новые модельные блоки учитывают влияние замерзания поровой влаги в грунте на эффективность эксплуатации ГТСТ. Иллюстрируется необходимость учета процессов замерзания/оттаивания поровой влаги в грунте, содержатся результаты исследований, посвященных открывающимся возможностям создания адаптивных систем ГТСТ с управляемой интенсивностью теплообмена в системе грунт–термоскважина. Программной реализации процессов изменения фазового состояния поровой влаги в грунте предшествовала разработка математического представления теплового режима грунтового массива с замораживанием/оттаиванием поровой влаги, описание которого также приводится. При построении математической модели для учета скрытой теплоты фазового перехода, выделяющейся при замораживании влаги, было введено понятие “эффективная теплопроводность” грунта, которая складывается из собственно коэффициента теплопроводности грунта и дополнительного члена, корректирующего теплопроводность для учета влияния фазового перехода. Для количественной оценки составляющей эффективности теплопроводности грунта, которая отвечает за учет влияния фазового перехода, определен радиус зоны промерзания грунта вокруг термоскважины. Полученные аналитические решения были реализованы в виде блоков программы, и в дальнейшем был проведен “численный эксперимент” по оценке влияния замораживания/оттаивания поровой влаги на тепловой режим грунта. В ходе этого эксперимента было продемонстрировано, что теплопроводности грунта без учета фазовых переходов замораживания/оттаивания поровой влаги и с их учетом могут различаться в 2 раза и более, из чего был сделан вывод о важности учета явлений фазовых переходов при моделировании параметров термоскважин и ГТСТ в целом.

Ключевые слова: геотермальная теплонасосная система теплоснабжения, фазовый переход, поровая влага, термоскважины, теплопроводность, энергетическая эффективность, тепловой режим.

Прогнозирование условий возникновения в первых контурах АЭС с ВВЭР виброакустических резонансов с внешними периодическими нагрузками

© 2015 г. Проскуряков К.Н.¹, Федоров А.И.², Запорожец М.В.¹

Национальный исследовательский университет “Московский энергетический институт”¹ – Филиал ОАО “Концерн Росэнергоатом” Нововоронежская атомная станция²

e-mail: ProskuriakovKN@mpei.ru

Авария на японской атомной электростанции (АЭС) “Фукусима Дайичи”, вызванная землетрясением, показала актуальность совершенствования проектно-конструкторских решений для обеспечения сейсмостойкости АЭС с учетом взаимовлияния динамических процессов в строительных сооружениях и технологических системах АЭС. При резонансном взаимодействии вибраций оборудования АЭС и пульсаций давления теплоносителя происходит аномальный рост динамических напряжений в конструкционных материалах, уменьшается срок службы и увеличивается число внезапных отказов оборудования. В статье представлены результаты расчетно-теоретического и экспериментального обоснования взаимного усиления двух видов внешних периодических нагрузок, вызванных вращением ротора главного циркуляционного насоса (ГЦН) и землетрясением. Приведены данные измерения вибраций на АЭС, которые подтверждают результаты прогноза многократного усиления вибраций в парогенераторе и ГЦН при определенном сочетании теплогидравлических параметров теплоносителя. Показано, что частоты вибраций основного оборудования могут оказаться в полосе частот, соответствующей максимальным значениям в огибающих спектрах отклика, построенных на основе поэтажных акселерограмм. Представлены результаты прогноза условий возникновения виброакустических резонансов с внешними периодическими нагрузками, обосновывающие дополнительное, возникающее при землетрясении, многократное увеличение интенсивности пульсаций давления в парогенераторе на частоте 8.3 Гц и дополнительный многократный рост вибраций ГЦН и холодного коллектора парогенератора на частоте 16.6 Гц. Показано, что при частоте упругих волн в теплоносителе, равной 8.3 Гц, возникает резонанс с частотой вынужденных колебаний, обусловленных вращением ротора ГЦН. Сделан вывод о возможности превышения проектного уровня вибраций оборудования при внешних периодических нагрузках, вызванных землетрясением, и попадании частоты вибраций основного оборудования реакторной установки и частоты упругих волн в полосу частот, соответствующую максимальным значениям огибающих спектров отклика.

Ключевые слова: пульсации давления, вибрации, резонанс, землетрясение, спектр отклика, полоса пропускания, теплогидравлика.

Численное моделирование турбулентного течения в дросселе камеры низкого давления МБИР¹

© 2015 г. Яруничев В.А., Орлова Е.Е., Лемехов Ю.В., Шпанский В.А.

Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники²

e-mail: v.yarunichev@nikiet.ru

Работа посвящена численному расчету турбулентного течения в дросселе лабиринтного типа. Система таких дросселей устанавливается на входе в камеру низкого давления (КНД) реактора МБИР и служит для обеспечения заданных перепада давления и расхода теплоносителя. Цель данной работы – создание верифицированной методики для трехмерного расчета дросселя с применением CFD-моделирования (computational fluid dynamics – вычислительная гидродинамика). Исследования по определению коэффициента гидравлического сопротивления (КГС) дросселя проводились в диапазоне чисел Рейнольдса $Re = 52\,000–136\,000$. Теплоноситель реактора (жидкий натрий) моделировался водопроводной водой. В расчетах использовались высокорейнольдсовые модели турбулентности с пристеночной функцией: $k-\varepsilon$ и RNG $k-\varepsilon$, где k – кинетическая энергия турбулентных пульсаций, ε – скорость диссипации кинетической энергии турбулентности. Полученные результаты показали, что отличие расчетного значения КГС от экспериментального не превышает 10%. Созданная методика может быть применена при определении КГС измененной конструкции дросселя лабиринтного типа. Такой расчет позволит спрогнозировать эксперимент с заданной точностью.

Ключевые слова: реактор, дроссель, коэффициент гидравлического сопротивления, трехмерный расчет, численное моделирование.

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

Основные закономерности и действие принципа минимальных затрат энергии
при пневмотранспорте и распределении мелкодисперсной пыли
в пылесистемах с прямым вдуванием

© 2015 г. Лейкин В.З.¹

Петербургский энергетический институт повышения квалификации¹

e-mail: etmo@peipk.spb.ru

Представлены анализ закономерностей и расчетное исследование процессов низкоконтрированного пневмотранспорта и распределения мелкодисперсной пыли в пылесистемах прямого вдувания котельных установок (КУ). На основе принципа минимума затрат энергии показано, что при высоких (нормативных) скоростях (25–30 м/с, т.е. в 1.5–2.0 раза выше критической скорости) турбулентного потока газа транспортировка мелкодисперсной пыли может осуществляться в виде низкоконтрированного потока и концентрированного (до 30% расхода) тонкого слоя высотой 0.02–0.04 радиуса трубы на стенке пылепровода. Учет этого явления имеет важное значение для обеспечения эффективности работы устройств распределения пыли по горелкам. Определены характеристики процесса, которые подтверждены стендовыми исследованиями на модельных системах и оборудовании пылераспределения нескольких энергоблоков. С учетом полученных данных разработаны методические основы создания высокоэффективных регулируемых распределителей пыли. Представлены результаты промышленных испытаний, подтверждающие выводы проведенного анализа и экспериментальных исследований.

Ключевые слова: низкоконтрированный пневмотранспорт, распределение мелкодисперсной пыли, пылесистема прямого вдувания, котельные установки, минимум затрат энергии, расчетно-аналитическое исследование, устройства распределения пыли, модельные системы и оборудование, промышленные испытания.

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

**Определение потерь тепла в окружающую среду
на основе комплексного исследования эффективности работы котлов¹**

© 2015 г. Любов В.К., Малыгин П.В., Попов А.Н., Попова Е.И.

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова²

e-mail: p.malygin@narfu.ru

Приведена уточненная методика определения потерь тепла в окружающую среду теплогенерирующими установками с учетом состояния их обмуровки и качества тепловой изоляции. Определена доля лучистой составляющей в общем объеме тепловых потерь через наружные поверхности. Приведены результаты экспериментальных исследований теплотехнических и экологических показателей работы водогрейного котла зарубежного производства при сжигании древесных гранул. Сделан вывод о возможности применения подобных водогрейных котлов для теплоснабжения малоэтажных зданий, особенно в условиях Северо-Арктического региона. Представлены результаты теплотехнического исследования древесных гранул и очаговых остатков, выполненных на установках лаборатории термического анализа, а также гранулометрический состав топлива и показатели механической прочности древесных гранул. Определены поля скоростей, расходы дымовых газов и концентрации сажевых частиц методом внешней фильтрации, выполнены исследования состава продуктов сгорания с помощью газоанализатора. Приведены графики изменения температуры наружных поверхностей котла во времени с момента выхода на номинальный режим и потерь тепла в окружающую среду для стационарных котлов.

Ключевые слова: водогрейный котел, древесные гранулы, горелка, потери тепла, эмиссия вредных веществ, коэффициент полезного действия, тепловизионная съемка.

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

Возможность создания чистой угольной энергетики на основе наноматериалов^{1, 2}

© 2015 г. Зырянов В.В.

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН³

e-mail: vladinetta@gmail.com

Предложена концепция распределенной мультигенерации при сжигании гомогенизированных твердых топлив с добавками в воздухе, обогащенном кислородом до 30–50%. Для ее реализации предлагается использовать среднетемпературные мембраны на основе нанокермета δ - $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{Ag}$ в режиме малых давлений и сдувания кислорода очищенным отходящим газом или воздухом. Главным продуктом мультигенерации являются микросферные материалы. Тепло, АС- и ДС-электрическая энергия, очищенные отходящие газы с высоким содержанием CO_2 и летучие элементы, адсорбированные на фильтрах, являются второстепенными продуктами. Для полной очистки отходящих газов, необходимой для реализации распределенной мультигенерации, предложена последовательность пассивных установок. Термоэлектрический модуль на основе нанокомпозита из BiTeSb -скуттерудита эффективен для получения ДС-электроэнергии в микроТЭС.

Ключевые слова: твердое топливо, уголь, механическая активация, сжигание в кислороде, мембрана, наноматериалы, нанокермет, термоэлектрик, распределенная мультигенерация, очистка отходящих газов, микросферы.

ТЕПЛО- И МАССООБМЕН,
СВОЙСТВА РАБОЧИХ ТЕЛ И МАТЕРИАЛОВ

Экспериментальное определение размеров капель водяного потока,
уносимых высокотемпературными газами¹

© 2015 г. Волков Р.С., Жданова А.О., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет²

e-mail: pavelspa@tpu.ru

С использованием высокоскоростной (10^5 кадров в секунду) кросскорреляционной регистрирующей видеоаппаратуры и панорамных оптических методов цифровой “трассерной” визуализации Particle Image Velocimetry и Interferometric Particle Imaging выполнено экспериментальное исследование закономерностей встречного смешения потоков высокотемпературных (1000 К) газов и воды (характерные размеры капель от 0.05 до 0.5 мм). Установлены размеры уносимых высокотемпературными газами капель и скорости их перемещения, принимаемые после смешения с газами (при варьировании скоростей движения последних в диапазоне 0.1–2.5 м/с). Начальные скорости движения капель изменялись от 0.5 до 5 м/с. Установлены два характерных режима движения капель воды во встречном потоке высокотемпературных газов в условиях интенсивных фазовых превращений. Показано, что определяющее воздействие на характер перемещения капель во встречном потоке высокотемпературных газов, а также на интенсивность их испарения оказывают начальные размеры капель жидкости. Получена интегральная зависимость $Re_k = f(Re_r)$, позволяющая прогнозировать режимы и траектории перемещения капель, а также интенсивность фазовых превращений при заранее известных размерах капель и скоростях парокapельного и газового потоков.

Ключевые слова: высокотемпературные газы, полидисперсный водяной поток, капли, унос, испарение, панорамные оптические методы.

Определение критических параметров обтекания пучка труб методом численного эксперимента¹

© 2015 г. Каплунов С.М.², Вальес Н.Г.², Самолысов А.В.², Марчевская О.А.³

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН² –
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана³

e-mail: kaplunov@imash.ru

Статья посвящена созданию и использованию математических моделей наиболее опасных механизмов возбуждения колебаний пучков труб и плохообтекаемых конструкций цилиндрической формы, а также разработке надежных расчетных методов для описания этих моделей, что позволило бы получать оперативные данные для проектирования и дальнейшей эксплуатации рассматриваемых элементов конструкций. Для решения таких задач необходим комплексный подход, основанный на сочетании численных экспериментов на вычислительных машинах и экспериментальных исследований на натуральных объектах. Авторами разработана методика численного исследования гидродинамических сил, возникающих при срывном обтекании потоком, и вызываемых ими колебаний пучков труб. Методика базируется на использовании разработанной математической модели гидроупругого возбуждения колебаний пучка упругих труб внешним поперечным потоком. Задача изучения гидроупругого возбуждения сведена к анализу устойчивости, который проводится при допущении о линейности дестабилизирующих сил для невозмущенного состояния упругих труб. На основании теоретического исследования этой математической модели получено необходимое и достаточное условие устойчивости, выраженное через безразмерные параметры системы (масса, демпфирование, скорость). Разработан алгоритм для численного определения матриц линейной гидродинамической связи конкретных пучков труб. Достоверность алгоритма и составленных по нему программ проверена сравнением результатов тестовых расчетов с банком известных экспериментальных данных. Предложена методика определения матриц линейной гидродинамической связи в пучках, имеющих регулярную компоновку поперечного сечения и большое количество труб, с помощью расчета этих матриц для относительно небольшого, но достаточного фрагмента такого пучка. Определены значения критической скорости теплоносителя в зависимости от безразмерного параметра, включающего в себя логарифмический декремент колебаний и безразмерный массовый параметр пучка.

Ключевые слова: срывное обтекание, математическая модель, гидроупругое возбуждение, метод вязких вихревых доменов, критерии устойчивости.

ТЕПЛОФИКАЦИЯ И ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ

Оптимальное распределение нагрузки между источниками тепла на основе модели Курно¹

© 2015 г. Пеньковский А.В., Стенников В.А., Хамисов О.В.

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН²

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

Рассматривается одна из распространенных моделей организации теплоснабжения потребителей, представленная в формате “Единый закупщик”. В качестве научно-методической основы для ее описания и исследования предлагается использовать принципы теории игр, базовые положения микроэкономики, модели и методы теории гидравлических цепей. Предложенная оригинальная математическая модель теплоснабжающей системы, работающей в условиях организационной структуры “Единый закупщик”, обеспечивает получение решения, удовлетворяющего рыночному равновесию Нэша. Отличительной особенностью разработанной математической модели является то, что она, наряду с традиционно решаемыми задачами в рамках двухсторонних отношений источники тепловой энергии – потребители тепла, учитывает сетевую составляющую с присущими ей физико-техническими свойствами тепловой сети, а также экономические факторы, связанные с затратами на производство и транспортировку тепловой энергии. Такой подход дает возможность определять оптимальные уровни загрузки источников тепловой энергии, обеспечивающие заданный спрос на тепловую энергию со стороны потребителей с учетом получения источниками тепловой энергии максимально возможной прибыли и выполнения при этом условий формирования минимальных затрат на тепловые сети в определенный период времени. Практическая реализация поиска рыночного равновесия рассматривается на примере теплоснабжающей системы с двумя источниками тепловой энергии, работающими на единые тепловые сети. Методический подход к поиску решения представлен в графическом виде и иллюстрирует вычислительный процесс, основанный на пошаговой итерационной процедуре оптимизации уровней загрузки источников тепловой энергии (процедура нащупывания по Курно) с соответствующим расчетом цены тепловой энергии для потребителей.

Ключевые слова: теплоснабжающая система, рынок тепловой энергии, модель “Единый закупщик”, оптимизация, равновесие Курно–Нэша, процесс нащупывания по Курно.

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Алгоритмы сведения материальных и энергетических балансов при расчетах технико-экономических показателей оборудования ТЭС на основе метода регуляризации некорректных задач

© 2015 г. Ледуховский Г.В., Жуков В.П., Барочкин Е.В., Зимин А.П., Разинков А.А.

Ивановский государственный энергетический университет¹

e-mail: lgv83@yandex.ru

На основе математического аппарата регуляризации Тихонова сформулирована задача сведения материальных и энергетических балансов по данным, получаемым программно-техническими комплексами ТЭС от систем технического учета, с точностью, обусловленной метрологическими характеристиками исправных поверенных приборов. Предложена базирующаяся на теории графов матричная модель материальных и энергетических потоков в системах сложной структуры, позволяющая формализовать решение конкретной практической задачи на этапе формирования модели системы. При формулировании задачи сведения материальных и энергетических балансов учтены различная степень достоверности определения исходных значений расходов теплоносителей и их теплофизических параметров, а также технологические ограничения, выражаемые балансовыми соотношениями, по массе и энергии для отдельных узлов системы или любой их совокупности. Предложены аналитические и численные решения задачи в различных вариантах ее постановки, различающихся принятыми допущениями и учитываемыми ограничениями. Показано влияние методики сведения материальных и энергетических балансов по результатам измерения параметров потоков питательной воды и пара в тепловой схеме теплоэлектроцентрали на точность расчета удельных расходов топлива на отпуск тепловой и электрической энергии. Выявлено, что наиболее зависимыми при этом являются номинальные значения показателей и связанные с ними экономия или перерасход топлива. При их расчете с использованием различных методик сведения балансов возможно появление ошибки, сопоставимой с утвержденным нормативно-технической документацией по топливоиспользованию резервом тепловой экономичности электростанции. По результатам работы обоснован выбор варианта постановки задачи сведения материальных и энергетических балансов и метода ее решения, реализация которых в реальных программно-технических комплексах ТЭС обеспечивает повышение объективности расчета фактических показателей тепловой экономичности оборудования.

Ключевые слова: тепловая экономичность ТЭС, система технического учета, материальный баланс, энергетический баланс, некорректная задача, метод регуляризации.