

# ТЕПЛО- ЭНЕРГЕТИКА

## В номере:

- В журнале “Теплоэнергетика” – новая рубрика!
- Тенденции и проблемы развития электрической части электростанций
- Особенности комбинированного производства электроэнергии, тепла и холода на базе ПГУ
- Автоматизированные системы непрерывного контроля и учета выбросов вредных веществ ТЭС в атмосферу

**3** **2015**

---

ООО МАИК «НАУКА/  
ИНТЕРПЕРИОДИКА»

# ВИДЕОЭНДОСКОП viZaar X0

Портативный видеоэндоскоп с сенсорным дисплеем  
и современным пользовательским интерфейсом



**Артикуляция 130°  
в любом направлении**

90° боковое  
направление обзора  
100° поле обзора

130°  
Артикуляция

100° поле обзора

45° поле обзора

0° прямое направление  
обзора

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

- Современный сенсорный дисплей
- Документирование результатов контроля
- Фото снимки во время записи видео
- Удобный файл менеджер
- Ретроспектива записи видео изображения
- 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](mailto:info@vizaar.ru)  
[www.vizaar.ru](http://www.vizaar.ru)

## **КЭР-ИНЖИНИРИНГ** группа компаний



**КЭР**  
КОМПЛЕКСНОЕ  
ЭНЕРГОРАЗВИТИЕ

Комплексное проектирование  
в энергетике и промышленности

Комплексная автоматизация производства

Энерготехнологический аудит предприятий

Экспертиза промышленной безопасности,  
диагностика и испытания

Пуско-наладка, режимная наладка,  
сервисное обслуживание, ремонт энерго-  
и теплотехнического оборудования, КИПиА, ОПС и др.

Производство: программно-технических комплексов,  
шкафов управления, преобразователей частоты, датчиков  
давления, насосных станций, технологических карт,  
информационных знаков и плакатов по охране труда и др.

Повышение квалификации специалистов в области  
тепловой автоматики энергопредприятий



«КЭР-Инжиниринг», группа компаний  
420080, г. Казань, пр. Ямашева, 10, а/я 83  
тел.: +7 (843) 557-62-05  
факс: +7 (843) 557-62-07  
kereng@ker-eng.com

[www.ker-eng.com](http://www.ker-eng.com)



# СОДЕРЖАНИЕ

---

---

Номер 3, 2015

---

---

## Электрическая часть тепловых и атомных электростанций

В журнале “Теплоэнергетика” – новая рубрика!

*Клименко А.В.* 3

Тенденции и проблемы развития электрической части электростанций

*Гусев Ю.П.* 4

---

## Паротурбинные, газотурбинные, парогазовые установки и их вспомогательное оборудование

Особенности комбинированного производства электроэнергии, тепла и холода  
на базе парогазовой установки

*Клименко А.В., Агабабов В.С., Рогова А.А., Тидеман П.А.* 11

Модернизация сепараторов-пароперегревателей СПП-500-1 турбоустановок  
Ленинградской АЭС

*Легкоступова В.В., Судаков А.В.* 16

---

## Тепло- и массообмен, свойства рабочих тел и материалов

Исследование теплоотдачи и гидравлического сопротивления в кольцевом канале  
с интенсификаторами теплообмена

*Болтенко Э.А., Варава А.Н., Дедов А.В., Захаренков А.В.,  
Комов А.Т., Малаховский С.А.* 22

Особенности теплообмена на наружной поверхности дымовых труб в условиях  
ветрового воздействия

*Манеев А.П., Терехов В.И.* 29

Исследование эффективности теплообмена в компланарных каналах

*Пелевин Ф.В., Ярославцев Н.Л., Викулин А.В.,  
Орлин С.А., Пономарев А.В.* 35

Гетерогенные механизмы образования капель при распылении перегретой жидкости  
струйной форсункой

*Сорокин В.В.* 42

---

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

Модернизация котлов КВГМ-100-150 на циклонно-вихревое сжигание газа

*Штым К.А., Соловьева Т.А.* 48

Моделирование топочных процессов при сжигании распыленного угля в вихревой топке  
усовершенствованной конструкции. Часть 2. Горение бурого угля КАБ в вихревой топке

*Красинский Д.В., Саломатов В.В., Ануфриев И.С.,  
Шарытов О.В., Шадрин Е.Ю., Аникин Ю.А.* 54

Исследование теплотехнических и экологических характеристик процесса горения  
газообразных топлив

*Веткин А.В., Сурис А.Л.* 62

---

## Охрана окружающей среды

Автоматизированные системы непрерывного контроля и учета выбросов вредных веществ ТЭС в атмосферу

*Росляков П.В., Ионкин И.Л., Кондратьева О.Е.,  
Боровкова А.М., Серегин В.А., Морозов И.В.*

67

## Металлы и вопросы прочности

Оптимизация планирования эксплуатационного контроля локальной эрозии-коррозии элементов трубопроводов II контура энергоблоков Нововоронежской АЭС с ВВЭР-440

*Томаров Г.В., Поваров В.П., Шипков А.А., Громов А.Ф., Буданов В.А., Голубева Т.Н.*

75

*Редакция и редколлегия журнала “Теплоэнергетика”  
сердечно поздравляют Филиппова С.П., Дильман М.Д., Ионова М.С.  
с присуждением Премии Международной академической компании  
“Наука/Интерпериодика” за лучшую публикацию 2013 г. и желают им  
дальнейших творческих успехов на благо российской энергетики,  
а также плодотворного сотрудничества с редакцией журнала!*

---

Сдано в набор 26.12.2012 г.	Подписано к печати 13.03.2013 г.	Дата выхода в свет @@@@	Формат 60 × 88 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>
Цифровая печать	Усл. печ. л. 15.0	Усл. кр.-отт. 2.9 тыс.	Уч.-изд. л. 15.0
	Тираж 190 экз.	Зак. 1117	Бум. л. 7.5
		Цена свободная	

---

Учредители: Российская академия наук,  
Российское научно-техническое общество энергетиков и электротехников

---

Издатель: МАИК “НАУКА/ИНТЕРПЕРИОДИКА”, 117997 Москва, Профсоюзная ул., 90  
Отпечатано в ППП “Типография “Наука”, 121099 Москва, Шубинский пер., 6

---

---

**ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ТЕПЛОВЫХ  
И АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

---

---

**В журнале “Теплоэнергетика” — новая рубрика!**

DOI: 10.1134/S0040363615030029

Уважаемые коллеги!

Представленной далее статьей журнал “Теплоэнергетика” открывает новую рубрику — “Электрическая часть тепловых и атомных станций”. По мнению редколлегии, подобное расширение традиционной для журнала тематики позволит более системно рассматривать такие объекты, как тепловые и атомные станции, в которых теплотехническая и электрическая части взаимосвязаны и неразрывно связаны.

Предполагается, что в рамках новой рубрики будет публиковаться информация об инновационном электротехническом оборудовании, позволяющем получать синергетический эффект при совместной работе с классическим теплотехническим оборудованием и с новыми технологическими установками, использующимися на современных электростанциях. Будут освещаться вопросы диагностики технического состояния оборудования, продления сроков его службы.

Планируется публикация статей, отражающих результаты анализа режимов работы основного электротехнического оборудования электростанций, с оценкой влияния этих режимов на эффективность и надежность работы, межремонтный ресурс турбин, насосов и других механизмов собственных нужд станций. В статьях будут также рассмотрены такие вопросы, как влияние на технологическое оборудование коротких замыканий в примыкающих к станциям электрических сетях, последствия потери статической и электродинамической устойчивости энергосистем.

Для читателей журнала будут интересны новые идеи и разработки в области противоаварийной автоматики электростанций, организации совместного регулирования турбин и возбуждения генераторов, организации релейной защиты и

электроавтоматики электротехнического оборудования, влияние их на технологическое оборудование.

В последние годы на электростанциях все шире используются компьютерные технологии и микропроцессорные устройства. По сравнению с ранее доминировавшими электромеханическими устройствами микропроцессорная техника более требовательна к качеству электропитания и электромагнитной обстановке. На страницах журнала “Теплоэнергетика” предполагается предоставить место для статей, направленных на решение проблем устойчивой работы слаботочной техники в условиях взаимодействия с мощными электрическими и магнитными полями создаваемыми электротехническим оборудованием станций. Одним из аспектов проблемы электромагнитной совместимости слаботочной техники и сильноточного оборудования, проблемы защиты от высокочастотных и импульсных помех, является применение на электростанциях новых типов заземляющих устройств, контуров заземления, экранирования вторичных цепей, чему также будет уделяться внимание в новой рубрике журнала.

Предполагается также на страницах журнала обсуждать действующие и разрабатываемые нормативно-технические документы, касающиеся электрической части тепловых и атомных станций.

Редколлегия журнала приглашает специалистов принять участие в подготовке статей для журнала, отражающих результаты научных исследований, актуальные вопросы эксплуатации и проектирования электрической части станций.

Главный редактор журнала “Теплоэнергетика”  
член-корр. РАН А.В. Клименко

---

---

## ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ТЕПЛОВЫХ И АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

---

---

### Тенденции и проблемы развития электрической части электростанций

© 2015 г. Гусев Ю.П.

Национальный исследовательский университет “Московский энергетический институт”<sup>1</sup>

e-mail: GusevYP@mpei.ru

Рассмотрены некоторые проблемы развития электрической части современных атомных и тепловых станций, обусловленные использованием нового технологического и электротехнического оборудования: газотурбинных установок (ГТУ), силовой преобразовательной техники, микропроцессорных интеллектуальных устройств в релейных защитах и систем автоматизированного управления. Отмечено, что частота отказов электротехнического оборудования на отечественных и зарубежных электростанциях растет. Техническое перевооружение и инновационное развитие электростанций требуют существенного расширения научно-исследовательских работ в области электрической части электростанций и научного сопровождения процессов внедрения инновационного оборудования. В качестве одной из основных причин увеличения отказов электрооборудования указывается недостаточная совместимость динамических характеристик его компонентов, обусловленная отсутствием или устареванием нормативно-технической документации, регламентирующей проектные решения и эксплуатацию силового электрооборудования, в состав которого интегрированы электронные и микропроцессорные устройства регулирования, управления и защиты. Предложено восстановить существовавшую в 70-е годы прошлого века систему разработки новых и обновления действующих отраслевых нормативно-технических документов, основанную на закреплении на длительные сроки за вузами и ведущими проектными организациями ответственности за научно-техническое сопровождение процессов инновационного развития компонентов и систем, образующих электрическую часть электростанций. Это позволит снижать аварийность электрооборудования, неуклонно повышать конкурентоспособность отечественной электроэнергетики и энергоэффективность генерирующих компаний.

**Ключевые слова:** техническая политика, аварийность электрооборудования, короткие замыкания в электрической сети, электродинамическая стойкость турбогенераторов, полупроводниковые преобразовательные устройства в системе собственных нужд электростанций, электромагнитная совместимость микропроцессорных интеллектуальных устройств релейной защиты и систем автоматизированного управления.

---

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

---

### Особенности комбинированного производства электроэнергии, тепла и холода на базе парогазовой установки<sup>1</sup>

© 2015 г. Клименко А.В.<sup>2</sup>, Агабабов В.С.<sup>3</sup>, Рогова А.А.<sup>3</sup>, Тидеман П.А.<sup>3</sup>

Национальный исследовательский университет “Московский энергетический институт”<sup>2</sup> –  
ОАО “Всероссийский теплотехнический институт”<sup>3</sup>

e-mail: agababovvs@ya.ru

Разработаны структурные схемы тригенерационных комплексов на базе ПГУ-КЭС и ПГУ-ТЭЦ для одновременной выработки электроэнергии, потоков тепла и холода. Рассмотрены два типа режимов их работы: с раздельным и совмещенным получением потоков тепла и холода. В первом режиме используются два агрегата (термотрансформатора) различных типов, один из которых предназначен для генерации тепла, другой – для генерации холода. Во втором режиме одновременная выработка потоков тепла и холода осуществляется в одном термотрансформаторе. Приведены результаты термодинамического анализа и расчетов технико-экономической эффективности разработанных тригенерационных комплексов при совмещенном с термотрансформаторами парокompрессионного типа производстве тепла и холода.

**Ключевые слова:** парогазовые установки, термотрансформаторы, тригенерационные комплексы, раздельная и совмещенная генерации потоков тепла и холода.



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

### Модернизация сепараторов-пароперегревателей СПП-500-1 турбоустановок Ленинградской АЭС

© 2015 г. Легкоступова В.В., Судаков А.В.

Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова<sup>1</sup>  
e-mail: atom24@ckti.ru

Рассмотрены особенности существующих конструкций сепараторов-пароперегревателей (СПП) и опыт их эксплуатации на действующих АЭС. Описаны основные причины повреждения и выхода из строя сепараторов-пароперегревателей: неравномерное распределение потока влажного пара по сепарационным блокам, пронос влаги через сепаратор (иногда и через пароперегреватель), что может приводить к возникновению дополнительных термических напряжений и, следовательно, к термоусталостному повреждению или коррозионному растрескиванию металла под напряжением. Выход из работы СПП снижает эффективность турбинной установки в целом и может отрицательно сказаться на надежности лопаток последних ступеней цилиндра низкого давления (ЦНД). К моменту исчерпания проектного срока службы СПП-500-1 на энергоблоках с РБМК-1000 количество повреждений как сепарационной части, так и труб разводки и поверхности нагрева в отдельных аппаратах было настолько велико, что произошло значительное снижение эффективности СПП и экономичности турбоустановки в целом. Описана конструкция модернизированной сепарационной части СПП-500-1 Ленинградской АЭС и показана ее эффективность, которая была подтверждена испытаниями: во-первых, удалось снизить неравномерность влажности по периметру и высоте парового пространства за сепарационными блоками и довести ее до значений, близких к проектным, во-вторых, не обнаружено заметного влияния на влажность индивидуальных особенностей сепарационных блоков. Даны рекомендации по созданию перспективных конструкций сепараторов-пароперегревателей: компоновка СПП с размещением сепаратора под пароперегревателем или сбоку от него; осевой ввод влажного пара для обеспечения равномерной его раздачи по сепарационным блокам; входные камеры с развитой системой предсепарации, а также устройствами для равномерного распределения потоков пара в сепараторе; раздельная компоновка сепаратора и пароперегревателя; трубные пучки из труб с поперечным оребрением для поперечного обтекания труб паром.

**Ключевые слова:** сепаратор-пароперегреватель, турбина, модернизация, надежность, эффективность, влажность.

---

---

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

---

---

**Исследование теплоотдачи и гидравлического сопротивления в кольцевом канале с интенсификаторами теплообмена<sup>1</sup>**

© 2015 г. Болтенко Э.А., Варава А.Н., Дедов А.В., Захаренков А.В., Комов А.Т., Малаховский С.А.

Национальный исследовательский университет “Московский энергетический институт”<sup>2</sup>

e-mail: Zaharenkov.aleks@mail.ru

Представлены результаты систематизированных исследований теплоотдачи и гидравлического сопротивления при течении воды в кольцевом канале с использованием эффективного метода интенсификации теплообмена на выпуклой обогреваемой поверхности. Приводятся основные технические характеристики теплогидравлического стенда, краткое описание систем управления, контроля и измерения физических параметров, их фиксации, а также хранения, обработки первичных экспериментальных данных. Описаны рабочий участок, метод интенсификации, основанный на организации взаимодействующих закрученных потоков, геометрические характеристики интенсификаторов, их принципиальная схема и технология монтажа. Экспериментальные данные получены в широком диапазоне параметров потока теплоносителя в условиях однофазной конвекции при использовании интенсификаторов различной формы. Тестовые измерения, проведенные на гладком кольцевом канале, показали хорошее согласие с классическими соотношениями как по теплоотдаче, так и по гидравлическому сопротивлению, тем самым подтвердив надежность опытных данных. Экспериментально получено значительное увеличение эффективности теплосъема на выпуклой обогреваемой поверхности. Значение коэффициента теплоотдачи в 1.8 раза выше значения этого показателя для гладких кольцевых каналов. Установлена область значений геометрических характеристик интенсификатора и чисел Рейнольдса, для которых рост теплоотдачи превалирует над ростом гидравлического сопротивления. Показано, что максимумы теплоотдачи и гидравлического сопротивления наблюдаются при вполне определенных значениях геометрических характеристик интенсификатора. Первичные экспериментальные данные обработаны и представлены в виде зависимости числа Нуссельта от числа Рейнольдса для различных значений относительной высоты ребра интенсификатора  $\dot{H}$ . Найдено такое значение  $\dot{H}$ , при котором теплоотдача максимальна. Эксперименты проведены в диапазоне давлений  $p = 3.0\text{--}10.0$  МПа и при постоянной температуре жидкости на входе в рабочий участок  $100^\circ\text{C}$ . Изучено влияние шага закрутки периферийного потока жидкости на теплоотдачу и гидравлическое сопротивление. Получено эмпирическое соотношение, описывающее зависимость теплоотдачи от геометрических характеристик интенсификатора.

*Ключевые слова:* интенсификация теплообмена, закрученный и транзитный потоки, кольцевой канал, однофазная конвекция, экспериментальные данные, потери давления, эффективность теплосъема.

---

---

ТЕПЛО- И МАССООБМЕН,  
СВОЙСТВА РАБОЧИХ ТЕЛ И МАТЕРИАЛОВ

---

---

Особенности теплообмена на наружной поверхности дымовых труб  
в условиях ветрового воздействия<sup>1</sup>

© 2015 г. Манеев А.П.<sup>2</sup>, Терехов В.И.<sup>3</sup>

ООО РЭТ<sup>2</sup> – Институт теплофизики СО РАН<sup>3</sup>

e-mail: rembex@mail.ru

Представлены результаты натурального эксперимента по изучению теплообмена на поверхности железобетонной дымовой трубы при ветровом воздействии и числе Рейнольдса  $Re = 1.05 \times 10^7$ . Сравнение результатов эксперимента с опытными данными, полученными ранее другими исследователями в лабораторных условиях при  $Re < 4 \times 10^6$ , показало существенные различия в распределении локальных коэффициентов теплоотдачи. Рассмотрены факторы, влияющие на теплообмен в натуральных условиях, и возможные причины их отличия от факторов, имеющих место при лабораторных исследованиях. При этом средние по образующей трубы значения коэффициента теплоотдачи удовлетворительно согласуются с результатами экспериментов, полученными путем экстраполяции данных в область более высоких чисел Рейнольдса для круглого гладкого цилиндра при транскритическом режиме обтекания. Данные, полученные в настоящей работе, позволяют проводить оценку средних значений коэффициента теплоотдачи на поверхности дымовых труб в потоке атмосферного воздуха при  $4 \times 10^6 < Re < 10^7$ .

**Ключевые слова:** дымовая труба, ветер, транскритический режим, теплообмен, тепловизионное обследование.

---

---

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

---

---

## Исследование эффективности теплообмена в компланарных каналах

© 2015 г. Пелевин Ф.В.<sup>1</sup>, Ярославцев Н.Л.<sup>1</sup>, Викулин А.В.<sup>1</sup>, Орлин С.А.<sup>2</sup>, Пономарев А.В.<sup>2</sup>

Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского<sup>1</sup> –  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана<sup>2</sup>

e-mail: pelfv@rambler.ru

Повышение эффективности теплообмена в теплообменных устройствах является актуальной задачей. В работе экспериментально исследованы теплообмен и гидравлическое сопротивление в трактах с компланарными каналами различной формы. Установлено, что основными параметрами, влияющими на интенсификацию теплообмена, являются угол взаимного перекрещивания компланарных каналов, коэффициент оребрения и размеры компланарных каналов. Использование компланарных каналов особенно эффективно при значениях числа Рейнольдса  $Re = 10^3 - 10^4$ . Коэффициент теплоотдачи в компланарных каналах по сравнению с таковым для гладкого канала может быть повышен в 3–10 раз. С увеличением суммарного угла взаимного перекрещивания каналов коэффициент гидравлического сопротивления  $\xi$  также возрастает. Установлено, что с уменьшением эквивалентного гидравлического диаметра компланарного канала до 0.5–1.0 мм эффективность теплоотдачи в плоских трактах с компланарными каналами падает, тогда как при установке в них микротурбулизаторов потока эффективность теплоотдачи повышается. Показано, что в цилиндрических трактах с компланарными каналами увеличение высоты ребра не влияет на вихреобразование в каналах, однако при этом растет коэффициент оребрения, что приводит к повышению теплоотдачи.

**Ключевые слова:** компланарные каналы, интенсификация теплообмена, абсолютные размеры каналов, эффективность теплообмена.

---

---

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

---

---

**Гетерогенные механизмы образования капель  
при распылении перегретой жидкости струйной форсункой**

© 2015 г. Сорокин В.В.

Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны Национальной академии наук Беларуси<sup>1</sup>

e-mail: sorokin.npp@gmail.com

**Обсуждаются эффекты увеличения угла раскрытия струи, уменьшения размеров капель и формирования бимодального спектра капель при распылении перегретой жидкости струйной форсункой. Механизмом образования меньшей по размерам фракции принята конденсация, большей – распыление, усиленное перегревом. Получены формулы для расчета диаметра капли и угла раскрытия струи. Продемонстрировано удовлетворительное соответствие рассчитанных и определенных экспериментально размеров капель.**

**Ключевые слова:** форсунка, перегретая вода, центры конденсации, струя, неустойчивость, размер капли, угол расширения струи, расчеты.

---

---

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

---

---

## Модернизация котлов КВГМ-100-150 на циклонно-вихревое сжигание газа

© 2015 г. Штым К.А., Соловьева Т.А.

Дальневосточный федеральный университет<sup>1</sup>

e-mail: kot\_18@mail.ru

Представлена характеристика источников теплоснабжения г. Владивостока, на которых в 2011 г. проводилась реконструкция котлов с переводом на сжигание газа. Приведена историческая справка об опыте модернизации котлов с использованием циклонно-вихревой технологии сжигания мазута и газа. Показаны этапы совершенствования конструкции предтопок и котлов. На примере котлов БКЗ-75-16 и БКЗ-120-100 продемонстрированы принципиальные отличия вихревого способа сжигания топлив от горелочного. Представлена информация по котлу КВГМ-100-150 МЦ с циклонно-вихревым сжиганием газа и мазута. На математической модели, разработанной для предтопка мощностью 65 МВт, даны детальные пояснения к особенностям смесеобразования в камере сгорания предтопка, обеснывающие условия и места ввода топлива. Практический результат закреплен данными испытаний, проведенных на действующем оборудовании. Для повышения эффективности использования топлива на шести модернизированных котлах КВГМ-100-150 МЦ выполнена реконструкция конвективной части и оптимизирована схема циркуляции воды. Сравнительный анализ расчетных и эксплуатационных характеристик показал прирост КПД. Использование циклонно-вихревой технологии позволило повысить эффективность котла КВГМ-100-150 и улучшить его экологические показатели.

**Ключевые слова:** газ, вихревое сжигание, водогрейный котел, циклонно-вихревой предтопок, математическое моделирование, эффективность котла, схема циркуляции котла.



---

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

---

**Моделирование топочных процессов при сжигании распыленного угля  
в вихревой топке усовершенствованной конструкции.  
Часть 2. Горение бурого угля КАБ в вихревой топке<sup>1</sup>**

© 2015 г. Красинский Д.В.<sup>2</sup>, Саломатов В.В.<sup>2,3</sup>, Ануфриев И.С.<sup>2</sup>, Шарыпов О.В.<sup>2,3</sup>,  
Шадрин Е.Ю.<sup>3</sup>, Аникин Ю.А.<sup>2</sup>

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН<sup>2</sup> – Новосибирский национальный  
исследовательский государственный университет<sup>3</sup>

e-mail: dkr@itp.nsc.ru

Продолжено описание результатов исследования усовершенствованной вихревой топки парового котла, для полноразмерной конфигурации которой выполнено численное моделирование трехмерного турбулентного двухфазного реагирующего течения с учетом всех основных процессов тепломассопереноса при факельном сжигании распыленного березовского бурого угля Канско-Ачинского бассейна (КАБ). Получены детальные распределения полей скорости, температуры, концентрации, теплового потока в различных сечениях усовершенствованной вихревой топки. Приведены ее основные теплотехнические и экологические характеристики.

**Ключевые слова:** вихревая топка парового котла, численное моделирование, факельное сжигание угля.

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

### Исследование теплотехнических и экологических характеристик процесса горения газообразных топлив

© 2015 г. Веткин А.В., Сурис А.Л.

Московский государственный машиностроительный университет<sup>1</sup>

e-mail: avetkin@mail.ru

Выполнены численные исследования некоторых теплотехнических и экологических характеристик процесса горения газообразных топлив, используемых в настоящее время в трубчатых печах нефтеперерабатывающих заводов. Показано влияние на эти характеристики состава топлива и проанализированы возможные последствия замены природного газа на другие виды топлива. Для сравнения рассматривались метан, этан, пропан, бутан, пропилен и водород, которые в большинстве случаев входят в состав топлива, сжигаемого в печах. Исследовалось влияние вида топлива и связанных с ним температуры горения и излучательной способности продуктов, температуры стенок камеры сгорания, средней длины пути луча и тепловыделения на изменение радиационного теплового потока в радиантной камере печей. Анализировалось влияние характеристик факела, которые определяются наличием зон диффузионного горения, формируемых современными горелками, используемыми в печах для снижения образования оксидов азота. Изучалось также влияние вида топлива на равновесную концентрацию NO. Исследования проводились как при произвольно задаваемых температурах газа, так и при эффективных температурах, зависящих от адиабатической температуры горения и от температуры на выходе из радиантной камеры и определяемых на основании решения системы уравнений при различных теплонапряженностях камеры сгорания.

**Ключевые слова:** газообразное топливо, диффузионный факел, радиационный теплообмен, тепловой поток, оксиды азота, трубчатые печи, излучательная способность, эффективная температура.

---

---

**ОХРАНА  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

---

---

## Автоматизированные системы непрерывного контроля и учета выбросов вредных веществ ТЭС в атмосферу

© 2015 г. Росляков П.В., Ионкин И.Л., Кондратьева О.Е., Боровкова А.М.,  
Серегин В.А., Морозов И.В.

Национальный исследовательский университет “Московский энергетический институт”<sup>1</sup>

e-mail: RoslyakovPV@mpei.ru

**Экологический и производственный мониторинги выбросов вредных веществ ТЭС – актуальнейшая задача сегодняшнего дня. Производственный мониторинг предполагает контроль выбросов вредных веществ и оптимизацию технологических процессов сжигания топлива на ТЭС. Экологический мониторинг – это система анализа качества атмосферного воздуха на местности с учетом доли отдельных источников вредных веществ в загрязнении атмосферного воздуха района. Работы по созданию системы производственного мониторинга ведутся в НИУ МЭИ на базе ТЭЦ МЭИ, а станции экологического мониторинга установлены в районе Лефортово, где расположена ТЭЦ.**

**Ключевые слова:** система непрерывного контроля и мониторинга выбросов (СНКиМВ), станция экологического мониторинга, газоаналитическая система, режимное и контрольное сечения котла, ТЭЦ МЭИ.

---

---

## МЕТАЛЛЫ И ВОПРОСЫ ПРОЧНОСТИ

---

---

### Оптимизация планирования эксплуатационного контроля локальной эрозии-коррозии элементов трубопроводов II контура энергоблоков Нововоронежской АЭС с ВВЭР-440

© 2015 г. Томаров Г.В.<sup>1</sup>, Поваров В.П.<sup>2</sup>, Шипков А.А.<sup>1</sup>, Громов А.Ф.<sup>2</sup>, Буданов В.А.<sup>3</sup>, Голубева Т.Н.<sup>1</sup>  
ЗАО “Геотерм-ЭМ”<sup>1</sup> – Филиал ОАО “Концерн Росэнергоатом” Нововоронежская атомная станция<sup>2</sup> –  
Ивановский государственный энергетический университет<sup>3</sup>

e-mail: geotherm@gmail.com

Рассматриваются вопросы эффективного использования информационно-аналитического комплекса по проблеме эрозии-коррозии при организации эксплуатационного контроля металла элементов трубопроводов II контура энергоблоков Нововоронежской АЭС (НВАЭС) с ВВЭР-440. Обсуждаются принципы формирования выборок элементов трубопроводов при планировании мероприятий ультразвуковой толщинометрии (УЗТ), обеспечивающие своевременное обнаружение эрозионно-коррозионных утонений металла наряду с уменьшением общего количества измерений по конденсатно-питательному тракту (КПТ).

**Ключевые слова:** Нововоронежская АЭС, ВВЭР-440, трубопроводы, II контур, эрозия-коррозия, конденсатно-питательный тракт.