

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 6, 2014

Энергосбережение, новые и возобновляемые источники энергии

От редакции журнала “Теплоэнергетика”	3
Состояние развития возобновляемых источников энергии в мире и в России	
<i>Фортков В.Е., Попель О.С.</i>	4
Эффективность производства биодизеля из микроводорослей	
<i>Чернова Н.И., Киселева С.В., Попель О.С.</i>	14
Оборудование геотермального энергоблока с бинарным циклом на Паужетской ГеоЭС	
<i>Томаров Г.В., Никольский А.И., Семенов В.Н., Шипков А.А.</i>	22
Современное состояние и перспективы освоения геотермальных ресурсов Северокавказского региона	
<i>Алхасов А.Б., Алхасова Д.А.</i>	28

Паротурбинные, газотурбинные, парогазовые установки и их вспомогательное оборудование

Модернизация и продление срока эксплуатации паротурбинных электростанций в Восточной Европе и в России	
<i>Курец М., Jenikejew E., Hiss F.</i>	35
Опыт разработки и результаты испытаний оборудования системы регенерации и ПСПП энергоблока № 4 Калининской АЭС	
<i>Трифонов Н.Н., Сухоруков Ю.Г., Ермолов В.Ф., Святкин Ф.А., Николаенкова Е.К., Синцова Т.Г., Григорьева Е.Б., Есин С.Б., Уханова М.Г., Голубев Е.А., Бик С.П., Тренькин В.Б.</i>	44

Водоподготовка и водно-химический режим

Осадкообразование в рулонных обратноосмотических и нанофильтрационных элементах и способы его предотвращения	
<i>Громов С.Л.</i>	49

Металлы и вопросы прочности

Влияние кратковременной прочности на чувствительность к надрезу и трещиностойкость металла роторов в условиях ползучести	
<i>Гладштейн В.И.</i>	59

Тепло- и массообмен, свойства рабочих тел и материалов

Особенности внешнего тепло- и массообмена в виброаппаратах для регенерации отработавшего топлива АЭС	
<i>Сапожников Б.Г., Горбунова А.М., Зеленкова Ю.О., Сапожников Г.Б., Ширяева Н.П.</i>	66

К защите диссертаций

Использование программных средств для расчета эрозионно-коррозионного износа оборудования и трубопроводов АЭС	
<i>Нафтали М.М. (диссертант), Бараненко В.И., Гулина О.М.</i>	73

От редакции журнала “Теплоэнергетика”

DOI: 10.1134/S0040363614060095

22–23 октября 2013 г. по инициативе Российской академии наук при поддержке ОАО “РусГидро”, Российского фонда фундаментальных исследований, Регионального бюро по науке и культуре ЮНЕСКО, Международной финансовой корпорации (IFC), Российской венчурной компании (РВК), Комитета по энергетике Государственной думы и других организаций в Москве состоялся Первый Международный форум “Возобновляемая энергетика. Пути повышения энергетической и экономической эффективности”, REENFOR–2013.

В Форуме приняли участие более 400 представителей организаций науки, образования, бизнеса, федеральных и региональных органов управления, международных организаций. Среди участников около 60 экспертов из 20 зарубежных стран, более 150 российских и зарубежных молодых специалистов, студентов и аспирантов.

Форум проведен на основе Российских технологических платформ “Перспективные технологии возобновляемой энергетики”, “Малая распределенная энергетика” и “Экологически чистая тепловая энергетика высокой эффективности”, при непосредственном участии которых формируется отечественная государственная политика в области энергетики, в том числе с учетом вовлечения в нее экологически чистых возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

В рамках Форума заключено восемь соглашений об установлении научно-технического и коммерческого сотрудничества между участниками Форума, в том числе международного. Проведено активное обсуждение проектов, предлагаемых к

реализации в рамках Федеральных целевых программ Министерства образования и науки РФ “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России” и “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” на 2014–2020 гг.

Успешное проведение Форума показало, что в стране создана эффективная площадка для квалифицированного объективного обсуждения научно-технических проблем, обмена опытом и разработки научно обоснованных рекомендаций для органов исполнительной и законодательной власти, энергетических компаний и бизнеса по приоритетным направлениям развития возобновляемой энергетики в России с учетом результатов российских и зарубежных исследований и разработок в данной области, лучших образцов практического применения ВИЭ в стране и в мире.

Журнал “Теплоэнергетика” выступил в качестве информационного партнера Форума и планирует опубликовать ряд статей, подготовленных по материалам наиболее интересных докладов российских и зарубежных экспертов. В настоящем номере представлена статья Председателя Программного комитета Форума Президента РАН академика В.Е. Фортова и Председателя Организационного комитета Форума Председателя научного совета РАН по нетрадиционным возобновляемым источникам энергии доктора технических наук, профессора О.С. Попеля “Состояние развития возобновляемых источников энергии в мире и в России”, подготовленная по материалам их вводного доклада на Форуме.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, НОВЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

УДК 621.311.2

Состояние развития возобновляемых источников энергии в мире и в России

© 2014 г. Фортов В.Е., Попель О.С.

Объединенный институт высоких температур РАН¹

e-mail: o_popel@mail.ru

Обращение к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) как одной из основ перспективной мировой энергетики стало логичным результатом исторического развития и осознания необходимости диверсификации используемых первичных источников энергии в целях повышения энергетической и экологической безопасности стран, регионов и конкретных потребителей энергии. В статье дан обзор развития новых технологий преобразования возобновляемых источников энергии, прогресс которых может быть охарактеризован тем, что к 2013 г. суммарная мощность действующих энергоустановок на ВИЭ достигла 500 ГВт – в 1.5 раза больше мощности всех атомных электростанций в мире. Рассмотрены состояние ВИЭ и проблемы, сдерживающие их развитие в России. Отмечено, что особенности энергетической обстановки в России накладывают специфические требования к формированию программ освоения ВИЭ. Наряду с использованием ВИЭ в составе систем централизованного энергоснабжения, что является приоритетным для большинства развитых стран и обещает наиболее масштабное освоение ВИЭ в России, необходимо в первую очередь обратить внимание на разработку и создание систем автономного электро- и теплоснабжения потребителей и развитие распределенной энергетики с применением ВИЭ.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, распределенная энергетика, энергетика России.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, НОВЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

УДК 620.95.504.7

Эффективность производства биодизеля из микроводорослей

© 2014 г. Чернова Н.И.¹, Киселева С.В.¹, Попель О.С.²

МГУ им. М.В. Ломоносова¹ – Объединенный институт высоких температур РАН²

e-mail: k_sophia_v@mail.ru

Биомасса высокоурожайных водорослей является перспективным нетрадиционным сырьем для биоэнергетики, в том числе для получения из нее энергии и моторного топлива. В статье представлен анализ эффективности преобразования солнечной энергии в микроводорослевое биотопливо на основе как общих теоретических подходов, так и экспериментальных результатов, полученных в различных пилотных проектах. Рассматриваются также некоторые данные об экономической эффективности получения биотоплива из водорослей. Формулируются возможные пути повышения эффективности энергетического использования микроводорослей.

Ключевые слова: микроводоросли, биотопливо, биодизель, фотосинтез, преобразование энергии.

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, НОВЫЕ
И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

УДК 621.311.22:551.23

**Оборудование геотермального энергоблока с бинарным циклом
на Паужетской ГеоЭС**

© 2014 г. Томаров Г.В., Никольский А.И., Семенов В.Н., Шипков А.А.

ЗАО “Геотерм-ЭМ”¹

e-mail: geotherm@gmail.com

Рассмотрены оборудование и технологические процессы опытно-промышленного образца отечественного геотермального энергоблока с бинарным циклом, работающего на сбросном сепарате Паужетской ГеоЭС. Изложены принципы создания, конструктивные и эксплуатационные особенности, а также данные о выборе металла при изготовлении основного оборудования бинарного энергоблока мощностью 2.5 МВт ГеоЭС.

Ключевые слова: Паужетская ГеоЭС, геотермальная электростанция, бинарный цикл, органическое рабочее тело, турбогенератор, турбоустановка, теплообменное оборудование.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, НОВЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

УДК 550.361, 621.482

Современное состояние и перспективы освоения геотермальных ресурсов Северокавказского региона¹

© 2014 г. Алхасов А.Б., Алхасова Д.А.

Институт проблем геотермии Дагестанского научного центра РАН²

e-mail: alibek_alhasov@mail.ru

Дана оценка современного состояния добычи и использования геотермальных ресурсов региона, показана низкая эффективность их освоения. Представлены перспективные технологии освоения гидрогеотермальных ресурсов разного энергетического потенциала с привязкой к конкретным геотермальным месторождениям. Технологии по комплексному освоению гидрогеотермальных ресурсов с использованием воды на питьевое или техническое водоснабжение, теплового потенциала на различные энергетические нужды и извлечением растворенных в воде газовых и минеральных компонентов являются высокоэффективными технологиями, позволяющими решать важные эколого-экономические и социальные проблемы региона.

Ключевые слова: геотермальная энергия, ресурсы, геотермальная скважина, тепловой насос, теплообменник, электроэнергия, турбина, комбинированная энергоустановка, минерализация, утилизация.

ПАРОТУРБИННЫЕ, ГАЗОТУРБИННЫЕ, ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ И ИХ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 621.165

Модернизация и продление срока эксплуатации паротурбинных электростанций в Восточной Европе и в России

© 2014 г. Kupetz M., Jenikejew E., Hiss F.

Siemens AG¹

e-mail: eduard.jenikejew@siemens.com

Восточноевропейские рынки электроэнергии, в том числе российский и украинский, испытывают значительные трудности, связанные с износом наличного парка паровых турбин, находящихся в эксплуатации более 25 лет, производства компаний ЛМЗ (ОАО “Силовые машины”), ЗАО “Уральский турбинный завод”, ОАО “Турбоатом”. Экономически эффективной возможностью удовлетворения растущей потребности в электроэнергии является модернизация существующих электростанций, направленная на продление расчетного срока их эксплуатации. При модернизации паровых турбин используют новейшие материалы и компоненты, изготовленные по усовершенствованным технологиям. К таковым относятся: лопатки, уплотнения, обоймы направляющих аппаратов, внутренние корпуса и роторы, компоненты вспомогательных систем, например систем смазки и гидродъема. Это позволяет повысить КПД турбин и улучшить ремонтпригодность оборудования. В статье на примере турбоагрегатов ОАО “Турбоатом” (мощностью 300 МВт) и ЛМЗ (мощностью 200 МВт) рассмотрены новые конструктивные решения, разработанные компанией Siemens для модернизации оборудования ТЭС. Кроме того, приведена информация о реализованных проектах и опыте эксплуатации модернизированных объектов.

ПАРОТУРБИННЫЕ, ГАЗОТУРБИННЫЕ, ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ И ИХ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 621.311.25:621.039

Опыт разработки и результаты испытаний оборудования системы регенерации и ПСПП энергоблока № 4 Калининской АЭС

© 2014 г. Трифонов Н.Н.¹, Сухоруков Ю.Г.¹, Ермолов В.Ф.¹, Святкин Ф.А.¹, Николаенкова Е.К.¹, Синцова Т.Г.¹, Григорьева Е.Б.¹, Есин С.Б.¹, Уханова М.Г.¹, Голубев Е.А.², Бик С.П.², Тренькин В.Б.³

ОАО НПО ЦКТИ¹ – Филиал ОАО “Концерн Росэнергоатом” Калининская АЭС² – ОАО “ЗиО-Подольск”³

e-mail: skb152emp@mail.ru

Представлены описание и результаты статических и динамических испытаний оборудования систем регенерации и промежуточной сепарации и перегрева пара (ПСПП) энергоблока № 4 Калининской АЭС. Анализ результатов испытаний показал, что в статических и динамических режимах оборудование систем регенерации и ПСПП обеспечивает проектные теплогидравлические характеристики. Специалисты НПО ЦКТИ разработали методики и программы расчета системы смешивающих горизонтальных подогревателей низкого давления (ПНСГ), включенных по гравитационной схеме совместно с конденсатными электронасосами второй ступени (КЭН-2), системы ПСПП, которые удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными. Рассмотрены недостатки компоновочных решений, которые при эксплуатации могут привести к кавитационному срыву насосов. Предложены технические решения по обеспечению устойчивой работы оборудования систем регенерации и ПСПП. Проведен анализ принятой на Калининской АЭС схемы прогрева ПВД-К. Предложен разработанный в НПО ЦКТИ вариант схемы, обеспечивающий скорость прогрева 1°С/мин.

Ключевые слова: Калининская АЭС, статические и динамические испытания, система промежуточной сепарации и перегрева пара (ПСПП), смешивающие и поверхностные подогреватели низкого давления (ПНД, ПНСГ), подогреватели высокого давления камерного типа (ПВД-К), клапаны быстродействующего защитного устройства (БДЗУ), регулирующие клапаны (РК), схема прогрева ПВД-К.

**ВОДОПОДГОТОВКА
И ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ**

УДК 621.187.12

**Осадкообразование в рулонных обратноосмотических
и нанофильтрационных элементах и способы его предотвращения**

© 2014 г. Громов С.Л.

ООО “Акварекон”¹

e-mail: slgromov@mail.ru

Рассмотрены механизмы образования отложений на поверхности мембран и основные методы их предотвращения для обратноосмотических и нанофильтрационных рулонных элементов. Продемонстрирована эффективность ультрафильтрации в качестве комплексного метода предподготовки воды для снижения рисков осадкообразования в процессах нанофильтрации и обратного осмоса.

Ключевые слова: осадкообразование в обратном осмосе и нанофильтрации, ультрафильтрация, предподготовка воды перед мембранными установками с рулонными элементами, ингибирование кристаллообразования в рулонных элементах.

DOI: 10.1134/S0040363614060034

МЕТАЛЛЫ И ВОПРОСЫ ПРОЧНОСТИ

УДК 539.4

Влияние кратковременной прочности на чувствительность к надрезу и трещиностойкость металла роторов в условиях ползучести¹

© 2014 г. Гладштейн В.И.

ОАО “Всероссийский теплотехнический институт”²

e-mail: resurstec@mail.ru

По результатам длительных испытаний образцов с надрезом (свыше 70 тыс. ч) при повышенной температуре проведена сравнительная оценка влияния уровня предела текучести на характеристики стали ЭИ-415 в условиях ползучести. Материалом исследования являлся металл трех роторов (сталь ЭИ-415), один после эксплуатации в течение 137 тыс. ч, два других – в состоянии поставки с относительно повышенным и пониженным уровнем предела текучести. Чувствительность к надрезу оценивалась по соотношению длительной прочности гладких образцов и образцов с надрезом, испытанных на длительную прочность с регистрацией раскрытия трещины. По длине трещин, образовавшихся у окончания двух вспомогательных надрезов меньшей глубины, определялись сопротивления зарождению трещины и росту трещины с заданной скоростью, по условиям долома рассчитывалась вязкость разрушения в условиях ползучести. Показано, что металл, находящийся на нижней границе требований по пределу текучести, имеет небольшое преимущество по уровню указанных характеристик.

Ключевые слова: паровая турбина, ротор, сталь, предел текучести, ползучесть, трещиностойкость, наработка, образец, надрез, длительная прочность, раскрытие трещины, долом.

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

УДК 620.178.53

**Особенности внешнего тепло- и массообмена в виброаппаратах
для регенерации отработавшего топлива АЭС**

© 2014 г. Сапожников Б.Г., Горбунова А.М., Зеленкова Ю.О., Сапожников Г.Б., Ширяева Н.П.

Уральский федеральный университет¹

e-mail: anessa.86@mail.ru

Приведены экспериментальные данные по коэффициентам тепло- и массоотдачи свободно плавающих тел, имитирующих куски оболочки и крупные конгломераты топлива, а также по локальным коэффициентам тепло- и массоотдачи по высоте слоя, свидетельствующие о высокой интенсивности процессов тепломассообмена в элементах виброаппаратов для окислительной перекристаллизации отработавшего топлива АЭС.

Ключевые слова: вибрация, коэффициенты теплоотдачи и массоотдачи, дисперсный материал, куски оболочки, свободно плавающие цилиндры и шары.

DOI: 10.1134/S0040363614030102

**К ЗАЩИТЕ
ДИССЕРТАЦИЙ**

УДК 621.311.25:621.039

Использование программных средств для расчета эрозионно-коррозионного износа оборудования и трубопроводов АЭС

© 2014 г. Нафталъ М.М. (диссертант), Бараненко В.И., Гулина О.М.

ОАО ВНИИАЭС¹

e-mail: naftalmm@gmail.com

Приведены результаты расчетов эрозионно-коррозионного износа (ЭКИ) оборудования и трубопроводов АЭС с РВР, ВВЭР, РБМК с помощью программных средств (ПС) ЭКИ-02, ЭКИ-03. Показано, что погрешность расчетов не превышает таковую, приведенную в аттестационных паспортах ПС. Указано, что без использования ПС не представляется возможным проводить прогнозные расчеты длительности эксплуатации трубопроводов и обеспечить эффективность эксплуатационных инспекций ЭКИ.

Ключевые слова: эрозионно-коррозионный износ, программные средства, отложения продуктов коррозии, прогнозирование ЭКИ.