

526.4
С 285

Министерство образования и науки Российской Федерации
«Кузбасский государственный технический университет
им. Т.Ф. Горбачева»
Сибирское отделение Российской академии наук
Институт теплофизики СО РАН им. С.С. Кутателадзе
Кемеровский научный центр

**VII ВСЕРОССИЙСКИЙ СЕМИНАР ВУЗОВ
ПО ТЕПЛОФИЗИКЕ И ЭНЕРГЕТИКЕ**

14-16 сентября 2011 г.

Тезисы докладов

Кемерово

Министерство образования
и науки
Российской Федерации

Институт теплофизики
им. С.С. Кутателадзе

Кемеровский научный центр
СО РАН

Российская академия наук
Сибирское отделение

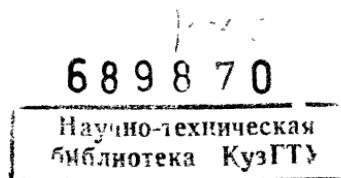
«Кузбасский государственный
технический университет
им. Т.Ф. Горбачева»

Новосибирский государственный
университет

**VII ВСЕРОССИЙСКИЙ СЕМИНАР
ВУЗОВ ПО ТЕПЛОФИЗИКЕ И ЭНЕРГЕТИКЕ**

14 – 16 сентября 2011 г.

г. Кемерово



Тезисы докладов

Сборник содержит тезисы докладов, представленных на VII Всероссийский семинар ВУЗов по теплофизике и энергетике (г. Кемерово, 14 – 16 сентября 2011 г.) Целью семинара является обсуждение результатов научных исследований ВУЗов для развития и создания научно-исследовательских и энергосберегающих технологий.

Основные научные направления семинара

- 1 особенности и перспективы развития энергетического сектора в регионах РФ,
- 2 развитие угольной энергетики Кузбасса;
- 3 физическая гидрогазодинамика и тепломассообмен,
- 4 свойства рабочих тел и конструкционных материалов энергетического оборудования,
- 5 горение натуральных топлив и вопросы экологии.
- 6 инновационные технологии в энергетике и энергосбережении,
- 7 возобновляемые источники энергии,
- 8 комплексная переработка топлив и отходов теплоэнергетики.
- 9 совершенствование системы подготовки кадров высшей квалификации для энергетики

Сборник предназначен для научных сотрудников, инженеров, аспирантов, профессоров и преподавателей, работающих в области теплофизике и энергетике

Организационный комитет семинара

Председатель: Алексеенко С.В., директор ИТ СО РАН, чл.-к РАН

Сопредседатели: Ешин Е.К., ректор КузГТУ, д.т.н., профессор

Конторович А.Э., председатель КемНЦ СО РАН, академик РАН

Заместители Блюменштейн В.Ю., проректор по НИР КузГТУ, д.г.н., профессор

Маркович Д.М., зам. директора ИТ СО РАН, д.ф.-м.н., профессор

Учёные секретари: Богомолов А.Р., с.н.с. ИТ СО РАН, д.т.н.

Куйбин П.А., учёный секретарь ИТ СО РАН, д.ф.-м.н

Члены: Бурдуков А.П., гл.н.с. ИТ СО РАН, д.т.н., профессор

Вострецов А.Г., проректор по научной работе НГТУ, д.т.н., профессор

Захаров А.Ю., зав. кафедрой КузГТУ, д.т.н., профессор

Исмагилов З.Р., директор Института углемеханики и химического
материаловедения СО РАН, д.х.н., профессор

Каширских В.Г., декан ГЭМФ КузГТУ, д.т.н., профессор

Клименко А.В., генеральный директор ОАО ВТИ, чл.-к. РАН

Клишин В.И.., и.о. директора Института угля СО РАН, д.т.н.

Ковалев В.А., зам. главы администрации Кемеровской области

Кочетков В.Н., зам. председателя КемНЦ СО РАН, к.т.н.

Кузнецов Г.В., зав. кафедрой ТПТ НИ ТПУ, д.ф.-м.н., профессор

Петрик П.Т., зав. кафедрой КузГТУ, д.т.н., профессор

Саломатов В.В., гл. научный сотрудник ИТ СО РАН, д.т.н.

Собянин В.А., ректор НГУ, д.х.н., профессор

Сон Э.Е., зам. директора по научной работе ОИВТ РАН, чл.-к. РАН

Станкус С.В., зам. директора ИТ СО РАН, д.ф.-м.н.

Федоров М.П., ректор СПбГПУ, чл.-корр. РАН

Штым А.Н., зав. кафедрой ТОТ ЕНИ ДВГТУ, д.т.н., профессор

Издание сборника тезисов производилось с авторских листов участников семинара. За ошибки и опечатки авторов издательство ответственности несет.

Проведение семинара и издание сборника тезисов осуществлялось при финансовой поддержке гранта РФФИ № 11-08-06058-г.

ТЕПЛООБМЕН ПРИ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА НА ТРУБЕ В ЗЕРНИСТОМ СЛОЕ

Проведено экспериментальное исследование процесса теплообмена при конденсации пара на вертикальной и горизонтальной трубах диаметром 8 мм, помещенных в зернистый слой стеклянных шариков диаметром 4,5 мм. В качестве рабочего вещества использовались фреон R22 и водяной пар. Диаметр зернистого слоя подобран таким образом, чтобы отношение эквивалентного диаметра порового канала зернистого слоя к капиллярной постоянной жидкости составляло больше единицы [1]. Эксперименты проводились на стенде, устройство и принцип действия которого описаны в [2]. При конденсации фреона R22 на трубе в зернистом слое была получена интенсификация теплообмена по сравнению с гладкой трубой (рис.1). При конденсации водяного пара на горизонтальной трубе в зернистом слое также получены более высокие коэффициенты теплоотдачи, чем на гладкой трубе в исследуемом диапазоне параметров.

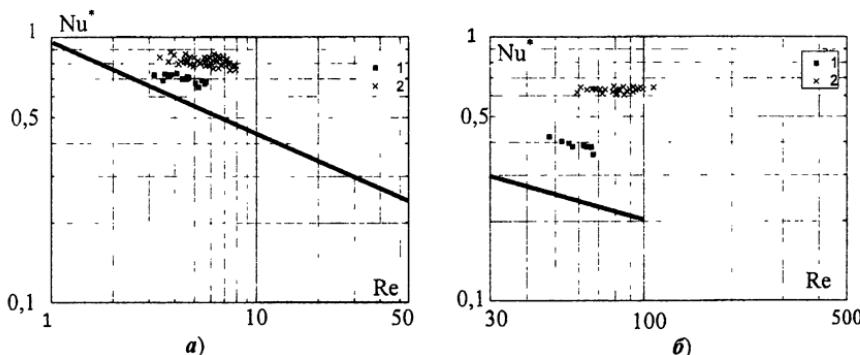


Рис. 1. Теплообмен при конденсации фреона R22 на горизонтальной (а) и вертикальной (б) трубе, помещенной в зернистый слой:

1 – труба без слоя; 2 – труба в зернистом слое; линия – расчет по зависимости
 $Nu^* = 0.95 Re^{-1/3}$.

Список литературы

1. Богомолов, А. Р. Исследование теплообмена при конденсации водяного пара на горизонтальной трубе, помещенной в зернистый материал из частиц с разной смачиваемостью поверхности / Богомолов А.Р., Петрик П.Т., Азиханов С.С. // Теплоэнергетика, 2009, №.7, с. 25-29.
2. Петрик, П. Т. Теплообмен при конденсации хладона R227 на наклонных трубах, помещенных в зернистый слой / П.Т. Петрик, П.В. Дадонов, И.В. Дворовенко, А.Р. Богомолов // ИФЖ. 2004. Т. 77. № 4. С. 76—78.

М. В. АЛЕКСЕЕВ, аспирант (ТПТ ЭНИН ГОУ ВПО НИ ТПУ)
Г. В. КУЗНЕЦОВ, профессор, д-р. физ.-мат. наук, (ТПТ ЭНИН ГОУ ВПО НИ
ТПУ)
E-mail: alexeeff_max@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОМАССО- ПЕРЕНОСА ПРИ КОНДУКТИВНОЙ СУШКЕ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ПОНИЖЕННОМ ДАВЛЕНИИ

Обязательной, самой длительной и энергозатратной операцией большинства технологических процессов деревообработки, обеспечивающей высокое качество продукции, является сушка древесины. Одним из наиболее перспективных является кондуктивный способ сушки древесины при пониженном давлении. Но до настоящего времени этот способ не применяется широко в связи с тем, что отсутствует аппарат для выбора технологических параметров рассматриваемого процесса, обеспечивающий его высокую эффективность. Выбирать экспериментально оптимальные технологические параметры такой сушки практически невозможно из-за большой длительности и энергозатратности рассматриваемого процесса, а также многовариантности набора условий внешних воздействий на древесину. В этой связи, создание математической модели, соответствующе описывающей процесс и позволяющей осуществлять оптимальный выбор технологических параметров, представляется весьма актуальной задачей, обеспечивающей снижение энергозатрат на отработку технологии сушки.

Результаты численного моделирования, полученные программным комплексом, разработанным в среде Borland Delphi 7.0, создают объективные предпосылки для использования математического моделирования в отработке технологических параметров. Сформулированная модель при дальнейшем развитии позволит существенно сократить энергозатраты и время, необходимое для экспериментального исследования процесса сушки.

В ходе проделанной работы предложен и исследован новый подход к математическому моделированию тепломассопереноса при сушке древесины с использованием модели фронтального испарения влаги в условиях кондуктивной сушки материала при пониженном давлении, разработан программный комплекс для численного исследования процесса сушки древесины кондуктивным способом при пониженном давлении.

М. В. АЛЕКСЕЕВ, к ф.-м.н , ИТ СО РАН, г. Новосибирск

e-mail: alekseev@itp.nsc.ru

А. Л. СОРОКИН, ИТ СО РАН, г. Новосибирск

e-mail: als@itp.nsc.ru

С. А. ШЕВЫРЕВ, аспирант КузГТУ, г. Кемерово

А. Н. ГУЛЕВ, инженер КузГТУ, г. Кемерово

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОДОРОДНО-КИСЛОРОДНОГО ПЕРЕГРЕВА ПАРА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПАРОВОЙ ГАЗИФИКАЦИИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Применение в энергетическом пароводяном оборудовании высокотемпературных водородно-кислородных перегревателей пара позволило существенно увеличить КПД паровых турбинных установок [1]. Основное достоинство технологии водородно-кислородного нагрева пара – это высокотемпературный перегрев пара ($1000\text{--}1700^{\circ}\text{C}$), смешанный способ теплообмена, большая удельная мощность топочной камеры (более $500 \text{ МВт}/\text{м}^3$), малая материалоемкость (менее $2 \text{ кг}/\text{МВт}$). Данные преимущества позволяют использовать данный вид перегревателей пара в химических технологиях, например, для высокотемпературной паровой газификации твердого топлива [2]. Главная задача при проектировании водородно-кислородных перегревателей пара для высокотемпературных паровых газификаторов твердого топлива поиск оптимальных режимных параметров температуры и расхода пара подаваемого в газификатор. Для выполнения данной задачи было проведено экспериментальное исследование и численный эксперимент.

Рабочий участок пароперегревателя выполнен из нержавеющей трубы, внутренний диаметр которой составлял 20 мм. Стехеометрическая водородно-кислородная смесь подавалась через медное сопло диаметром 1,3 мм в жаровую трубу внутренним диаметром 10 мм. Жаровая труба и медное сопло находились внутри рабочего участка на его оси. Пар подавался в зазор между жаровой трубой и трубой рабочего участка. Расход пара менялся с от 5 до 15 л/мин, расход горючей смеси изменялся с 1 до 5 л/мин, температура горючей смеси составляла 20°C , температура пара 100°C . В работе производилась регистрация температуры пара на выходе из пароперегревателя, а также регистрация распределения температуры на стенке рабочего участка с помощью тепловизора, пиromетра и термопар.

Экспериментальные исследования показали, что при расходе газа 3,46 л/мин и расходе водяного пара 11,2 л/мин температура в центре в измеряемом сечении на выходе из парогенератора составляет 925°C . Температура наружной стенки рабочего участка составляет 240°C . Температуру жаровой трубы около 740°C .

Проведено численное моделирование горения стехиометрической смеси в потоке пара для геометрии условий эксперимента. В осесимметричном приближении рассчитаны поля температуры пара, распределение скоростей реакций и температуры стенки рабочего участка. Результаты расчета и экспериментальные данные удовлетворительно согласуются.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГК №14.740.11.0101.

Список литературы

1. Мильман, О. О. Теплофизические проблемы создания комбинированных электрогенерирующих установок с турбинными энергоблоками / О.О. Мильман, Н.А. Прибатурина, В.А. Федоров // Труды 4 РНКТ, Москва. – Изд-во МЭИ, 2006, Т. 1. – С. 258-262.
2. Прибатурина, Н. А. Конверсия углеродсодержащих материалов в среде высокотемпературного водяного пара / Н.А. Прибатурина, А.Р. Богомолов, М.В. Алексеев, С.А. Шевырев // Вестник КузГТУ. – 2010, № 4. – С. 89-93.

Р. И АЛМАКАЕВА. магистр, **Н. М. СУЛЕЙМАНОВ,** профессор, доктор физ -мат наук, г Казань, Казанский государственный энергетический университет, кафедра электрических станций, 420066 Казань, ул. Красносельская 51. Российская Федерация.

E-mail: railya5857@mail.ru.

РЕЗЕРВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НА ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ВОДОРОД И МЕТАНОЛ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА

В современных условиях, резервные источники питания приобретают важное значение для обеспечения энергоснабжения при аварийных ситуациях не только на электростанциях, но и на транспорте (в аэропортах, и железнодорожных вокзалах).

В данной работе проведены расчеты по использованию водородно-кислородных и метанольных топливных элементов в качестве резервных источников энергии для электрических станций, а также транспортных гражданских объектов (аэропорт, вокзал) [1]. В качестве модельной системы была выбрана атомная электростанция (АЭС) мощностью 800 МВт. Определены ответственные узлы энергоблока и определена их суммарная мощность энергопотребления

Расчеты проведены для водородно-кислородного топливного элемента с использованием электродов фирмы Смит [2, 3]. Определена площадь электродов топливных элементов, которая составила 2100 мм^2 (для последовательного соединения) и 450 мм^2 (для параллельного соединения), и количество водорода и метанола необходимых для работы резервных источников тока. Разработана схема их соединения для обеспечения необходимой мощности.

Список литературы

1. Коровин, Н. В. Новые химические источники тока. – М. : Энергия, 1978.
2. Costamaga P., Srinivasan S. Quantum jump in the PEMFC science and technology from the 1960s to the year 2000 Journal Power Sources 102, 2001, p. 253
3. www.vigosmit.ru

Ю. А. АЛТУХОВ, профессор, д. ф.-м. н., АГПА, г. Барнаул.

С. М. КИСЛЯК, доцент, к. т. н., АГТУ, г. Барнаул.

АЛЬ ЗАМИЛИ АЛИ МИРАЛИ ДЖАСИМ, аспирант, АГТУ, г. Барнаул.

e-mail alimeer2004@yahoo.com

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ И РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЛАБИРИНТНОГО ЗОЛОУЛОВИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ ЗАПЫЛЕННОГО ПОТОКА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

При организации сжигания твердых топлив необходимым условием работы топок является улавливание частиц золы и возврат в топку частиц крупнее 25 мкм. С этой целью применяются различные конструкции золоуловителей и, в частности, лабиринтные золоуловители (ЛЗУ) с улавливающими карманами [1].

В работе численно и экспериментально исследовано влияние входной скорости на аэродинамику потока и эффективность улавливания ЛЗУ с различными конструкциями ребер и предложены рекомендации по выбору оптимальной конструкции ЛЗУ.

На рис. 1-2 показаны экспериментальная установка и результаты численного исследования аэродинамики и сепарации частиц в ЛЗУ.

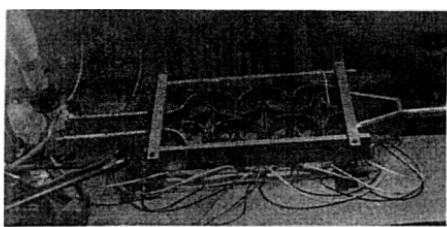


Рис 1 Модель ЛЗУ (экспериментальное оборудование)

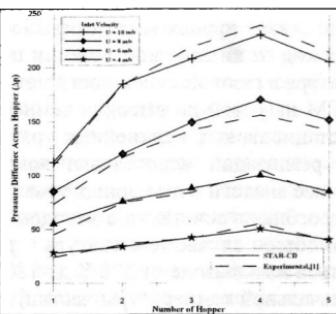


Рис 2 Сравнение разности давлений между выходными и входными щелями карманов

Основой теоретического исследования являлись уравнения Навье – Стокса в трехмерном случае, осредненные по Рейнольдсу, замкнутые RNG ($k - \varepsilon$) моделью турбулентности в одночастичном приближении Лагранжа [2].

Численное решение в настоящем исследовании использует метод контрольного объема и алгоритм SIMPLE, реализованный в программном пакете гидродинамического анализа (CFD – Пакета) STAR – CD.

Список литературы

- 1 Кисляк, С. М. Разработка уловителей и систем возврата уноса в котлах с низкотемпературным кипящим слоем / С. М. Кисляк. Диссертации кандидата технических наук, Барнаул – 2004.
- 2 Carmona, M. A numerical study of the flow in a cyclone separator using the $k-\varepsilon$ realizable turbulence model / Mauricio Carmona, Cristobal Cortes, Antonio Ramirez. V European Conference on Computational Fluid Dynamics – Lisbon – Portugal 2010

Н. В. БАРАНОВСКИЙ, докторант, к.ф.-м н , ТПУ, г Томск,
firedanger@narod.ru
Г. В. КУЗНЕЦОВ, профессор, д.ф.-м н., ТПУ, г. Томск

ТРЕХМЕРНАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ О ЗАЖИГАНИИ СЛОЯ ЛЕСНОГО ГОРЮЧЕГО МАТЕРИАЛА НАГРЕТОЙ ДО ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР ЧАСТИЦЕЙ

Цель исследования – разработка пространственной физико-математической модели зажигания слоя ЛГМ нагретой до высоких температур частицей и определение времен задержки воспламенения.

Основные допущения: 1) Рассматривается сценарий катастрофической пожарной опасности, когда влага в ЛГМ отсутствует; 2) Частица находится на поверхности слоя ЛГМ; 3) Слой ЛГМ нагревается и термически разлагается с образованием газообразных веществ. Основным продуктом пиролиза является монооксид углерода [3]; 3) Газовая фаза принимается трехкомпонентной (горючий компонент – монооксид углерода, окислитель – кислород, инертные компоненты – азот и двуокись углерода); 4) Продукты пиролиза диффундируют в область газовой фазы по бокам частицы, где смешиваются с окислителем; 5) При определенных температуре и концентрациях реагирующих газов происходит газофазное зажигание слоя ЛГМ. Критерии зажигания: 1) теплоприход от химической реакции превышает теплоприход от нагретой частицы; 2) температура в газовой смеси достигает критического значения. Процесс воспламенения слоя ЛГМ нагретой до высоких температур частицей описывается системой трехмерных нестационарных нелинейных уравнений теплопроводности и диффузии. Для численной реализации использован локально-одномерный конечно-разностный метод. Разностные аналоги одномерных уравнений теплопроводности и диффузии решены методом прогонки в сочетании с методом простой итерации.

В общем случае температура горячих углеродистых или стальных частиц может изменяться в диапазоне от 330 К до 1800 К. Рассматривались относительно низкие значения начальной температуры частиц, представляющие наибольший интерес для практики. Принимается, что в начальный момент времени частица имеет температуру от 900 К до 1200 К. Проведен параметрический анализ влияния основных параметров на время задержки зажигания слоя ЛГМ. В целом параметрический анализ позволяет сделать вывод, что математическая модель адекватным образом реагирует на изменение входных параметров.

Минимальная температура частицы, при которой еще наблюдается воспламенение – 900 К. При меньших температурах зажигания не происходит.

Список литературы

1. Барановский Н.В. Математическое моделирование наиболее вероятных сценариев и условий возникновения лесных пожаров. Дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Томск: Томский государственный университет, 2007. 153 С.
2. Кузнепов Г.В. Математическое моделирование зажигания слоя лесных горючих материалов нагретой до высоких температур частицей / Кузнепов Г.В., Барановский Н.В. // Пожаровзрывобезопасность. 2006, Т. 15. № 4, С. 42 – 46.
3. Гришин А.М. Математическое моделирование распространения вершинных лесных пожаров в однородных лесных массивах и вдоль просек / Гришин А.М., Шипулина О.В. // Физика горения и взрыва. 2002. Т. 38. № 6, С. 17 – 29.

Р. В. БЕЛЯЕВСКИЙ, аспирант (ГУ КузГТУ), г Кемерово
belaevsky@mail.ru

О ФОРМИРОВАНИИ ЭФФЕКТИВНЫХ МЕХАНИЗМОВ РАЗВИТИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА КУЗБАССА

Высокая энергоресурсоемкость производства продолжает оставаться одной из негативных особенностей экономики России. На сегодняшний день уровень затрат сырья, материалов и топливно-энергетических ресурсов в 3–5 раз превышает аналогичные показатели в развитых странах. При этом наблюдается тенденция роста энергопотребления, как по абсолютной величине, так и по удельным показателям. Все это может привести к тому, что существующие генерирующие мощности не смогут покрыть потребности в энергоресурсах, тем более, если учесть их износ, который в настоящее время составляет более 70 %.

Энергетической стратегией России на период до 2030 года (ЭС-2030) предусмотрено увеличение производства электроэнергии на угольных электростанциях с 26 до 34–36 %. Современная угольная энергетика охватывает деятельность по добыче, переработке и транспортированию угля, выработке и передаче электрической и тепловой энергии и их использованию потребителями. Соответственно, каждый из этих этапов сопровождается потерями энергетических ресурсов. При этом оценка потерь производится, как правило, на каждом этапе отдельно без их совокупного комплексного анализа по всему циклу. Мероприятия по экономии энергетических ресурсов, разработанные для каждого этапа, в этом случае оказываются не всегда эффективными.

Поэтому необходимо формировать новые механизмы развития топливно-энергетического комплекса, которые бы минимизировали потери энергетических ресурсов, снижали негативное воздействие на окружающую среду и способствовали повышению экономической эффективности. При разработке энергетической стратегии развития региона наиболее целесообразным, на наш взгляд, является создание блок-модулей «шахта (или разрез) – электростанция» с использованием современных технических решений. Одним из эффективных решений может являться внедрение электростанций с комбинированным циклом производства электроэнергии – газификация угля и сжигание полученного газа в газогенераторной установке, а сухого остатка от процесса газификации угля – в кotle паровой турбины. Использование подобного комбинированного цикла производства электроэнергии позволит уменьшить потери энергетических ресурсов по всему циклу и будет в значительной мере способствовать реализации потенциала энергосбережения.

Р. В. БЕЛЯЕВСКИЙ, аспирант (ГУ КузГТУ), г Кемерово
belaevsky@mail.ru

О РАЗРАБОТКЕ КОМПЛЕКСНЫХ ПРОГРАММ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Принятый 23.11. 2009 Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» предполагает в ближайшие 10 лет снижение потребления энергетических ресурсов на 40 %. Достичь подобных показателей можно только после тщательного анализа топливно-энергетических балансов предприятий, организаций и учреждений и разработке на их базе программ энергосбережения.

На первом этапе разработки программ энергосбережения решаются методические и организационные задачи, выбирается ценз (уровень) энергетического обследования, формируется информация, необходимая для контроля, анализа и оценки состояния энергопотребления, проводится обработка и представление информации в заданной форме и объеме. В качестве объекта энергетического обследования принимается технологическая установка, цех, предприятие и др. При этом в основу выбора объекта обследования должен бытьложен эффективно-временной принцип, т. е. достижение определенной цели к определенному времени.

На втором этапе на основании полученной информации разрабатываются комплексные программы энергосбережения на ближайшие 2–3 года и на перспективный период. При этом организационные, технические и другие мероприятия, включаемые в программы разного уровня, должны быть увязаны по эффективности, срокам и финансовым возможностям.

При разработке программ энергосбережения, в первую очередь, необходимо ориентироваться на малозатратные и дающие быстрый экономический эффект организационно-технические мероприятия, за счет которых можно получить до 30 % общей экономии энергетических ресурсов. К числу данных мероприятий следует отнести: разработку принципов экономического стимулирования производителей и потребителей энергетических ресурсов; проведение обязательной энергоэкологической экспертизы (обследования) существующих технологий и оборудования, а также планируемых к применению; соблюдение установленных требований к энергопотреблению, системам нормирования и учета, режимам энергоиспользования; проведение своевременных и качественных ремонтов энергетического оборудования и ряд других мероприятий.

В целом, экономия топливно-энергетических ресурсов может быть обеспечена выполнением четырех основных стратегий:

- бережным отношением к расходуемым энергоносителям, устранением их потерь;
- расширением внедрения известных энергосберегающих технологий и оборудования;
- разработкой и внедрением новейших энергосберегающих технологий и оборудования;
- реализацией рациональных структурных сдвигов от энергоемких к менее энергоемким производствам.

ГИБРИДНЫЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ СОВМЕСТНОГО РЕШЕНИЯ МНОГОМЕРНЫХ И СЕТЕВЫХ ЗАДАЧ

На практике встречаются гидравлические системы, различные участки которых требуют одновременного применения многомерного и сетевого подхода к решению задачи о потокораспределении. В первую очередь это связано с тем, что в этих системах помимо простых элементов, например: различные подводящие шланги и трубы, существуют элементы более сложные. В них расчет гидравлического сопротивления по известным эмпирическим закономерностям не возможен. Наглядным примером таких комплексных систем являются системы охлаждения, где теплообменник представляет собой сложный элемент и требует решения многомерной задачи для описания течения жидкости, а подводящие к нему патрубки можно рассматривать в рамках сетевого подхода как простые элементы. Кроме того, существуют разветвленные сетевые системы, в которых необходимо исследовать картину течения в отдельных элементах не вырывая их из контекста системы в целом.

Одним из способов разрешения таких систем является построение гибридной модели, которая соединяет в себе сетевые и многомерные элементы. Но для реализации такой модели необходим соответствующий алгоритм, разработка которого и представлена в данной работе.

Рассмотрим структуру гибридной модели. Уравнения сохранения в интегральной форме идентичны для сетевых и многомерных задач, за исключением определения вязкостного сопротивления. Это обстоятельство позволяет написать единый алгоритм. Для реализации гибридной модели был разработан алгоритм, на основе SIMPLE процедуры, используемой в обоих задачах.

Для проверки алгоритма был проведен ряд тестов. Для двухмерной части была решена задача о течении в каверне и проведено сравнение результатов с эталонным решением. Для сетевой части была построена небольшая разветвленная сеть и проведено сравнение результатов решения с программой σNet [1]. После проверки работоспособности отдельных частей алгоритма, было проведено два теста с решением гибридных задач, геометрия которых представлена на рис 1.

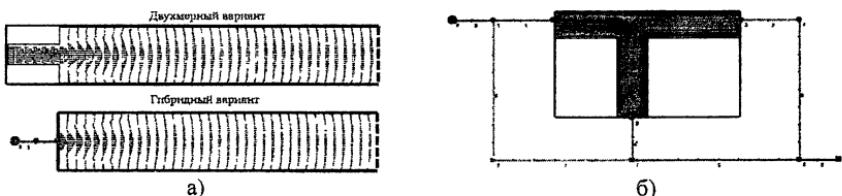


Рис.1 Тестовые задачи для проверки работоспособности гибридного алгоритма. а) две трубы, б) разветвленная сеть с двумерным тройником

Список литературы

1. Бойков Д. В. Применение программы сетевого моделирования «σNet» для расчета гидрогазодинамики и тепломассообмена в элементах энергетических и промышленных систем // Повышение эффективности производства и использования энергии на Дальнем Востоке. сб. науч. тр. Под редакцией А.Н. Штыма. 2006. Рр. 38–49.

Е. Е. БУЛЬБА, доцент, канд техн. наук, **Г. В. КУЗНЕЦОВ**, профессор, доктор физико-математических наук; **М. ПОЛСОНГРАМ**, аспирант (НИ ТПУ), г. Томск
E-mail. marisha@tpu.ru

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ТОПЛИВА И ЭНЕРГИИ ИЗ БИОМАССЫ

Одним из наиболее перспективных возобновляемых источников энергии на территории России является биомасса. Но до настоящего времени отсутствуют масштабные примеры применения технологий получения энергии (электрической и тепловой) и топлива с использованием биомассы в РФ. Причин невостребованности таких технологий можно привести много, но одной их главных, скорее всего, является недостаточная научно-техническая проработка проблемы. В частности пока нет научного обоснования энергоэффективности использования самой доступной и широко распространенной в России лесной биомассы. Целью данной работы является оценка основных энергетических характеристик технологических процессов, связанных с получением топлива и энергии из лесной биомассы на примере типичных представителей лесной биомассы России и Таиланда.

Выполнен комплекс экспериментальных исследований по определению длительности процесса конверсии нескольких типов древесины, а также затрат энергии на нагрев и термические превращения с выходом жидкого и газообразных продуктов пиролиза четырех типов лесной биомассы. Выделены температурные диапазоны конверсионных процессов.

Проведен теоретический анализ энергозатрат на реализацию технологий конверсии древесной биомассы для получения жидкого топлива и биогаза, а также на подготовку к сжиганию в котельных агрегатах установок для выработки электрической и тепловой энергии.

Установлено, что в зависимости от исходного состояния древесной биомассы возможны различные варианты ее эффективного использования для производства топлива и энергии. При высокой влажности исходного сырья затраты энергии на его подготовку к использованию в энергетических технологиях могут быть сопоставимы с энергией, вырабатываемой при сжигании как непосредственно биомассы, так и биотоплива (жидкого или газообразного).

Н. С. БУФЕТОВ, с.н.с., канд. техн. наук (ИТ СОРАН), ст. преп.(НГУ), г. Новосибирск
E-mail: bufetov@itp.nsc.ru

В. А. АРБУЗОВ, гл. н.с., д. техн. наук (ИТ СОРАН), профессор,(НГТУ), г Новосибирск
E-mail: arbuzov@itp.nsc.ru

О. З. АЛЮКАЕВА, студент (НГТУ), г.Новосибирск
E-mail: aliukaeva@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДНОГО РАСТВОРА БРОМИСТОГО ЛИТИЯ ОПТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Одной из главных характеристик массообменных процессов, происходящих в абсорбционных аппаратах, ректификационных колоннах и т.п., является изменение концентрации компонентов [1], участвующих в этих процессах. В работе анализируются возможности методики определения концентрации солей, и в частности, литиевой соли бромистой кислоты ($LiBr$), одной из наиболее широко используемых в качестве абсорбента водяных паров в абсорбционных тепловых машинах. тепловых насосах и холодильниках.

В результате проведенных исследований получены показатели преломления водного раствора бромистого лития в диапазоне его концентрации от 0 до 60% для двух длин волн монохроматического излучения: красного – $\lambda = 0,660$ мкм и зеленого – $\lambda=0,532$ мкм. Показано, что зависимость показателя преломления n от концентрации c и температуры T обобщаются с помощью одной переменной – плотности раствора ρ . Зависимости квадрата показателя преломления n^2 от плотности ρ для различных λ имеют следующие виды:

$$\text{для } \lambda=0,532 \text{ мкм} - n^2=5,62074 \cdot 10^{-4} \cdot \rho + 1,22320 \quad \text{при величине достоверности аппроксимации } RI = 0,9989;$$

$$\text{для } \lambda=0,660 \text{ мкм} - n^2=5,45372 \cdot 10^{-4} \cdot \rho + 1,22545 \quad - \quad \text{при } RI = 0,9998.$$

Проведенный численный анализ чувствительности методики показал, что для зеленого и красного спектров излучения чувствительности отличаются незначительно, однако с увеличением отклонения от нормали угла падения луча на грань кюветы чувствительность растет и рост начинается тем раньше, чем больше угол стеклянной призмы, вставленной в кювету. Чувствительность также увеличивается при увеличении разности между показателями преломления стеклянной призмы и жидкости (раствором абсорбента).

Создан действующий макет прибора, и разработана методика определения концентрации водного раствора бромистого лития оптическим методом, обладающая высокой чувствительностью и оперативностью. Данная методика в комплекте с используемой аппаратурой обеспечивает чувствительность для обоих лазеров при определении плотности не хуже $0,32 \text{ кг}/\text{м}^3\text{-пикс}$ и концентрации – $0,02\%/\text{пикс}$.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 09-08-00882-а).

Список литературы

1. Накоряков В.Е., Буфетов Н.С., Дехтарь Р.А. Исследование нестационарного совместного тепломассопереноса при неизотермической абсорбции // Труды Института перспективных исследований / Под ред. В.Е. Накорякова и др. – Новосибирск, 2003 – 215 с. (С. 3-34 – 3-41)

Ю. В. ВИДИН, профессор, канд. техн. наук (ПИ СФУ), г. Красноярск
Р. В. КАЗАКОВ, аспирант (ПИ СФУ), г. Красноярск
e-mail roman.kazakov@list.ru

ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛА ВДОЛЬ КОМБИНИРОВАННОГО ОБОБЩЕННОГО РЕБРА

Расчет и конструирование современных малогабаритных теплообменников с развитыми поверхностями являются актуальными проблемами в научном и техническом отношении [1]. Существенная интенсификация процессов теплообмена в таких аппаратах может быть достигнута, в частности, за счет значительного повышения тепловой эффективности оребрения. С этой целью целесообразно использовать комбинированные ребра, начальная часть которых выполнена из более теплопроводного материала, чем периферийная. Расчет таких систем в общем случае, когда ребра имеют произвольную геометрию, сводится к решению следующей математической задачи

$$f(x) \frac{d^2 \vartheta_1}{dx^2} + \frac{df(x)}{dx} \frac{d\vartheta_1}{dx} + \frac{\Gamma - 1}{x} f(x) \frac{d\vartheta_1}{dx} - \frac{\alpha}{\lambda_1} \vartheta_1 = 0 \quad (1)$$

$$0 \leq x \leq l_1,$$

$$f(x) \frac{d^2 \vartheta_2}{dx^2} + \frac{df(x)}{dx} \frac{d\vartheta_2}{dx} + \frac{\Gamma - 1}{x} f(x) \frac{d\vartheta_2}{dx} - \frac{\alpha}{\lambda_2} \vartheta_2 = 0 \quad (2)$$

$$l_1 \leq x \leq l,$$

$$\vartheta_1 = \vartheta_0, \text{ при } x=0; \quad (3)$$

$$\vartheta_1 = \vartheta_2, \text{ при } x=l_1 \quad (4)$$

$$\frac{d\vartheta_1}{dx_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \frac{d\vartheta_2}{dx} \text{ при } x=l_1 \quad (5)$$

$$\frac{d\vartheta_2}{dx} = 0 \text{ при } x=l \quad (6)$$

Здесь $f(x)$ – обобщенная функция профиля исследуемого ребра, м.

$\Gamma=1, \Gamma=2$ для продольного и радиального ребра соответственно

Если имеет место условие $\lambda_1 \gg \lambda_2$, (7)

то тогда допустимо принять, что $\frac{d\vartheta_1}{dx} = 0$ при $x=l_1$. (8)

В этом случае задача (1)-(6) может быть представлена в виде отдельных более простых самостоятельных систем, решения некоторых из них приведены в [1]

Ограничение (8) тем справедливее, чем будет меньше принятное отношение $\frac{l_1}{l}$

Список литературы

1 Керн, Д. Развитые поверхности теплообмена / Д. Керн.
А Краус – М. Энергия, 1977 – 461 с

Р. Н. ВОРОНОВ, ст. преподаватель, аспирант КузГТУ, г. Кемерово, rv82@ya.ru
А. Л. СОРОКИН, ИТ СО РАН, г. Новосибирск, als@itp.nsc.ru
Ю. О. АФАНАСЬЕВ, доцент, к т.н., КузГТУ, г. Кемерово
А. Р. БОГОМОЛОВ, с.н.с . д.т.н., ИТ СО РАН, г. Новосибирск barmom@kuzstu.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА «ХОЛОДНОЙ» МОДЕЛИ ЦИКЛОННОГО РЕАКТОРА

С целью эффективного сжигания твердого топлива различной степени метаморфизма, усилия многих исследователей направлены на понимание и описание аэродинамики закрученных течений, осложненных процессами горения измельченного топлива. Экономичное конструирование и экологичность работы топочных устройств могут быть улучшены экспериментальными и модельными исследованиями. При этом экспериментальная и теоретическая аэродинамика течений с горением используется вместе со сложными методами вычислительной гидродинамики. Развитие и совершенствование этих методов позволяет значительно снизить затраты времени и средств на программы развития новых топочных устройств.

В настоящей работе приведены результаты расчета течения и сравнение с результатами прямых измерений скоростей в циклонном реакторе.

Расчеты были проведены с использованием программных комплексов Fluent 6 и OpenFOAM 2. С помощью Fluent 6 задача решалась в двумерной и трёхмерной постановках. В OpenFOAM 2 задача решалась только в трёхмерной постановке. Для моделирования турбулентности применялась модель переноса реинольдсовых напряжений (Reynolds Stress Model).

Результаты расчетов в трёхмерной постановке качественно расходятся с экспериментальными данным, однако показывают, что течение практически осесимметрично. При сопоставлении полученных с помощью моделирования данных с экспериментальными, было отмечено как качественное, так и количественное совпадение результатов эксперимента с результатами моделирования в осесимметричном приближении. Следует заметить, что результаты, полученные в трёхмерной постановке в пакете Fluent 6, отличаются количественно, но качественно близки к экспериментальным данным. Результаты моделирования, полученные с помощью пакета OpenFOAM заметно отличаются от результатов эксперимента как качественно, так и количественно.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГК № П 563.

Н. А. ГЕЙДАРОВ, ассистент, КемГУ, г. Кемерово,
Ю. А. ЗАХАРОВ, профессор, КемГУ, г. Кемерово,
Ю. Е. КИСЕЛЁВ, директор ООО «ТЭСТ», г Кемерово,
В. Н. СЛИВНОЙ, доцент, к.т.н., КузГТУ, г. Кемерово
e-mail: wiknik@rambler.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАКРУТКИ ПОТОКА В КОТЛАХ

Одной из серьезных проблем при эксплуатации котлов в коммунальной энергетике является водоподготовка. Существует много методов обработки воды, поступающей в котел, однако, применяются они, в силу ряда причин, далеко не везде и не всегда эффективны. Работа же на сырой воде приводит к быстрому выходу из строя котельного оборудования. Радикальным решением этой проблемы является разработка котла с движением теплоносителя, не позволяющим образовываться отложениям на теплообменных поверхностях. Именно такой котел противоточно-вихревого типа разработан и производится в НПП «Тепло» и малом инновационном предприятии ООО «ТЭСТ».

Водогрейный котел имеет противоточную, относительно движения дымовых газов, компоновку теплообменных секций с последовательным по воде соединением секций и трубок в секциях и с тангенциально-щелевым переходом между трубками. Такая компоновка позволяет увеличить теплосъем за счет снижения температуры дымовых газов, а также за счет вращательного движения воды в трубах позволяет сократить (либо полностью устранить) отложения на стенках труб. В этом и состоит особая ценность данного технического решения, так как обеспечивается стабильная работа водогрейного котла, повышается его эффективность и надежность, увеличивается срок службы без водоподготовки.

Поэтому моделирование процесса закрутки течения в трубах является необходимым элементом проектирования водогрейных котлов с повышенными экономическими характеристиками. В настоящем докладе стационарное течение в круглой трубе описывается трёхмерной системой уравнений Навье-Стокса, когда движение закрученной жидкости осуществляется за счёт разницы давления на концах трубы. Поставленная краевая задача решается методом сеток Получающаяся система нелинейных уравнений решается итерационным методом с покомпонентной оптимизацией параметров. Приводятся результаты численных расчётов

В. И. ГЛАДШТЕЙН, д.т.н., заведующий лабораторией ОАО «ВТИ»,
resurstec@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЁННОСТИ В МЕТАЛЛЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ ПУТЁМ ОЦЕНКИ ВРЕМЕНИ ЖИВУЧЕСТИ ОБРАЗЦОВ С НАДРЕЗОМ

Для выбора стратегии при оценке периодичности контроля элементов паропроводов в условиях ползучести перспективными являются решения Л. М. Качанова [1] для случая постепенного исчертания сплошности. Для практического использования теории Л. М. Качанова предложено [2] представить процесс накопления микроповреждений в виде диаграммы изменения относительной сплошности ψ от начальной ψ_0 до критической, когда произойдёт длом ψ_c . Установлено, что в двойных логарифмических координатах зависимость $\lg\psi_0 - \lg t_{вн0}$ имеет вид прямой линии, проходящей через две точки, с координатами, показывающими условия начала испытания образца с надрезом: $\lg t_{вн0}$ – логарифм времени до разрушения и $\lg\psi_0$ – логарифм начальной сплошности, и условия его длома: $\lg\psi_c$ – логарифм критической сплошности и $\lg t_c$ – логарифм времени длома. Возможность моделировать надрезом микроповреждённость, по мнению автора, базируется на экспериментально установленной для сталей разных классов (низколегированных, высокохромистых и аустенитных) близости времени живучести, полученной при продолжении указанной линии на уровень сплошности $\psi_0 = 1$, к долговечности гладкого образца $t_{вг}$.

На примере металла гнутого отвода паропроводной горячекатаной трубы Ø 219x28 мм из стали 12Х1МФ, описана методика оценки коэффициента ресурса K_t , по которому производится расчет остаточного ресурса детали t_{op} до следующего обследования: $t_{op} = t_3 K_t$, где t_3 – время наработки на момент контроля. Влияние повреждённости надрезом на K_t определялось по соотношению долговечности гладкого и надрезанного образцов, испытанных при одинаковой температуре и равном напряжении в гладкой части.

Сопоставление коэффициента работоспособности для повреждённости, созданной надрезом, и реальной повреждённости от ползучести по различным шкалам микроповреждённости показывает, что после обнаружения изолированных пор на гибе из стали 12Х1МФ, его можно оставить в эксплуатации на срок от 9 тыс. ч до 96 тыс. ч в зависимости от наработки и действующих напряжений.

Список литературы

1. Качанов Л. М. Основы механики разрушения/М.: Наука, 1974, 312 с
2. Гладштейн В. И. Методика сравнительной оценки допустимой величины начальных дефектов в трубах паропроводов, Заводская лаборатория, №3, 2010, т. 76, с. 47...51

Д. О. ГЛУШКОВ, аспирант, НИ ТПУ, г. Томск

e-mail: dmitriy-glushkov@yandex.ru

Г. В. КУЗНЕЦОВ, профессор, доктор ф.-м. наук, НИ ТПУ, г. Томск

e-mail: elf@tpu.ru

П. А. СТРИЖАК, доцент, кандидат ф.-м. наук, НИ ТПУ, г. Томск

e-mail: pavelspa@tpu.ru

ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС ПРИ ГАЗОФАЗНОМ ЗАЖИГАНИИ ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА ЛОКАЛЬНЫМ ИСТОЧНИКОМ ЭНЕРГИИ

К настоящему времени разработаны математические модели тепломассопереноса для условий твердофазных и газофазных реакций зажигания материалов и веществ с высокой теплотворной способностью [1, 2]. В тоже время высокую пожарную опасность представляют многие полимерные материалы [3, 4], не предназначенные для горения как объекты исследований [1, 2]. Процессы тепло- массопереноса при зажигании таких материалов одиночными «горячими» частицами металла не изучены. Целью настоящей работы является математическое моделирование процесса тепломассопереноса при газофазном зажигании полимерного материала (ПМ) с относительно низкой теплотворной способностью. В качестве локального источника энергии при зажигании ПМ используется одиночная «горячая» частица металла в форме параллелепипеда малых размеров. Рассматривались условия идеального контакта источника нагрева с веществом. Принята следующая схема исследуемого процесса. Предполагается, что ПМ (полистирол) нагревается за счет энергии «горячей» стальной частицы, находящейся на его поверхности. При нагреве вещества интенсифицируется реакция термической деструкции материала. Образующиеся при этом продукты термического разложения перемешиваются с окислителем (воздухом) за счет диффузии и нагреваются под действием тепла «горячей» стальной частицы. Математическая модель сформулированной задачи представляет собой систему нелинейных нестационарных дифференциальных уравнений (в частных производных) энергии, диффузии и баланса соответствующих компонентов рассматриваемой системы. В результате численного анализа установлены зависимости времени задержки зажигания полистирола при варьировании энергетического запаса «горячей» стальной частицы. Определены температурное поле системы «частица металла – ПМ – воздух» и распределение концентраций продуктов газификации ПМ в момент зажигания. Полученные данные могут быть использованы для разработки методов и способов снижения пожарной опасности при использовании ПМ в различных отраслях промышленности.

Список литературы

1. Буркина, Р. С. Высокотемпературное зажигание реакционноспособного вещества горячей инертной частицей с конечным запасом тепла / Р. С. Буркина, Е. А. Микова // Физика горения и взрыва. 2009. Т. 45. № 2. С. 40 – 47.
2. Kuznetsov, G. V. Heat and mass transfer at the ignition of a liquid substance by a single «hot» particle / G.V. Kuznetsov, P.A. Strizhak // Journal of Engineering Thermophysics. 2008. V. 17. № 3. P. 244 – 252.
3. Щеглов, П. П. Пожароопасность полимерных материалов / П. П. Щеглов, В. Л. Иванников. – М.: Стройиздат, 1992. – 110 с.
4. Асеева, Р. М. Горение полимерных материалов / Р. М. Асеева, Г. Е. Зайков. – М.: Наука, 1981. – 280 с.

К. В. ГУЦАЛ, ведущий инженер, : kost@kuzstu.ru

Е. Ю. ТЕМНИКОВА, доцент, к.т.н , teyu_rmahp@kuzstu.ru

Е. И. КАГАКИН, профессор, к.х.н., КузГТУ, г. Кемерово, kei_htf@kuzstu.ru

А. Р. БОГОМОЛОВ, с.н.с , д т н , ИТ СО РАН, г Новосибирск, barom@kuzstu.ru

ВЫБОР ВСПЕНИВАТЕЛЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ ФЛОТАЦИИ УГЛЯ ПО СЕЛЕКТИВНОСТИ

Современные технологии высокомеханизированной добычи угля и их экономическая оптимизация приводят к снижению добычи чистого угля и усложняют контроль и обеспечение требуемого потребителями качества продукта. В мире остается все меньше запасов высококачественного угля. Для увеличения выхода качественной продукции на обогатительных фабриках совершенствуются технологии переработки добываемого угля. Большое внимание сегодня уделяется процессу обогащения мелкого угля, и, следовательно, методам его флотации [1].

Важность изучения процессов флотации с целью их совершенствования для эффективного разделения на низкозольный продукт и породу обусловлена стремлением производителей к снижению затрат как на флотацию, так и на транспортные расходы. Важной задачей изучения флотационных процессов является разработка и внедрение новых флотоагентов [2].

Целью данного исследования является изучение возможности использования в качестве пенообразователя (вспенивателя) полизэфира «Лапрол М-1000» (оксипропилированный триол), в процессе флотации шламов различных марок углей во флотомашинах с флотоагентом из базового собирателя КМС.

Флотации подвергались шламы обогащения углей марок Т и КС ЦОФ «Сибирь». В качестве базового собирателя использовали углеводородный комплекс КМС. Результаты эксперимента показывают, что при добавлении «Лапрола М-1000» в пульпу в количестве 6 г/м³ для шлама угля марки КС, этот пенообразователь увеличивает селективность процесса флотации угольных частиц размером более 45 мкм, практически не изменяя ее для частиц более мелких. Увеличение концентрации пенообразователя в пульпе более 1% приводит к результатам, аналогичным получаемым при использовании одного только базового собирателя. Результаты флотации шлама угля марки Т практически совпадают с результатами, полученными для шлама угля марки КС.

Действие «Лапрола М-1000» заключается в получении более мелких пузырьков при аэрации и интенсивном перемешивании. Чем будет меньше пузырь, тем больше разность между давлением воздуха внутри пузыря и снаружи в жидкости. Экспериментальные результаты показывают, что при увеличении концентрации «Лапрола М-1000» в растворе с 0,25% до 1% размер пузырьков уменьшается почти в два раза.

Список литературы

1. Абрамов, А. А. Флотационные методы обогащения / А.А. Абрамов. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, изд-во «Горная книга», «Мир горной книги». – 2008. – 710 с.
2. Богданов, О. С. Теория и технология флотации руд /О.С. Богданов, И.И. Максимов, А.К. Поднек, Н.А. Янис. – М.: Недра, 1990. – 363 с.

А. А. ДЕКТЕРЕВ, ИТ СО РАН г. Новосибирск

А. А. ГАВРИЛОВ, ИТ СО РАН г. Новосибирск

А. А. ДЕКТЕРЕВ, к.т.н., ИТ СО РАН, Новосибирск, СФУ, Красноярск

e-mail: dek_art@mail.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВВОДА ВОЗДУХА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАКРУЧЕННОГО ГАЗОЖИДКОСТНОГО ПОТОКА

Закрученные потоки широко используются в различных энергетических и технологических устройствах, в том числе и с двухфазными газожидкостными рабочими средами. Особенностью закрученных двухфазных течений является разделение газовой и жидкой фаз - газ под воздействием центробежной силы собирается вблизи оси вращения вихря, образуя воздушное ядро. Подобный вихрь может быть как стационарным, так и прецессирующим. Такие режимы, например, реализуются в течениях за рабочим колесом гидротурбин. Явление прецессирующего вихревого ядра (ПВЯ) в однофазных течениях достаточно широко изучено теоретически и экспериментально, для двухфазных течений явление ПВЯ в настоящее время недостаточно хорошо исследовано.

В данной работе на основе численного моделирования исследовалось влияние газосодержания на характеристики прецессирующего потока в вихревой камере. Также рассматривалось влияние ввода воздуха на характеристики течения в отсасывающей трубе.

Численное исследование влияния газосодержания на характеристики прецессирующего потока проводилось в соответствии с экспериментальными данными, полученными на вихревом стенде Института Теплофизики СО РАН [1]. Для решения задачи использовался код SigmaFlow и коммерческие CFD пакеты. Для моделирования нестационарного турбулентного течения несжимаемой жидкости использовались уравнения Навье-Стокса, осредненные по Рейнольдсу. Для замыкания уравнений применялся метод отсоединенных вихрей DES (detached eddy simulation) на основе модели турбулентности Спаларта-Аллмараса [2]. Для моделирования газовой фазы использовались модели, основанные на подходе Эйлера. Для аппроксимации конвективных членов уравнений применялась схема QUICK. Связь поля скорости и давления осуществлялась посредством алгоритма SIMPLEC. Система линейных алгебраических уравнений решалась при помощи многосеточного решателя.

В качестве несущей фазы использовалась вода, дисперсная газовая фаза (воздух) задавалась равномерно распределенной по входу в виде пузырьков постоянного диаметра. Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными производилось по зависимости частоты прецессии от газосодержания для различных значений расхода воды.

Также были проведены расчеты по исследованию влияния ввода воздуха на характеристики течения в отсасывающей трубе гидротурбины. Результаты расчетов показали, что добавление воздуха приводит к снижению амплитуды пульсаций давления.

Список литературы

1. Shtork S.I., Cherny I.S. Experimental study of the integral characteristics of swirl gas-liquid flow. Trans. Intern. Symp. "Actual Problems of Physical Hydroaerodynamics". Novosibirsk, Russia, 19 - 23 April 1999, p. II - 108.
2. Сентябров А.В., Гаврилов А.А., Дектерев А.А. Исследование моделей турбулентности для расчета закрученных течений. Теплофизика и аэромеханика. №1, 2011, с. 81-93.

А. А. ДЕКТЕРЕВ, А. В. МИНАКОВ, А. В. СЕНТЬЯБОВ, ИТ СО РАН, г. Красноярск
e-mail: sentyabov_a_v@mail.ru

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ СРЕДСТВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ПУЛЬСАЦИЙ В ОТСАСЫВАЮЩЕЙ ТРУБЕ ГИДРОТУРБИНЫ

Потребность в подавлении пульсаций давления возникает в отсасывающих трубах радиально-осевых гидротурбин при режимах неполной загрузки. В этом случае вследствие высокой закрутки потока за рабочим колесом возникает обширная зона рециркуляции, на границе которой прецессирует вихревой жгут. Порождаемые им низкочастотные пульсации давления могут привести к повреждению конструкций турбины. Чтобы уменьшить негативное влияние вихревого жгута иногда применяют специальные конструкции: ребра и крестовины.

Для исследования эффективности данных методов было проведено численное моделирование нестационарного течения в отсасывающей трубе стенда радиально-осевой турбины в различных режимах работы. Оценка воздействия на закрученный поток была проведена для крестовины и ребер различной конфигурации. Крестовина представляла собой четыре плоскости, установленные вдоль оси турбины вблизи входа в отсасывающую трубу. Ребра располагались по образующей конуса отсасывающей трубы в средней и нижней его части и имели форму треугольного выступа.

Расчет проводился в программном комплексе sigmaFlow с помощью метода моделирования отсоединенных вихрей (DES). Метод DES базировался на модели Спаларта-Аллмареса. Уравнения Рейнольдса дискретизировались методом контрольного объема на блочно-структурной сетке. Рассматривались три режима работы: открытия 14 и 24 мм (низкие мощности) и 34 мм (высокая мощность). Сравнение с экспериментальными данными показало качественное совпадение частоты и величины пульсаций давления в зависимости от режима. Определяющее влияние на точность расчета оказывало разрешение зоны отрыва вихревого потока от обтекателя рабочего колеса и последующего формирования прецессирующих вихрей. Так, равномерная и изотропная детализация расчетной сетки в этой области улучшала точность определения частоты и величины пульсаций при открытии 24 мм.

Влияние ребер на пульсации давления оказалось различным для разных режимов. При открытии 14 мм зона рециркуляции занимает большую часть конуса отсасывающей трубы, а прецессирующие вихри проходят вблизи стенки. В этом режиме пульсации на стенке имеют наибольшие значения, но в то же время хорошо подавляются установкой ребер. При установке ребер интенсивность пульсаций давления становится сильно неоднородной по стенке отсасывающей трубы, так как сами ребра порождают интенсивные пульсации давления в области отрыва за ними. По этой причине нецелесообразно делать кромку ребра слишком широкой. Оптимальным количеством ребер, по-видимому, является 4 – 6, когда зоны отрыва за ребрами не занимают значительной площади, а пульсации давления в остальных точках стенки достигают минимального значения. Использование крестовины подавляет прецессию вихревых жгутов, но вызывает интенсивные пульсации вследствие отрыва вихрей от её кромок. Как применение ребер, так и крестовины приводит к смещению спектра пульсаций давления в область более высоких частот. В целом, использование конструктивных средств подавления пульсаций позволяет бороться с низкочастотными пульсациями в отсасывающей трубе, но встает проблема оптимальной конфигурации конструкций.

А. А. ДЕКТЕРЕВ, А. А. ГАВРИЛОВ, А. В. МИНАКОВ, Е. Б. ХАРЛАМОВ
ИТ СО РАН, Красноярск
С. А. ИСАЕВ, А. Г. СУДАКОВ, П. А. БАРАНОВ СПбГУГА, Санкт-Петербург
E-mail: dekterev@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАДАЧ ГИДРОДИНАМИКИ И ТЕПЛООБМЕНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММ SIGMAFLOW И VP2/3

На индустриальном этапе развития CFD, в целом, сформировалась методология конечно-объемного решения задач гидродинамики и тепломассообмена. Ее основные черты следующие. Дискретизация исходных уравнений в криволинейных неортогональных координатах, на центрированном шаблоне с расположением величин зависимых переменных в центре расчетной ячейки сетки. Решение системы уравнений глобальными итерациями в рамках концепции расщепления по физическим процессам с использованием процедуры согласованной коррекции давления (SIMPLE) с регуляризацией Рхи-Чоу на центрированной сетке. Дискретизация конвективных членов уравнений переноса в неявной части по противопоточным односторонним разностям и коррекцией в явной части до схем повышенного порядка аппроксимации (схема Леонарда, TVD схемы, и др.). Повысить скорость сходимости глобальных итераций позволяет решение разностных уравнений методом неполной матричной факторизации или многосеточным методом.

Многолетние усилия по разработке, адаптации и развитии математических моделей турбулентности, неоднородных и многофазных сред, кавитации, радиационного переноса, течений со свободной границей и др., привели к созданию отечественных специализированных многопрофильных пакетов VP2/3 (скорость-давление, двумерная и трехмерная версия) и SigmaFlow.

За последнее десятилетие решен широкий круг фундаментальных, прикладных и эксплуатационных задач аэрогидромеханики и теплофизики, в результате собрана обширная библиотека специализированных моделирующих комплексов, имеющая общие каталоги математических моделей и методов решения уравнений с учетом разнообразных дифференциальных RANS и гибридных RANS/LES моделей турбулентности. Обобщенная процедура коррекции давления развита для расчета отрывных до- и сверхзвуковых течений вязкого газа, несжимаемой жидкости, двухфазных потоков, течений с подвижными границами. При решении ряда тестовых задач продемонстрирована приемлемость выбранных моделей для прогнозирования характеристик пространственных тепло- и массообменных процессов.

Важно подчеркнуть, что тестовые расчеты выполняются в тесном содружестве с экспериментаторами. Детальные численные исследования выполнены совместно с экспериментаторами НИИмехМГУ, СПбГПУ, ЦНИИ им. А.Н. Крылова, ИТ СО РАН (все Россия), университетов Саутгемптона (Великобритания) и Ростока (Германия), CIRA (Италия).

С помощью рассматриваемых пакетов получен ряд важных результатов по вихревой интенсификации теплообмена, успешно решен ряд практических задач.

Объединение комплексов VP2/3 и SigmaFlow может быть положено в основу при разработке пилотного образца универсального открытого отечественного пакета типа для решения задач аэрогидромеханики и теплофизики – аналога международных пакетов OPENFOAM, SATURN.

П. В. ДЕМЕНТЬЕВ, аспирант, КемГУ, г. Кемерово
Ю. Н. ЗАХАРОВ, профессор, д.ф.-м.н., КемГУ, г. Кемерово
Е. Е. ЗЕЛЕНСКИЙ, доцент, к.ф.-м.н., КемГУ, г. Кемерово
М. В. РОДИНА, аспирант, КемГУ, г. Кемерово
e-mail. zaxarovyn@rambler.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ

В развитие [1] предложена двумерная, нестационарная, сопряжённая модель ПГУ с учётом изменения формы огневого штрека, основанная на уравнениях механики реагирующей, многофазной, недеформируемой среды. Учитываются реакции разложения угля, горения летучих продуктов пиролиза и кокса. В общем случае «мокрой» газификации полный набор химических реакций соответствует [2] и газовая смесь в огневом штреке и в порах угля является семикомпонентной (CH_4 , H_2 , CO , O_2 , CO_2 , H_2O , N_2). Область определения задачи разделяется на три подобласти: Ω_1 – область неизотермической фильтрации газовой смеси в угольном пласте, Ω_2 – область ламинарного течения вязкого, теплопроводного, реагирующего газа в огневом штреке, а также в дутьевой и газосборочной скважинах, Ω_3 – область неизотермической фильтрации газовой фазы в окружающем пласт грунте. В Ω_1 выполняются уравнения неразрывности твёрдых, жидкой (H_2O) и газовой фаз, закон Дарси, уравнение энергии пятифазной среды в однотемпературной постановке, уравнения диффузии газовых компонент, уравнение состояния смеси идеальных газов. В Ω_2 решаются уравнения неразрывности газовой смеси, уравнения Навье – Стокса движения неоднородной сжимаемой вязкой жидкости, уравнения энергии, уравнения диффузии и уравнения состояния. В Ω_3 записываются уравнение неразрывности газовой фазы, закон Дарси, уравнение энергии двухфазной среды, уравнения диффузии и уравнение состояния.

На границах Γ_1 , разделяющей области Ω_1 , Ω_3 и Γ_2 , отделяющей Ω_1 , Ω_2 , записываются условия сопряжения, вытекающие из законов сохранения массы и энергии. Положение подвижной границе Γ_1 находится из решения уравнения Гамильтона – Якоби [1].

Методом сеток решается двумерная сопряжённая задача, описывающая начальную стадию ПГУ. Приводятся результаты численных экспериментов.

Список литературы

1. Zakharov Y. N. About one model of in – situ coal gasification / Zakharov M. Y., Zelensky E. E., Potapov V. P., Schastlivtsev E. L. - Mathematical and Informational Technologies (MIT - 2009). - Zbornik rabota - p. 447 – 453.
2. Крейнин Е. В. Нетрадиционные термические технологии добычи трудно извлекаемых топлив: уголь, углеводородное сырьё. М.: ООО «НРЦ Газпром», 2004. – 302 с.

ТЕПЛОВАЯ ДИНАМИКА В СНОСИМОЙ ПОПЕРЕЧНЫМ ПОТОКОМ СЛАБОНЕИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ СТРУЕ

Круглая слабонеизотермическая струя, развивающаяся в сносящем поперечном потоке, представляет интерес не только потому, что это сложная газодинамическая задача, а, прежде всего, из-за широкого ее использования в различных технических устройствах. Основные параметры струи — траектория и дальность, падение температуры вдоль оси струи, границы теплового пограничного слоя.

Физическая модель изучаемого нами течения представляет собой нагретую воздушную осесимметричную струю, которая выбрасывается из трубы под прямым углом к направлению движения воздушного потока. На рис. 1 представлены основные характеристики струи. Для исследования геометрии струи в сносящем потоке применялся аэродинамический канал длиной 5,5 м и поперечным сечением $0,8 \times 0,5$ м [1].

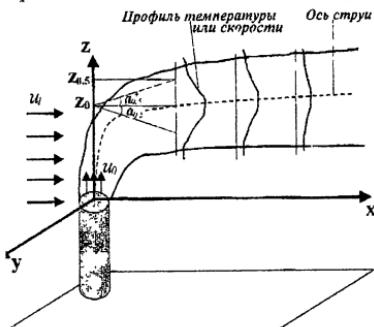


Рис. 1. Геометрические характеристики границ пограничного слоя в струе

В результате экспериментальных исследований установлено, что затухание осевых значений температуры в сносимой поперечным потоком струе происходит более интенсивно по сравнению с затопленной и спутной [2].

Опыты показали некоторое поджатие струи в плоскости симметрии (XZ) вблизи среза трубы и более интенсивное по сравнению с затопленной струей расширение в боковом направлении. Пограничный слой струи в поперечном сносящем потоке асимметричен относительно оси (точек максимальной температуры в слабонеизотермических струях) в поперечных сечениях вблизи источника. С подветренной стороны тепловой пограничный слой шире, чем с наветренной.

Сложность структуры и особенности тепло – массообмена сносимой потоком струи на начальном участке являются, по-видимому, определяющими для ее дальнейшего течения и взаимодействия с окружающей средой.

Список литературы

1. Добросельский, К. Г. Геометрия слабонапорной струи в поперечном воздушном потоке // Теплофизика и аэромеханика. 2001. Т. 8. № 2. С. 199 – 203.
2. Добросельский, К. Г. Вертикальная слабонапорная струя в поперечном потоке // Инженерно-физический журнал. 2005. Т. 78. № 6. С. 143 – 147.

АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОТОКОВ НА ВЫХОДЕ ИЗ УСТЬЯ ГОРЕЛКИ

Одним из важнейших процессов сжигания жидкого топлива является предварительная стадия смесеобразования, которая представляет собой смешение распыленного топлива с воздухом за срезом топочного устройства.

Сжигание тяжёлых топочных мазутов осуществляется в автономных горелках, с механическим распылом, характерная и конструктивная особенность которых является наличие дискового завихрителя первичного воздуха, обеспечивающее эффективное смесеобразование факела. (Рис 1)

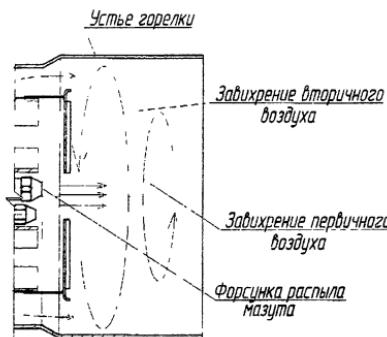


Рис. 1. Устье горелки

Процессы смесеобразования в горелочных устройствах котлов малой мощности и аэродинамические характеристики взаимодействующих потоков первичного и вторичного воздуха с топливным факелом, изучены недостаточно.

Обеспечение процессов интенсивного испарения распыленного мазута на выходе из форсунки и стабилизации аэродинамики потока топливовоздушной смеси, обеспечит качественное выгорание мазута и уменьшение длины факела.

Расчёт аэродинамического взаимодействия потоков в устье горелки и в топочном объёме позволяет определить, с учётом интенсивности испарения мелкодисперсной топливной фазы, температурное поле в факеле и рассчитать скоростные характеристики.

Решение задачи аэродинамики осесимметричного потока проводят в цилиндрической системе координат.

Список литературы

1. Кочин, Н. Е. Теоретическая гидромеханика, ч. 2 / Н.Е. Кочин, И.А. Кибель, Н.В. Розе. - М.: Физматгиз, 1963. – 728 с.
2. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг, Г.А. Вольперта. – М.: 1974. – 712 с.

А. С. ЗАВОРИН, доцент, д.т.н., А. А. МАКЕЕВ, доцент, к.т.н.,
Л. Л. ЛЮБИМОВА, доцент, к.т.н., А. А. ТАШЛЫКОВ, к.т.н.,
Р. Н. ФИСЕНКО ТПУ, г. Томск
e-mail: ronifis@sibmail.com

ОЦЕНКА СРЕДНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ СТЕНКИ ТРУБ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА ПАРОВЫХ КОТЛОВ С ПОМОЩЬЮ РЕНТГЕНОМЕТРИИ

Непосредственное измерение средней температуры стенки труб поверхностей нагрева весьма сложно, однако, знание значения данной характеристики весьма актуально при проектировании паровых котлов (в т.ч при отработке конструкций их головных образцов), исследовании новых марок сталей, совершенствовании нормативных документов, расследовании аварийных ситуаций и т.п. [1, 2].

Метод рентгеновской дифракции позволяет решать многочисленные проблемы, возникающие в котельной технике, причём не только металловедческого характера. Одной из его экспериментальных величин, изменение которой тесно связано с температурой, является интегральная интенсивность дифракционной линии Высокотемпературная рентгенометрия с последующим анализом интегральных интенсивностей дифракционных линий (200) и (110) применительно к стали 12Х1МФ позволила разработать методику оценки температурных условий эксплуатации или разрушения трубных элементов паровых котлов [3].

Из не работавшего в кotle прямого участка трубы был вырезан и отшлифован образец-свидетель. Для тестирования разработанной методики из пяти (преимущественно разрушенных) труб, побывавших в эксплуатации, были изготовлены пять образцов. Методика исследований включала рентгенометрию образца-свидетеля в режиме термоциклирования (в условиях высокого вакуума) и сводилась к сравнительному анализу отношения интегральных интенсивностей дифракционных линий (200) и (110) для образца-свидетеля и пяти анализируемых образцов. Экспериментальное тестирование, проведённые инженерные расчёты [1, 2, 4] и предлагаемая методика рентгенодиагностики обнаруживают хорошее совпадение результатов – прогнозируемая погрешность определения значения температуры не превышает трёх процентов.

Разработанный инструмент рентгенодиагностики температур обладает большой практической значимостью и может успешно применяться и к водогрейным котлам, а также к другим стальным изделиям, работающим в условиях циклического температурного нагружения. Предполагается, что с его помощью можно не только точно регламентировать температурный потолок работы различных марок сталей, но и грамотно разрабатывать новые стали для работы при высоких температурах.

Список литературы

1. Тепловой расчёт котельных агрегатов. Нормативный метод. Изд. третье перераб. и доп. – СПб.: Изд-во НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
2. РД 10-249-98. Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды. Серия 10. Вып. 6. –М.:ГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. – 344 с.
3. Порай-Кошиц М.А. Практический курс рентгеноструктурного анализа / Под ред. чл.-корр. АН СССР Г.Б. Бокия // В 2-х томах. Том II. – М.: МГУ, 1960. – 632 с.
4. Гидравлический расчёт котельных агрегатов. Нормативный метод / О.М. Балдина, В.А. Локшин, Д.Ф. Петерсон и др. – М.: Энергия, 1978. – 256 с.

Р. Ш. ЗАГРУТДИНОВ, к.т.н., Д. Г. МАЛЫХИН, ЗАО «Концерн
«ЕвразЭнергоПром», г. Екатеринбург, e-mail: ravzag@yandex.ru
П. К. СЕНАЧИН, профессор, д.т.н., АлтГТУ им И.И.Ползунова, г. Барнаул,
e-mail: senachinpk@mail.ru
С. Н. ШИТОВА, ЗАО «СУЗМК-ЭНЕРГО», г Среднеуральск,

МОДЕРНИЗАЦИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ УГОЛЬНЫХ ТЭС ВНЕДРЕНИЕМ ГАЗОТУРБИННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С ВНУТРИЦИКОЛОВОЙ ГАЗИФИКАЦИЕЙ

В настоящее время, несмотря на проблему дефицита электрической и тепловой энергии, пылеугольные электростанции используют технологии 80–90-х годов прошлого столетия, а модернизации сводятся к переводу котлов с угля на газ. Поскольку запасы углей велики, а рынок конкурентоспособен, то экономически целесообразными могут стать новые угольные технологии. В настоящее время перед энергетиками открыты три основных пути развития генерирующих мощностей.

- замена существующего изношенного оборудования на аналогичное новое, с возможным некоторым увеличением мощности на 10-20 %;
- строительство новых высокоэффективных энергоблоков на сверхкритические и ультрасверхкритические параметры пара;
- строительство парогазовых установок (ПГУ) с внутрициклической газификацией угля.

Первый путь можно назвать модернизацией лишь с натяжкой, но он имеет достоинства – относительно низкие капиталовложения и сохранение существующей общей структуры ТЭС. Второй и третий пути предлагают современные высокоэффективные технологии с высокими капитальными затратами.

Проведен анализ модернизации пылеугольных электростанций (ПГУ) с внутрициклической газификацией угля, основными задачами которой являются: повышение эффективности использования угля, безболезненная интеграция новой установки в существующую схему ТЭС, снижение общего уровня выбросов, удержание капиталовложений на конкурентоспособном уровне. Рассмотрение этих задач невозможно без привязки к реалиям нашего времени, которые таковы, что все вопросы реализации этого типа установок в России не ушли дальше лабораторных образцов.

Рассмотрена схема, объединяющая все последние достижения теории и практики, где производство электроэнергии выглядит следующим образом. Уголь подвергается паровоздушной газификации в слоевых газогенераторах. Газ подвергается очистке и сжигается в газовой турбине с производством электроэнергии. Физическая теплота сырого генераторного газа и продуктов сгорания утилизируется.

Разработана система газификации угля в плотном слое с воздушным дутьём для последующего сжигания полученного газа в промышленных газовых турбинах с интеграцией в существующую ТЭС. Предлагаемая модернизация генерируемых мощностей в интеграции с пылеугольными станциями и с ПГУ с внутрициклической газификацией с воздушным дутьём (по сравнению с кислородной) имеет ряд технологических, экологических и экономических преимуществ.

Газотурбинные технологии – общемировой вектор развития энергетики. В настоящее время промышленность России обладает технологиями и готова выпускать оборудование для подобных проектов по стоимости, сопоставимой с традиционными технологиями. Внедрение технологий газификации угля создаст хорошую базу для развития смежных производств – энергетического газа, синтетических жидкых топлив и других продуктов (метанола, эфиров, моторных топлив, масел, удобрений и др.).

Р.Ш. ЗАГРУТДИНОВ, к.т.н., **Д.Г. МАЛЫХИН**, ЗАО «Концерн «ЕвразЭнергоПром»»,
г. Екатеринбург, e-mail: ravzag@yandex.ru

П.К. СЕНАЧИН, профессор, д.т.н., АлтГТУ им. И.И Ползунова, г. Барнаул,
e-mail: senachinp@mail.ru

С.Н. ШИТОВА, ЗАО «СУЗМК-ЭНЕРГО». г. Среднеуральск,
С.А.ФИЛИПЧЕНКО, «Ренфорс – Новые Технологии», г. Самара.

ПРОИЗВОДСТВО ЖИДКОГО СИНТЕТИЧЕСКОГО ТОПЛИВА ИЗ УГЛЯ

Получение жидких синтетических топлив (ЖСТ) из местного сырья становится в настоящее время всё более актуальным по нескольким причинам:

- достаточно высокие цены на внутреннем рынке на углеводородные жидкые топлива, в том числе на дизельное;
- значительно отстающий от роста промышленности ввод новых мощностей по переработке нефти создаёт ажиотажный спрос на жидкое топливо.

В последние годы всё более явным становится тот факт, что одним из рациональных путей решения проблем энергообеспечения малых и средних предприятий и отдалённых населённых пунктов является замещение жидких углеводородных топлив ЖСТ, путем газификации местного или недорогого привозного твёрдого топлива с последующим синтезом получаемого генераторного газа. Отметим, что в настоящее время газификация твердых топлив для сжигания синтезированного газа в теплопотребляющих установках, либо получения из него различных продуктов (ЖСТ, метанола и пр.) является определяющим вектором развития энергетики.

В работе рассматриваются технические и инвестиционные предложения по строительству комплекса производства ЖСТ мощностью от 5,0 до 6,9 тыс. тонн в год из синтез-газа, получаемого газификацией кускового угля и брикетированных отходов добычи и обогащения каменных углей и антрацитового штыба, и включают в себя:

- при газификации отсева антрацитового штыба установку двух (или трёх) газогенераторов прямого процесса, являющихся одними из самых дешёвых при изготовлении и простых в эксплуатации конструкций, включая системы подачи угля в газогенераторы паровоздушного дутья, удаления очаговых остатков и другие;
- при газификации кускового и брикетированного каменного или бурого угля – установку двух-трёх трёхзонных газогенераторов обращённого процесса;
- применение достаточно простой системы очистки генераторного газа и подготовки его для использования в блоке переработки в ЖСТ;
- оборудование блоком выработки ЖСТ по методу Фишера-Тропша с жидкими кобальтовыми катализаторами;
- установку энергетического оборудования, позволяющего максимально утилизировать избыточное тепло всех процессов, имеющих место во всём комплексе.

Расчётная себестоимость тонны моторного топлива усреднённого ЖСТ качестве (70 % дизтоплива, 15 % - бензина, 15 % - автогаза), произведенного из брикетов смеси отсева и шламов антрацита, без учёта дополнительно отдаваемой тепла внешним потребителям, составляет 6,9 тыс. рублей за тонну.

При этом годовая прибыль за счёт замещения натуральных продуктов (дизтоплива, бензина и автогаза) синтетическими аналогами и продажи внешним потребителям электрической и тепловой энергии составит – 97,9 млн. рублей, а срок окупаемости проекта по строительству комплекса составит примерно от 20-ти месяцев до одного года в различных вариантах реализации.

Р. Ш. ЗАГРУТДИНОВ, к.т.н., А. Н. НАГОРНОВ, к.т.н.,
ЗАО «Концерн «ЕвразЭнергоПром», г. Екатеринбург, e-mail ravzag@yandex.ru
Н. А. НАГОРНОВ, С. Н. ШИТОВА, ЗАО «СУЗМК ЭНЕРГО»,
г. Среднеуральск, e-mail mail@suzmk.ru
П. К. СЕНАЧИН, профессор, д.т.н., АлтГТУ им И.И.Ползунова,
г. Барнаул, e-mail senachinp@mail.ru

РЕКОНСТРУКЦИЯ УСТАРЕВШЕГО КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЕДИНИЧНОЙ МОЩНОСТИ И УЛУЧШЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Проблема дефицита электрической и тепловой энергии в ряде регионов России в настоящее время накладывается на проблему возрастающего физического и морально-го износа существующего энергетического оборудования

Представлена концепция модернизации устаревшего энергетического оборудования с увеличением паропроизводительности котлов за счёт реализации на них современных технологических решений, при сохранении существующих габаритных размеров ячеек самого котла и его вспомогательного оборудования. При этом модернизация нескольких котлов ТЭС обходится дешевле капитального строительства нового котла.

Предприятиями ЗАО «Концерна «ЕвразЭнергоПром», в том числе базовым предприятием ЗАО «СУЗМК ЭНЕРГО», было выделено направление по разработке соответствующих технических решений реконструкции и модернизации с целью:

- замены и модернизации физически изношенных котлов с увеличением их паропроизводительности;
- улучшение технико-экономических показателей работы котлов за счёт внедрения более эффективных по своим теплообменным характеристикам материалов;
- улучшение экологических характеристик работы котлов за счёт реализации на котлах современных технологических внутритопочных средств подавления оксидов азота и оборудования котлоагрегатов высокоеффективными золоуловителями с коэффициентом золоулавливания не менее 99,4-99,5 %;
- снижение инвестиционных и удельных производственных затрат на получение дополнительного тепла (пара).

Для решения этих задач, совместно с Барнаульским СКБ КУ разработана концепция реконструкции устаревших пылеугольных котлов, включающая в себя:

1. Реализацию на котлах системы нижнего дутья (СНД).
2. Реконструкцию горелочных устройств.
3. Реконструкцию системы подачи пыли в горелки с переводом на ТПВКд.
4. Использование высокоеффективных материалов при изготовлении поверхностей нагрева, расположенных в конвективной шахте.

В качестве примера приводятся результаты реализации представленных решений при модернизации двух типов котлоагрегатов БКЗ-320-140 и БКЗ-420-140 работающих на экибастузском угле. В результате реконструкции двух котлов БКЗ-320-140, с повышением их паропроизводительности до 400 т/ч, и шести котлов БКЗ-420-140, с повышением их паропроизводительности до 460 т/ч, ТЭЦ увеличила свою суммарную производительность на 400 т/ч. При этом работы были выполнены в течение 5 лет (с 2004 по 2009 годы) «под ключ», начиная с проектирования и заканчивая пуско-наладочными работами.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ КОНСОЛЬНЫХ НАСОСОВ

Насосные агрегаты нашли широкое применение в различных отраслях промышленности, в том числе и в энергетике. Они перекачивают различные по агрессивности и размерам твёрдых примесей среды. Большое распространение получили центробежные насосы консольного типа, одной из проблем которых является нескомпенсированное осевое усилие. Оно возникает из-за разности площадей переднего и заднего дисков рабочего колеса и соответствующего различного давления перемещаемой жидкости. В случае отсутствия компенсирующего устройства увеличивается сопротивление в подшипниковом узле и, соответственно, растут энергозатраты. Компенсирующие устройства, основанные на создании перетоков, вихревых потоков и т.п., как правило, работают от энергии приводного двигателя насоса. В результате их применения возникает возможность установки менее прочных подшипников или увеличение их ресурса, но частично снижается производительность насоса и увеличиваются энергозатраты.

Как показывает анализ всемирно известной компании GRUNDFOS, стоимость жизненного цикла насосов - это сумма всех затрат на: приобретение, монтаж, эксплуатацию, электроэнергию, обслуживание. Распределение трех основных статей затрат в течение 10 лет эксплуатации в теплоснабжающих компаниях показано на диаграмме. В



Распределение затрат при эксплуатации насоса

руктивных схем и определить рациональные параметры систем магнитного взаимодействия на основе математического моделирования

связи с этим можно заметить, что, повысив КПД насоса, можно получить существенный экономический эффект.

Наиболее перспективным решением компенсации осевого усилия является использование силового взаимодействия постоянных магнитов. При этом не затрачивается энергия, в подшипниковом узле практически отсутствуют осевые усилия и, соответственно, снижаются энергозатраты. В настоящее время с появлением мощных магнитных материалов разработано довольно много решений с применением магнитных муфт, колец и лент. Ожидаемое снижение энергозатрат - до 15%. Однако, требуется провести анализ конст-

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ТЕРМОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВУЛКАНИЗАЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Цель данной работы – математическое моделирование теплопереноса и полимеризационных процессов, протекающих при вулканизации типичных кабельных изделий, а также анализ влияния параметров нагревательной камеры вулканизационной печи на завершенность полимеризации изоляционной оболочки.

Процессы тепломассопереноса с химическим реагированием в рассматриваемой системе при $0 < t_p$ описывает система нестационарных дифференциальных уравнений

Система нелинейных нестационарных дифференциальных уравнений (1)–(5) с начальными (6) и граничными (7) условиями решена методом конечных разностей [5].

Численное моделирование физико-химических процессов при вулканизации типичных кабельных изделий позволило выделить основные факторы, влияющие на степень полимеризации оболочки и температурное поле кабельного изделия. Установлены зависимости полноты завершения реакции полимеризации от параметров, характеризующих условия теплообмена в нагревательной печи.

Полученные результаты теоретического исследования и представленную модель тепломассопереноса с химическим реагированием можно использовать для численного анализа энергозадачности процессов вулканизации типичных кабельных изделий на производстве.

Список литературы

1. Леонов В.М., Пешков И.Б., Рязанов И.Б., Холодный С.Д. Основы кабельной техники – М.: Издат. центр «Академия», 2006 – 432 с.
2. Тепломассообмен. Справочник / Под ред А.В. Лыкова. – М.: Энергия, 1978. – 479 с.
3. Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Воспламенение пожароопасной жидкости одиночной «горячей» частицей // Пожаровзрывобезопасность. – 2007. – № 6. – С. 13–20.
4. Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Моделирование воспламенения жидкого вещества горячей частицей // Химическая физика. – 2009. – № 5. – С. 91–98.
5. Самарский А.А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1983. – 616 с.

И. Х. ИСЛАМОВ, КГЭУ, г.Казань

ildario89@mail.ru

А. И. ФЕДОТОВ науч рук д-р. техн. наук, проф.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИНАМИЧЕСКИХ КОМПЕНСАТОРОВ ИСКАЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

На сегодняшний день перед энергетиками стоит задача как обеспечивать более высокую надежность электроснабжения и требуемый уровень напряжения. Особенно это касается для промышленных потребителей, у которых при провалах или искажениях напряжения происходит нарушение технологического процесса и брак на производстве. Как один вариант решения этой проблемы я предлагаю применение динамических компенсаторов искажения напряжения. Динамический компенсатор искажений напряжения (6(10) кВ) представляет собой преобразователь напряжения (выпрямитель, инвертор) с пофазным управлением на базе полностью управляемых выпрямителей (ПУВ), который подключен к сети питания потребителя и через вольтодобавочный трансформатор (ВДТ) перераспределяет мощности (P , Q) таким образом, чтобы добавка напряжения ΔE на вторичной обмотке полностью компенсировала искажение напряжения при любых нарушениях в питающей сети. ДКИН регулирует напряжение нагрузки к номинальному значению, устранив кратковременные нарушения электроснабжения от энергосистемы. Является более дешевой и надежной альтернативой источникам бесперебойного питания (ИБП). И моя задача состоит в том, что бы изучить, как себя поведет это устройство не только при повреждениях на питающей линии, но при внешних возмущениях в сети (короткое замыкание на параллельной линии или на сборных шинах высокого напряжения, асинхронный режим генератора и т.д.). Я хочу рассчитать насколько сильные искажения напряжения вызывают внешние возмущения на подстанций предприятия. Потом смоделировать эту сеть в программе MATLAB и если результаты будут положительными, то уже сравнить с экономической точки зрения с другими вариантами решения проблемы.

К-ε МОДЕЛИ В УСЛОВИЯХ ДИССОЦИАЦИИ ГАЗОВОЙ СМЕСИ

Хорошо известно, что в условиях тепловой деформации потока, вызванной наличием химических реакций в теплоносителе, общие потери напора представляют собой затраты на линейном участке с учетом особенностей течения и теплообмена в локальных областях движения. В данных областях формируются переходные ламинарно-турбулентные течения, существенно влияющие на интегральные параметры. Для их прогноза в рамках моментной теории турбулентности целесообразны многопараметрические модели, естественным образом учитывющие данные процессы.

K-ε модель является наиболее удачной моделью турбулентности первого уровня замыкания. Для описания гурбулентных величин в ней используется система двух нелинейных диффузионных уравнений – для кинетической энергии *K* и скорости диссипации турбулентной энергии *ε*.

K-ε модели имеют вид:

$$\frac{DK}{Dt} = \mu_i \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[(\mu + \mu_i / \sigma_\nu) \frac{\partial K}{\partial x_i} \right] - \varepsilon - \Phi; \quad (1)$$

$$\frac{D\varepsilon}{Dt} = \mu_i C_1 f_1 \frac{\varepsilon}{K} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - C_2 f_2 \frac{\varepsilon^2}{K} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[(\mu + \mu_i / \sigma_\varepsilon) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + E; \quad (2)$$

где принято обозначение: $\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u_i \frac{\partial}{\partial x_i}$.

Для описания процессов переноса тепла и импульса в условиях химически реагирующих сред были проанализированы *K-ε* модели SST (*Shear Stress Transport*), *Лаундера-Шарма, Хванга-Лина, Нагано*.

Выбранные модели вполне удовлетворительны при описании низкорейнольдсовых слабозакрученных и прямоточных течений химически реагирующих сред с реакциями типа диссоциации–рекомбинации: $A_2 \leftrightarrow 2A$, $2AO_2 \leftrightarrow 2AO + O_2$, где под A понимаются простые и сложные молекулы разных элементов, таких как, например: N, C, O.

В работе анализируются как слабозакрученные, так и сильнозакрученные течения, что требует введения дополнительных критериальных связей для трения и теплоотдачи из-за существенной анизотропии потока, для расчета которых должны быть использованы транспортные уравнения рейнольдсовых напряжений. Замыкающие члены требуют модификации в силу громоздкости используемых алгебраических моделей. В данной работе используются две из таких версий: WJ-модель *Валлина-Йоханссона* и CLS-модель *Крафта-Лаундера-Шуги*.

Список литературы

1. Craft, T.J., Launder, B.E., Suga, K. Development and application of a cubic eddy – viscosity model of turbulence. Int. J. Heat and Fluid Flow 17:108-115, 1996.
2. Юн, А.А., Крылов, Б.А. Расчет и моделирование турбулентных течений с теплообменом, смешением, химическими реакциями и двухфазных течений в программном комплексе Fastest-3D: Учебное пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2007. – 116с.

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТОПКИ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

На стадии разработки котельного агрегата (КА) необходимо проводить моделирование процессов сжигания топлива в топочном пространстве, которое позволяет осуществлять многовариантный выбор технических решений, из которых впоследствии выбирается наиболее оптимальный.

Для численного моделирования процессов сжигания топлива в топочном пространстве КА записана и решена система уравнений, описывающих гидродинамику и теплообмен в топке котельного агрегата для элементарной динамической модели [1].

Проведено численное моделирование процесса сжигания в топке КА для различных марок углей.

Сравнение максимальных температур в топке КА для различных сортов каменного угля представлено в таблице.

Таблица

Марка топлива	$Q_{\text{н}}^{\text{p}}$, кДж/кг	T_{max} , °C	Марка топлива	$Q_{\text{н}}^{\text{p}}$, кДж/кг	T_{max} , °C
Кузнецкий уголь	27822	1997,96	Ангренский Б.	14455	1077,67
Донецкий АШ	25182	1816,2	Ирша-Бородинский	14960	1112,44
Подмосковный.	10517	806,55	Донецкий Г.	24720	1784,39

Из этой таблицы видно, что максимальную температуру имеет Кузнецкий уголь (1998 °C). Были проведены численные расчеты при различных геометрических размерах, скорости движения газов, расхода воды и пара. Таким образом, модель топки КА позволяет выбрать наилучший вариант сжигания топлива с экономической точки зрения.

Список литературы

1. Дорохов, А. Р. Моделирование тепловыделяющих систем : учеб. пособие / А. Р. Дорохов, А. С. Заворин, В. С. Логинов – Томск : Изд-во НТЛ, 2000. – 234 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГК № 14.740.11.0101

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ДЛЯ РАБОЧИХ И НАПРАВЛЯЮЩИХ ЛОПАТОК СОВРЕМЕННЫХ ГАЗОВЫХ ТУРБИН

Целью работы являлась разработка критерииев эксплуатационной надежности по микроструктурному состоянию металла, по которым возможно оценить пригодность рабочих и направляющих лопаток к эксплуатации при проведении плановых остановов турбин. Разработка критерииев эксплуатационной надежности показана на примере лигото никелевого сплава равноосной кристаллизации IN 792, имеющего высокую жаропрочность (рабочие температуры на металле 850 °C).

Для достижения данной цели в работе решались следующие задачи. Установливалось влияние эксплуатационного старения при рабочих температурах, а также оценивалось влияние перегревов длительностью 1 ч в диапазоне температур 950...1250 °C на микроструктуру, кратковременные механические и жаропрочные свойства металла рабочих и направляющих лопаток из сплава IN 792.

В результате проведенных исследований установлено следующее

1. При кратковременных перегревах в лопатках из сплава IN 792 происходит рост частиц первичной γ' -фазы. Те же процессы происходят и в процессе длительного старения при рабочей температуре металла.

2. В результате комплексных испытаний механических и жаропрочных свойств после кратковременных перегревов и высокотемпературного старения и сравнения результатов испытаний с микроструктурой металла, разработаны критерии оценки надежности лопаток по микроструктурному состоянию: размеры частиц первичной γ' -фазы не более 1,3 мкм. При этом структурном состоянии механические и жаропрочные свойства сплава отвечают требованиям ТУ. Разработанные критерии позволяют оценивать пригодность лопаток к эксплуатации при плановых ревизиях.

В. С. КАЛЕКИН, профессор, д т.н., Д. В. КАЛЕКИН, к т.н., ОмГТУ, г Омск
e-mail: kalekinvc@mail.ru

ПОРШНЕВОЙ ПНЕВМОДВИГАТЕЛЬ С САМОДЕЙСТВУЮЩИМ ВПУСКНЫМ КЛАПАНОМ

Широкое распространение в пожаро-взрывоопасных производствах нефте-газогорнодобывающих отраслях промышленности для привода погрузочных и погрузочно-транспортных, стволовых машин, лебёдок, тельферов, буровых ключей и других механических устройств получили поршневые пневматические двигатели.

Замена принудительного газораспределения на самодействующие клапаны является одним из направлений совершенствования конструкций поршневых пневмодвигателей. Пневмодвигатели с самодействующими клапанами могут составить конкуренцию пневмодвигателям с принудительным газораспределением, особенно на режимах функционирования с переменным и повышенным давлением сжатого воздуха на входе.

В лаборатории кафедры «Машины и аппараты химических производств» ОмГТУ создана лабораторная установка, на которой была проведена серия экспериментов по исследованию рабочих процессов поршневых пневмодвигателей на повышенном давлении сжатого воздуха (до 1 МПа).

В процессе экспериментальных исследований установлено, что наиболее рациональный рабочий процесс прямоточных поршневых пневмодвигателей с наименьшими удельными затратами может быть обеспечен путём регулирования высоты подъёма запорного элемента при закрытии впускного клапана при относительном ходе поршня около 0,45-0,75 от ВМТ; форсированный режим работы пневмодвигателя при жёстких пружинах сжатия достигается увеличением высоты подъёма запорного элемента, обеспечивающим закрытие нормально открытых впускных клапанов в момент прохождения поршнем выхлопных окон; для обеспечения запуска пневмодвигателя и его функционирования наиболее целесообразно использовать схему с двумя оппозитно расположеными цилиндрами.

Установлено также, что индикаторная мощность N_i и частота вращения вала n пневмодвигателя зависит от: начального давления p_n , диаметра цилиндра D , хода поршня S , величины относительного мёртвого пространства a , размеров, количества и расположения выхлопных окон f_0 , максимальной высоты подъёма запорного элемента клапана h , предварительного поджатия и суммарной жесткости пружин C_{np} .

Предложена безразмерная зависимость для расчёта индикаторной мощности при создании поршневых пневмодвигателей на типовых унифицированных компрессорных базах

$$\frac{C_{np} \cdot n \cdot D^3}{N_i \cdot h} = 7,7 \cdot \left(\frac{C_{np}}{p_n \cdot h} \right)^{0,95} \left(\frac{f_0}{D^2} \right)^{0,1} \left(\frac{S}{D} \right)^{-1} \cdot a^{0,25},$$

которая может быть использована при следующих безразмерных соотношениях:

$$C_{np} / (p_n \cdot h) = 3,3 - 16,5; f_0 / D^2 = 0,0375 - 0,105; S / D = 0,633 - 3,125; a = 0,31 - 2,0.$$

А. А. КАСЬКОВ, ведущий электроник технического отдела КузГТУ, г Кемерово
Е. И. КАГАКИН, д.х.н., профессор КузГТУ, г Кемерово kei.hft@kuzstu.ru
А. Р. БОГОМОЛОВ, д.т.н., с.н.с. ИТ СО РАН, г. Новосибирск barom@kuzstu.ru
С. С. АЗИХАНОВ, к.т.н., доцент кафедры ПМИАХП, КузГТУ, г Кемерово

РАЗРАБОТКА АНТИСМЕРЗАЮЩЕГО КОМПОНЕНТА И СПОСОБ ВНЕСЕНИЯ ЕГО В МАССУ УГЛЯ

В периоды низких температур при перевозке железнодорожным транспортом угля происходит смерзание его массы, примерзание к металлической поверхности вагонов. Это приводит к увеличению стоимости перевозки на 20–25%.

Для борьбы против примерзания и смерзания угля при транспортировке применяются различные смеси, контролирующие смерзание (СКС), в том числе профилактические смазки нефтяного происхождения – ниогрин–С, ниогрин–ПС, северин–2. Условия отрицательных температур и влажность угля более 9% требуют добавок около 1% на массу отгружаемого угля (10 кг/т или 700–750 кг на вагон) при условии ее сплошной обработки. Перечисленные профилактические смазки являются продуктами первичной переработки нефти, вследствие чего имеют достаточно высокую стоимость, и как следствие, влекут за собой значительные финансовые затраты, сравнимые с дополнительными затратами на разгрузку смерзшейся массы угля.

Для уменьшения приведенных затрат были проведены исследования обработки угля в процессе загрузки антисмерзающими реагентами на основе продуктов вторичной переработки нефти и с использованием послойной обработки с целью уменьшения расхода СКС, но без ухудшения условий разгрузки. Послойная обработка, производимая в промышленных условиях непосредственно при загрузке в вагон путем периодической подачи реагента в ниспадающий поток массы угля с конвейерной ленты, была реализована на модельном вагончике в лабораторных условиях. Обработанные и необработанные слои угля располагались относительно донной поверхности вагона под углом, соответствующим углу естественного откоса сыпучей массы. Толщина обработанной и необработанной массы угля реализовывалась при соотношении 1 : 2.

Результаты сравнения условий выгрузки в случае послойной обработки угля и при сплошной, показали практически одинаковую эффективность. При этом способ по-слойной обработки реагентом уменьшает его расход до 30% требуемого при сплошной обработке.

О. Н. КАШИНСКИЙ, зав. лаб., д.ф.-м.н., **П. Д. ЛОБАНОВ** ст.н.с. к.т.н.,
А. С. КУРДЮМОВ м.н.с. (ИТ СО РАН), г. Новосибирск.
Н. А. ПРИБАТУРИН, глав. н.с. д.т.н. (ИБРАЭ РАН), г. Москва.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЗОНЫ ТРЕХМЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ОДНОФАЗНОГО ПОТОКА В КОЛЬЦЕВОМ КАНАЛЕ С ЧАСТИЧНЫМ ПЕРЕКРЫТИЕМ СЕЧЕНИЯ

При теплогидравлическом обосновании реакторных установок необходимо описание сложных явлений, возникающих при движении потока теплоносителя в каналах различной геометрии. Используемые в настоящее время одномерные методики измерений обеспечивают лишь консервативные прогнозы, а двух- и трехмерные расчетные коды требуют знания турбулентных характеристик течения и соответствующей эмпирической информации, получаемой из эксперимента. Для тестирования существующих теплогидравлических кодов используется отрывочная экспериментальная информация о движении потоков в вертикальных и горизонтальных трубах, в каналах и соединениях простой формы, причем большинство таких данных получено за рубежом. В то же время в реальных энергетических установках течения зачастую носят трехмерный характер. Одним из примеров такого течения можно считать взаимодействие потока теплоносителя с дистанционирующей решеткой, которая служит для поддержания расстояния между соседними твэлами в активной зоне реактора.

Детальные экспериментальные исследования 3D течений в настоящее время практически отсутствуют. Это чрезвычайно затрудняет процесс разработки новых трехмерных методик теплогидравлического моделирования процессов и делает невозможной детальную верификацию разрабатываемых кодов. Изучение таких явлений должно идти по пути понимания их физических механизмов с постепенным усложнением задачи исследования. В этой связи особую роль приобретает физическое моделирование как отдельных составляющих комплексного явления, так и, в конечном итоге, моделирование явления в целом.

Исходя из вышеперечисленных требований, в данной работе поставлена задача экспериментального исследования гидродинамики течения жидкости в осесимметричном кольцевом канале, часть сечения которого перекрыта заслонкой. Данный объект исследования является простой физической моделью сборки пучка стержней, содержащих дистанционирующую решетку.



Рисунок 1. Схема поперечного сечения канала. (а) - канал со свободным проходным сечением; (б) - канал с частичным перекрытием сечения.

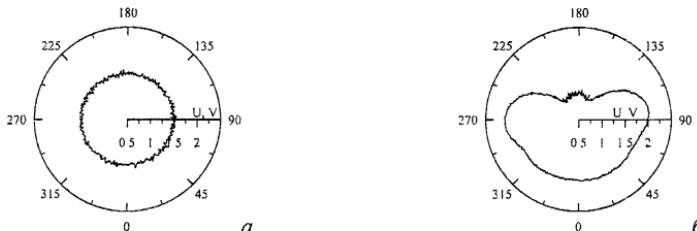


Рисунок 2. Сигнал датчика трения на стенке внутренней трубы канала. (а) - кольцевой канал с осесимметричным течением; (б) - кольцевой канал с частичным перекрытием сечения (заслонкой).

Экспериментальная установка представляет собой замкнутый гидродинамический контур, снабженный системой термостабилизации рабочей жидкости. Рабочим участком является вертикальная труба из оргстекла внутренним диаметром $D=42.2$ мм и длиной 3600 мм. По оси этой трубы установлена внутренняя металлическая труба с наружным диаметром $d=20$ мм. Гидравлический диаметр кольцевого канала $D_h=22.2$ мм. В рабочем участке реализуется восходящее течение жидкости. В кольцевом канале установлена заслонка – металлическая пластина высотой 2 мм, перекрывающая четверть поперечного сечения кольцевого канала (рис. 1). Заслонка находится на расстоянии 2700 мм от входа в рабочий участок. Рабочей жидкостью является раствор ферри- и ферроцианида калия и гидрокарбоната натрия в дистиллированной воде. Вязкость жидкости соответствует таковой для дистиллированной воды при температуре 25° С.

Применяемая методика измерения среднего и пульсационного напряжения трения на стенке основана на использовании электродиффузационного метода измерений. Примеры применения электродиффузационного метода для исследования гидродинамики потоков в вертикальных трубах приведены в [1]. Электродиффузационный датчик трения был вмонтирован во внутреннюю трубу кольцевого канала. Эта труба закреплялась на координатном устройстве, которое производило перемещение вдоль вертикальной оси канала и вращение трубы. В результате можно было изменять положение датчика относительно заслонки, что позволяло проводить исследование поля течения как по продольной, так и по азимутальной координатам.

Примеры сигналов датчика трения в канале со свободным проходным сечением и частично перекрытым сечением приведены на рисунках 2 а и 2 б соответственно. В случае свободного проходного сечения наблюдается равномерное распределение напряжения датчика трения вокруг центральной трубы канала. В случае перекрытия части сечения канала картина течения существенно меняется. В области, соответствующей расположению заслонки, наблюдается существенное снижение напряжения трения на стенке за счет затенения потока заслонкой. В открытой части сечения канала наблюдается увеличение напряжения трения на стенке из-за увеличения скорости жидкости. Следует отметить неравномерное распределение напряжения трения на стенке в свободной части проходного сечения канала.

Список литературы

- Накоряков В. Е., Бурдуков А. П., Кашинский О. Н., Гешев П. И. Электродиффузационный метод исследования локальных характеристик турбулентных течений. Новосибирск: ИТФ СО РАН, 1986.

О ВЛИЯНИИ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ И ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОАГРЕГАТОВ

При работе турбины Френсиса в режимах частичных или форсированных нагрузок в следе за рабочим колесом возникает закрученное течение. В результате неустойчивости и/или асимметричной геометрии спиральной камеры образуется винтообразный вихревой жгут. Целью данной работы является развитие моделей кавитирующего вихревого жгута и оценка влияния газовой/паровой фазы на пульсации давления в отсасывающей трубе гидротурбины и на гидроакустические характеристики системы в целом.

Экспериментальное исследование влияния газовой фазы на пульсационные характеристики в вихревой камере с прецессирующими винтообразным вихрем [1] выявило резкое уменьшение частоты прецессии вихря при переходе от однофазной жидкости к двухфазному потоку. С дальнейшим повышением газосодержания частота монотонно нарастает. На основе модели винтового вихря [2], в рамках которой получены зависимости частоты прецессии вихря от его геометрических характеристик и параметров течения, а также анализа экспериментальных зависимостей построена полуэмпирическая модель, описывающая зависимость частоты прецессии вихря и амплитуды пульсаций давления от газосодержания.

Для моделирования гидроакустических явлений в данной работе применяется хорошо апробированный и достаточно простой импедансный метод [3]. Гидравлический импеданс каждого элемента зависит от скорости распространения возмущений. В отводящем трубопроводе характер и скорость распространения возмущений, в свою очередь, существенно зависят от наличия воздушной или паровоздушной полости, возникающей за втулкой рабочего колеса.

Для определения импеданса и скорости распространения возмущений в отсасывающей трубе необходимо знать параметры образующейся каверны – ее объем и объемную упругость. С этой целью используются подходы, являющиеся обобщением идеи, предложенной в работе Wang et al. [4].

В случае возникновения винтового вихревого жгута пульсации, вызываемые его прецессией могут рассматриваться как внешние возмущения. Частота и амплитуда пульсаций давления оценивается с учетом влияния газовой фазы. Проведены тестовые расчеты пульсационных характеристик системы для различных данных, на основании которых сделан вывод о работоспособности разработанных моделей для прогнозирования резонансных и автоколебательных явлений в потоке гидротурбины.

Список литературы

1. Alekseenko, S. V., Kuibin, P. A., Okulov, V. L., Shtork S.I. Vortex precession in a gas-liquid flow // Heat Transfer Research. 2010. Vol. 41, Iss. 4. P. 465-478.
2. Алексенко, С. В., Куйбин, П. А., Окулов, В. Л. Введение в теорию концентрированных вихрей. – Новосибирск: Институт теплофизики СО РАН, 2003.– 504 с.
3. Dörfler, P. Mathematical model of the pulsations in Francis turbines caused by the vortex core at part load // Bulletin Excher. Wyss. 1/2. 1980. P. 101-106.
4. Wang, X., Nishi, M., Tsukamoto, H. A simple model for predicting the draft tube surge // Proceedings, 17th IAHR Symposium, Beijing, China, 1994.

Г. В. КУЗНЕЦОВ, профессор, д.ф.-м.н., НИТПУ, г. Томск

М. Д. КАЦ, доцент, к.ф.-м.н., НИТПУ, г. Томск

e-mail: Katz@tpu.ru

О ВЛИЯНИИ ТОЛЩИНЫ ОБРАЗЦА И ДЛЯТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСА НА ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ ВСПЫШКИ

Известно, что при разработке метода лазерной вспышки (LFA) [1], используемого для экспериментального определения теплофизических характеристик (ТФХ) материалов и веществ, принят ряд допущений, являющихся источниками погрешностей. Однако до настоящего времени не проведена оценка масштабов погрешностей метода LFA определения ТФХ материалов, связанная с изменением его толщины и длительности импульса нагрева. Численно решена одномерная задача о нестационарном температурном поле бесконечной пластины при воздействии на ее поверхность теплового импульса конечной временной протяженности при отсутствии теплообмена на «горячей» и «холодной» границах.

На рис. 1 приведены зависимости погрешности определения коэффициента температуропроводности материалов от толщины образца L при продолжительности импульса нагрева $\tau_{имп} = 1,5$ мс.

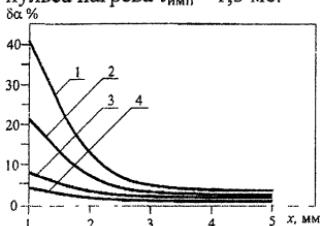


Рис. 1. Зависимости погрешности $\delta\alpha$ определения коэффициента температуропроводности материалов от толщины образца:

1 – медь; 2 – цинк; 3 – сталь СТ.10; 4 – карбид циркония.

Объяснение полученных результатов лежит в допущении метода LFA [1]: поглощение в бесконечно тонком слое фронтальной поверхности образца импульса лучистой энергии малой длительности. В реальных условиях эксперимента длительность импульса имеет всегда конечное значение и зависит от типа используемого лазера. В этом случае зона поглощения лучистой энергии $L_{погл}$ не является бесконечно малой величиной, что следует учитывать при оценке погрешностей определения ТФХ материалов. Однако увеличение толщины исследуемого образца приводит к увеличению времени эксперимента и, как следствие, к увеличению погрешностей за счет теплообмена с окружающей средой. Поэтому для уменьшения погрешности $\delta\alpha$ материалов требуется значительное уменьшение значения $\tau_{имп}$, что не всегда возможно в реальном эксперименте по техническим характеристикам используемых лазеров.

Список литературы

1. Parker W. J., Jenkins R/J., Butler C.P. e. a. Flash method of determining thermal diffusivity, heat capacity and thermal conductivity // J. Appl. Phys. – 1961. – V. 32. – N 9. – P. 1675–1684.2.
2. Кузнецов, Г.В., Кац, М.Д. Теоретический анализ методических погрешностей определения теплофизических характеристик конструкционных материалов импульсным методом в образце конечных размеров // Измерительная техника. – 2009. – №4. – с. 34 – 36.

Г. В. КУЗНЕЦОВ, профессор, д.ф.-м.н., ТПУ, г. Томск

Г. Я. МАМОНТОВ, профессор, д.ф.-м.н., ТГАСУ, г. Томск

А. В. ТИТОВ, ассистент, ТГАСУ, г. Томск

e-mail: avtitov@sibmail.com

ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС И ОКИСЛЕНИЕ МЕТАЛЛА В ИНТЕГРАЛЬНОЙ МИКРОСХЕМЕ

Одной из основных причин отказов электронных приборов (ЭП) является окисление металлических элементов в транзисторах и интегральных микросхемах. Воздух и влага может попасть в электронные приборы через трещины в пластиковом корпусе [1]. Механизмы и математические модели отказов полупроводниковых приборов и микросхем из-за коррозии и окислении металлизации в настоящее время недостаточно проработаны [2].

В работе проведена оценка масштабов влияния этих процессов на надежность интегральной схемы при длительной эксплуатации. Рассматривалась задача о температурном поле двухслойной («металл–полимер») пластины с локальным дефектом–микротрещиной рис. 1. Проводник нагревался под действием движения электрических зарядов. Возрастание температуры способствовало увеличению скорости окисления металла окислителем в трещине. В результате толщина металлизации в области трещинообразования уменьшалась.

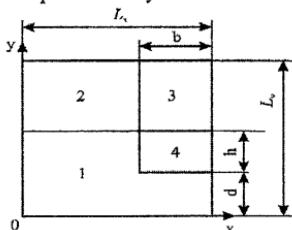


Рис. 2. Изменение во времени надежности электронного прибора при различных значениях коэффициента конвективного теплообмена 1, 2, 3, 4 соответственно $\alpha=1, 2, 3, 4 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$

Задача сводилась к решению двумерных нестационарных уравнений теплопроводности методом конечных разностей на неравномерной прямоугольной сетке. На каждом шаге расчета температур проводился контроль консервативности разностной схемы.

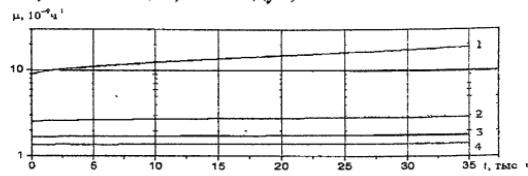
Полученные зависимости температуры проводника от времени эксплуатации электронного прибора использовались для расчета показателя надежности ЭП с помощью модели Аррениуса.

На рис. 2 приведена зависимость надежности электронного прибора от времени при различных условиях эксплуатации. Видно, например, что уменьшение коэффициента α от 4 до 1 $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ приводит к снижению надежности ЭП с дефектом в изоляции в десять раз. При слабом конвективном теплообмене электронного прибора с окружающей средой и росте температуры среды от 253 до 313 К надежность микросхем может снижаться в тысяччу раз и более при окислении металлизации.

Список литературы

- Бартеев Г.М., Зеленев Ю.М. Физика и механика полимеров. – М.: Высшая школа. – 1983. - 391 с.
- Строгонов, А.В. Долговечность субмикронных БИС и ПЛИС / А.В. Строгонов // Микроэлектроника. - 2005. - № 2. - С. 138-158.

Рис. 1. Область решения задачи теплопереноса: 1 – металл; 2 – изоляция; 3 – воздух; 4 – пленка окисла



Г. В. КУЗНЕЦОВ, д.ф.-м.н., проф., И. П. ОЗЕРОВА, доц.,
Ю. С. ЦЫГАНКОВА аспирант, НИ ТПУ, г. Томск
e-mail: prizzz@sibmail.com

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ ФАКТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ТЕПЛА ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

В связи с выходом ФЗ № 261 от 23 ноября 2009 г. [1] одной из основных задач энергетической политики России является перевод экономики страны на энергосберегающий путь развития. Огромный потенциал энергосбережения (25 %) кроется в коммунально-бытовом секторе [2]. Оценка потенциала энергосбережения в коммунально-бытовом секторе при транспортировке теплоносителя в тепловых сетях показана на примере реальной тепловой сети в г.Кемерово. Для рассматриваемой тепловой сети разработан программный комплекс, позволяющий рассчитывать тепловые потери и снижение температуры теплоносителя по длине теплопровода с учетом изменения теплозащитных свойств изоляции при различных негативных факторах (увлажнение изоляции, затопление, деформация и полное или частичное отсутствие изоляции), приводящих к интенсификации теплопередачи в системе. Рассматривается ряд наиболее типичных нештатных режимов работы тепловых сетей:

1. Увлажнение тепловой изоляции (от незначительного (10 %) увлажнения и до полного (100 %) увлажнение изоляции с затоплением канала);
2. Отсутствие изоляции на теплопроводе (полное или частичное);
3. Деформация теплоизоляционного покрытия.

Приводятся результаты расчета фактических потерь тепла с учетом неоднородности теплоизоляционного покрытия по длине трубопроводов и оговоренных выше нештатных режимов эксплуатации тепловых сетей.

Проводится сравнение полученных результатов с потерями, рассчитанными при проектных условиях работы и потерями, рассчитанными по установленным в действующих нормативных документах [3] удельным нормам.

На основе полученных результатов сделан вывод о важности учета технического состояния и условий эксплуатации теплопроводов при расчете тепловых потерь. Показан значительный потенциал энергосбережения при движении теплоносителя в тепловых сетях за счет элементарных ремонтно-эксплуатационных работ по приведению изоляции трубопроводов в должное техническое состояние и соблюдении проектных условий эксплуатации тепловых сетей. Кроме того, выявлена возможность ужесточения нормативных потерь тепла [3] для современных теплоизоляционных материалов с высоким термическим сопротивлением.

Список литературы

1. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г № 261–ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. Мельникова, М. П. Теплоснабжение России: состояние и перспективы развития // ЭСКО. – 2010.– № 3.
3. СО 153–34.20.523–2003. Методические указания по составлению энергетической характеристики для систем транспорта тепловой энергии по показателю «тепловые потери», часть 3.

Д. А. КУЛАКОВСКИЙ, преподаватель-стажер, УО БГАТУ, г. Минск

E-mail: kulik_106@mail.ru

А. И. ЗЕЛЕНЬКЕВИЧ, старший преподаватель, УО БГАТУ, г. Минск

E-mail: alex_zelenkewich@tut.by

ТРЕХФАЗНЫЙ СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

В энергетике выпрямители нашли широкое применение. Достоинствами существующих моделей выпрямителей являются высокие показатели надежности, повышение качества выпрямляемых параметров, возможность регулирования диапазона стабилизации, компактность. Основными недостатками выпрямителей являются потери электрической энергии при работе, влияние качества выпрямляемого напряжения на работу электроприемников, сложность конструкции. В БГАТУ разработан трехфазный стабилизированный выпрямитель, в котором увеличена глубина стабилизации выходного напряжения, путем использования тиристорной схемы выпрямления. Основными составляющими трехфазного стабилизированного выпрямителя являются тиристорная схема выпрямления и система управления тиристорами.

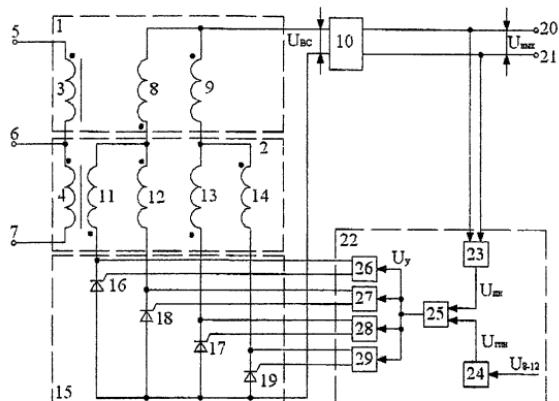


Рис. 1. Функциональная схема трехфазного стабилизированного выпрямителя:
 1, 2 – однофазные трансформаторы; 3, 4 – первичные обмотки трансформаторов; 5, 6, 7 – выводы однофазных трансформаторов; 8, 9, 11, 12, 13, 14 – вторичные обмотки трансформаторов; 10 – фильтр; 15 – выпрямительная схема; 16, 17, 18, 19 – тиристоры; 20, 21 – выходы фильтра; 22 – система управления; 23 – формирователь импульсов управления; 24 – генератор пилообразного напряжения; 25 – формирователь импульсов управления; 26, 27, 28, 29 – усилители импульсов.

23 – делитель напряжения; 24 – генератор пилообразного напряжения; 25 – формирователь импульсов управления; 26, 27, 28, 29 – усилители импульсов.

Использование данного трехфазного стабилизированного выпрямителя со схемой выпрямления, выполненной на четырех тиристорах, позволяет значительно расширить диапазон стабилизации выходного напряжения и тем самым повысить качество выходного напряжения.

Список литературы

1. Розанов, Ю.К. Основы силовой электроники / Ю.К. Розанов. - М.: Энергоатомиздат, 1992. – 153 с.
2. Трехфазный стабилизированный выпрямитель : пат. 2337463 Российская Федерация, МПК Н 02 М 7/155 / О.В. Григораш, А.Е. Усков, В.В. Энговатова, А.М. Передистый, А.О. Григораш ; заявитель Кубанский гос. аграрный ун-т. - № 2007129431/09 ; заявл. 31.07.2007 ; опубл. 27.10.2008.

С. И. ЛАЗАРЕВ, к.т.н., ОАО «СКЭК», г. Кемерово

e-mail: lazarev_si@skek.ru

Д. А. ЛАПИН, ОАО «СКЭК», г. Кемерово

e-mail: lda@skek.ru

СЖИГАНИЕ КЕКА ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК КОКСУЮЩИХСЯ УГЛЕЙ В КОТЛАХ СО СЛОЕВОЙ ТОПКОЙ

Замена топлива на котельных на специально приготовленное водо-угольное топливо экономически целесообразно только при замещении дорогих видов топлива, таких как топочный мазут. Себестоимость водо-угольного топлива складывается из затрат на приобретение твердого топлива, транспортировку, приготовление водо-угольной суспензии с добавлением реагента-пластификатора, и затрат на замену измельчающих элементов в мельницах из-за их быстрого выхода из строя при размоле угля с добавлением воды. Все это в конечном счете приводит к удорожанию получившегося топлива, а с учетом того, что низшая теплота сгорания водо-угольного топлива ниже, чем у каменного угля примерно в два раза – замена традиционного сжигания каменного угля на ВУТ часто становится экономически не целесообразно.

При обогащении на фабриках коксующихся углей отходы мелкой фракции сегодня ни где не используются и вывозятся в отвалы. Нами была предпринята попытка использовать вывозимый в отвал КЕК с ОФ «Северной» г. Березовский, для сжигания вместе с углем в котлах со слоевой топкой котельной №7. Фракционный состав, зольность и влажность выбранного КЕКа позволяет применять его в качестве топлива без дополнительной обработки. Основные затраты на приготовление ВУТ сводятся только на транспортные расходы КЕКа от обогатительной фабрики до котельной, которые составляют на сегодняшний день 140 руб./т. Привезенный на котельную КЕК активируется и сжигается в топке котла. Себестоимость получаемого таким образом ВУТ на порядок ниже каменного угля, что делает переход на сжигание данного вида топлива в угольных котлах экономически привлекательным.

Сжигание водо-угольного топлива в котельной №7 ОАО «СКЭК» производится в котле РН-38. Данный котел имеет ручную слоевую топку. Распыл ВУТ в топке котла осуществляется пневматической форсункой разработанной ИТ СО РАН совместно с ООО «ТеплоПром».

КЕК ОФ «Северная» является отходом углеобогащения коксующихся углей. Для предотвращения заноса поверхностей нагрева спекшейся золой, а также увеличения температуры в зоне горения ВУТ для стабильного зажигания в топке котла смонтирован муфель.

Промышленные испытания технологии сжигания ВУТ из КЕКа ОФ «Северной» выявили следующие возможности для повышения эффективности процесса:

- 1) Конструктивное совершенствование форсунки, оптимизация угла установки улучшит процесс сжигания топлива.
- 2) Процесс горения ВУТ сильно зависит от состава исходного сырья (влажности, зольности, содержания горючего углерода), для контроля качества поступающего сырья необходимо разработать систему оперативного входного контроля.
- 3) Необходимо реконструировать систему дутья с целью снизить потери тепла с уходящими газами из-за увеличения коэффициента избытка воздуха в топке.
- 4) Оптимальное соотношение ВУТ и угля при работе топки позволит получить экономическую эффективность, улучшить условия труда машинистов и улучшить экологическую обстановку.

ОСОБЕННОСТИ ТЕЧЕНИЯ ЗАТОПЛЕННОЙ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ И ПЛОСКОЙ МИНИСТРУЙ

В последнее время интерес к изучению микроструй значительно возрос, что связанно, в частности, с развитием МЭМС-технологий, а так же в связи с потенциальным использованием микроструй в различных процессах, например таких как микроохлаждение, струйное горение, производство нанопорошков и т.д. Кроме того, научный интерес представляет выявление масштабных эффектов, влияющих на структуру течения струи.

Авторы работы [1] получили значительно затянутый начальный ламинарный участок для плоских сопел от 50 до 200мкм, при достаточно больших числах Рейнольдса (до 320), что ранее считалось невозможным для струйных течений. Однако известны работы, в которых подобный эффект уже описывался, но для более широких струй, и при больших числах Рейнольдса. В работе [2] авторами использовалось круглое сопло с диаметром 1.5мм и исследованным диапазоном чисел Рейнольдса от 200 до 2000. Тем не менее, длина ламинарного участка струи составляла еще большую величину, чем по результатам работы [1].

В данной работе представлены результаты исследования структуры течения дозвуковых министруй. Изучалось влияние начального диаметра струи на длину ламинарного участка струи. Объектом исследования являлись дозвуковая министруя, истекающая из труб диаметрами 500мкм, 1500мкм, 3500мкм, 4500мкм и 8000мкм, и из плоского канала с шириной 600мкм. Отношение длии труб (каналов) к их диаметру (ширине) составляло от 80 до 120, что позволяло получить развитое течение, с сомкнувшимися пограничными слоями на выходе. Отношение высоты канала к его ширине составляло 30. Числа Рейнольдса изменялись в пределах от 200 до 5000.

Визуализация течения струи производилась с помощью импульсного лазера с задымлением окружающего пространства струи, или с добавлением дыма в питающую магистраль воздуха. Критерием, при определении длины ламинарной зоны, считалось геометрическое место образования первого турбулентного вихря в струе.

Профили средней скорости и интенсивности турбулентности измерялись методами термоанемометрии и методом PIV. На выходе из сопел, при малых числах Рейнольдса, профиль средней скорости соответствовал профилю Пуазеля, а интенсивность турбулентности составляла менее 1%. Далее вниз по течению профиль перестраивался к теоретическому профилю ламинарного струйного течения Шлихтинга, но вследствии различия начальных условий истечения полного соответствия между теорией и экспериментом не было. После распада струи, наблюдался классический профиль турбулентного струйного течения для макроструй.

Список литературы

3. Chie Gau, C. H. Shen, Z. B. Wang, Peculiar phenomenon of micro-free-jet flow PHYSICS OF FLUIDS, Vol. 21, No. 092001, c. 1-13 (2009)
4. Dusica Koller-Milojevic, Wilhelm Schneider, Free and confined jets at low Reynolds numbers, Fluid Dynamics Research, 12, c. 307-322 (1993)

А. С. ЛОБАСОВ, аспирант (ИИФиРЭ СФУ), г. Красноярск

А. В. МИНАКОВ, к.ф.-м.н (ИИФиРЭ, СФУ), г. Красноярск

e-mail: perpetuityts@mail.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТЕПЛООБМЕННИКЕ НА ОСНОВЕ МИКРОКАНАЛОВ

Бурное развитие электроники, микроэлектроники и медицины, а также миниатюризация устройств в различных областях техники, например, в аэрокосмической индустрии, транспорте и энергетике являются причиной существенного роста интереса к капиллярной гидродинамике и теплообмену в микросистемах. Для охлаждения микроэлектронного оборудования используются и разрабатываются миниатюрные тепловые трубы, микро-, миниканалы с однофазным и двухфазным течениями, а также микроканальные блоки разнообразной конфигурации, выполненные из различных материалов.

В данной работе было проведено моделирование параллельного микроканального теплообменника. Размеры микроканала: высота – 0,772 мм, ширина – 1,1 мм, длина – 50 мм, количество микроканалов в блоке – 15 штук. В качестве рабочей жидкости использовалась вода с постоянными свойствами. В каждом микроканале на нижней и боковых стенках задавалась постоянная плотность теплового потока, равная $10 \text{ кВт}/\text{м}^2$. Верхняя стенка – адиабатическая.

Была проведена серия расчётов, в которых варьировалось число Рейнольдса. Исследовались зависимости чисел Пуазейля и Нуссельта от числа Рейнольдса. Полученные расчётные данные сравнивались с экспериментом [1] и аналитикой (Рис. 1).

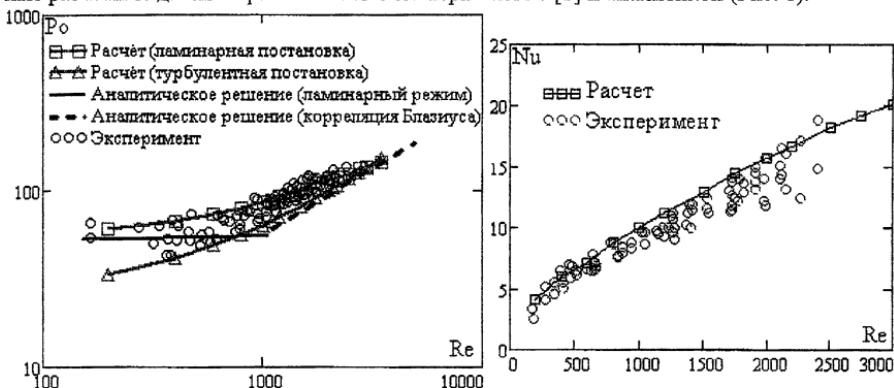


Рисунок 1 – Сопоставление численного моделирования с аналитикой и экспериментом

Таким образом, анализ сопоставления результатов численного моделирования с аналитическими и экспериментальными данными показал очень хорошее согласование данных, следовательно, CFD пакет \square Flow может применяться для решения задач гидродинамики и теплообмена.

Список литературы:

- [1] Khandekar, Sameer. Thermo-Hydrodynamics of Developing Flow in a Rectangular Mini-Channel Array / Sameer Khandekar, Gaurav Agarwal, Manoj Kumar Moharana. – 2010. – С. 1342-1349.

ПОДГОТОВКА БАКАЛАВРОВ И МАГИСТРОВ – ТЕПЛОФИЗИКОВ В СИБИРСКОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

С 2011 года набор студентов в высшие учебные заведения осуществляется по федеральным государственным образовательным стандартам высшего профессионального образования третьего поколения (ФГОС ВПО-3). По стандартам второго поколения в СФУ осуществлялась подготовка студентов по специальности «Теплофизика» и программе магистерской подготовки «Теплофизика и молекулярная физика» в направлении «Техническая физика», укрупненной группы 140000 «Энергетика, энергетическое машиностроение и электротехника», а также по специализации «Теплофизика» по специальности «Физика», укрупненной группы 010000 «Физико-математические науки». До образования Сибирского федерального университета подготовка инженеров и магистров была в Красноярском государственном техническом университете (КГТУ), а физиков – в Красноярском государственном университете (КГУ).

При переходе к стандартам третьего поколения подготовку студентов по направлению «Техническая физика» (бакалавров по профилю «Теплофизика» и магистров по программе «Теплофизика и молекулярная физика») оказалось возможным вести в двух направлениях: 140700 «Ядерная энергетика и теплофизика» и 223200 «Техническая физика», кроме того, в направлении 011200 «Физика» в профиле «Фундаментальная физика», по-прежнему, возможна организация курсов по выбору, соответствующих специализации «Теплофизика».

Таким образом, кафедрой Теплофизики Института инженерной физики и радиоэлектроники СФУ были разработаны учебные планы подготовки бакалавров по всем трем направлениям, в которых специальные дисциплины теплофизического профиля одновременно читаются всем студентам, выбравшим эту специализацию [1]. Кроме того, учебные планы составлены таким образом, что весь первый курс все студенты этих трех направленийчатся по одинаковому учебному плану. Это позволяет обеспечить академическую мобильность студентов в пределах института. Сами планы содержат одинаковый блок гуманитарных и социально-экономических дисциплин, а также почти одинаковую по содержанию и объему физику и математику. Основное расхождение планов сосредоточено в общепрофессиональной части – у физиков это курсы теоретической физики, а у двух других направлений – это базовые инженерные курсы, такие как инженерная и компьютерная графика, электротехника, метрология и т.д.

В дальнейшем выпускники любого из указанных направлений подготовки бакалавров могут продолжить обучение в магистратуре кафедры, а затем в аспирантуре по специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Список литературы

- 1.Лобасова, М. С. Сравнительный анализ содержания образовательных стандартов третьего поколения по направлениям подготовки инженерно-физического отделения института инженерной физики и радиоэлектроники СФУ / М. С. Лобасова. – Инновационная интегрированная система профессионального образования: проблемы и пути развития. Материалы Всероссийской научно-методической конференции (4 февраля 2011, г. Красноярск) / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск 2011. – С. 14-16.

В. С. ЛОГИНОВ, доктор физико-математ. наук (НИ ТПУ),
О. С. СИМОНОВА, аспирант (НИ ТПУ)

ПРИБЛИЖЕННЫЙ РАСЧЕТ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛООТДАЧИ ПРИ ПЛЕНОЧНОЙ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА НА ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТЕНКЕ

В промышленных теплообменных аппаратах – конденсаторах часто наблюдается нестационарный процесс конденсации при регулировании отборов пара в отдельных ступенях турбины ТЭС, ТЭЦ. В таких условиях изменяется во времени коэффициент теплоотдачи. Впервые Нуссельтом получены расчетные зависимости коэффициента теплоотдачи (КТО) применительно к стационарному процессу конденсации.

В докладе дан расчет нестационарной теплоотдачи при пленочной конденсации пара на вертикальной стенке. Для получения расчетных зависимостей КТО и толщины пленки δ_x была решена система уравнений, состоящая из дифференциального уравнения теплопроводности, дифференциального уравнения движения и при краевых условиях однозначности. Приравнивая количество теплоты, которое выделяется при конденсации пара к теплоте, переносимой теплопроводностью к твердой поверхности стенки, получаем уравнение для определения толщины пленки. Искомый коэффициент теплоотдачи $\alpha = \frac{\lambda}{\delta_x} M(Fo)$. При стационарном тепловом режиме $\alpha_x = \frac{\lambda}{\delta_x}$. Изменение во времени τ , толщины пленки конденсата δ_x и локального коэффициента теплоотдачи α_x при $x = 3$ м представлено в таблице.

Таблица

$\tau, \text{с}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	Стационарный режим
$\delta_x, 10^{-5} \text{ м}$	1,86954	4,17691	5,89155	12,0618	13,13
$\alpha_x, \text{Вт}/(\text{м}^2\text{K})$	36110	16160	11460	5653	5225

Работа выполнена по государственному контракту № 14.740.11.0101

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ

Активное потребление природных ресурсов (нефти, газа, угля) отрицательно отражается на экологическом балансе Земли. Но возобновляемые источники восстанавливаются, поэтому на уровне правительств всего мира рассматриваются проблемы сохранения и эффективного использования природных богатств. На рис.1 дана секторная диаграмма использования ВИЭ.

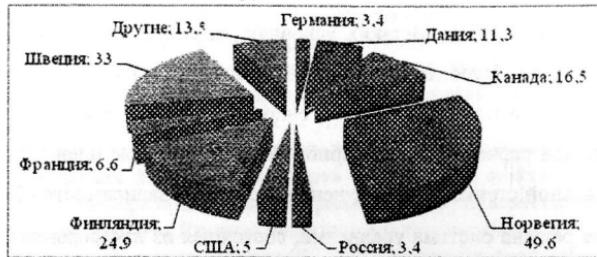


Рис. 1. Использование ВИЭ в Скандинавии, РФ и других странах

Анализ литературы [1] по ВИЭ показывает, что хотя наиболее оправдано массовое их применение в системах отопления и кондиционирования, но оно актуально и для электрического освещения.

Во многих странах для освещения улиц и магистралей используются светильники на солнечных батареях (СБ). Целесообразным для таких светильников является использование солнечного излучения в сочетании с современными перспективными источниками света – светодиодами. Преимущества таких установок: экологичность, долговечность, пожаро- и электробезопасность. Монтаж установок с автономным питанием не требует проведения земляных работ для прокладки кабеля и устройства воздушной линии электроснабжения.

При проектировании электроустановки с использованием ВИЭ (СБ и ВГ) следует провести анализ: распределения освещенности по сезонам с учетом продолжительности светлого времени; географического положения объекта; статистики силы ветра. Система электроснабжения может быть как полностью независима от магистральных сетей, так и встроена в сеть общего пользования.

Список литературы

1. Никитин В.Д., Толкачева К.П. Оценка экономической целесообразности использования солнечных и ветровых электроустановок для освещения// Материалы 11-ой Всероссийской науч.-практ.конф."Энергоэффективность систем жизнеобеспечения города." – Красноярск: Изд.МВДЦ "Сибирь". – 2010. – С.148-152.

М. С. НИКИШАНИН, Е. М. ПУЗЫРЕВ, д.т.н., ООО СКБ «ПроЭнергоМаш»,
г. Барнаул e-mail: mc17@yandex.ru , pem-energo@list.ru
П. К. СЕНАЧИН, профессор, д.т.н., АлтГТУ им. И.И.Ползунова, г. Барнаул,
e-mail: senachinpk@mail.ru

БРИКЕТИРОВАНИЕ БУРЫХ УГЛЕЙ, ОТХОДОВ УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ, ДЕРЕВОПЕРЕРАБОТКИ И СЕЛЬХОЗПРОИЗВОДСТВА И НЕКОТОРЫЕ ПУТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

При добыче углей, в том числе бурых углей, их переработке и обогащении, образуется большое количество неиспользуемых или используемых неэффективно тонкодисперсных отходов (в основном, в виде шламов высокой влажности), содержащих до 50–70 % углерода. Накопление и складирование таких отходов не только наносит существенный ущерб земельным ресурсам, но и крайне невыгодно с экономической точки зрения.

Далеко не всегда квалифицированно используются и другие горючие материалы, например, отходы деревопереработки, целлюлозно-бумажного производства (лигнины), иловые осадки, навоз, куриный помёт и пр. Между тем, на их основе могут быть получены высококачественные топливные брикеты, с заданной крупностью и потребительскими свойствами.

Несмотря на разнообразие связующих веществ в настоящее время ощущается дефицит доступных, экологически безопасных и обеспечивающих технологические требования связующих материалов.

В последние годы нами проведены многочисленные исследования по получению брикетов широкого назначения. Цель работы – разработка технологии производства брикетов без добавления связующих веществ (или с минимальным количеством связующих), исследование их теплофизических характеристик и возможных областей применения. При этом путем комбинирования материалов различной исходной влажности разработать эффективный способ снижения влажности получаемых брикетов, достижение приемлемых прочностных свойств и устойчивости (неизменности свойств) при достаточно длительном хранении.

Предлагается также технология брикетирования отходов, где связующим является один из исходных материалов: лигнин, кек пресс-фильтров, угольные шламы (влажностью 35-40% и фракцией менее 100 мкм) и другие. Вместе с тем, подобные связующие можно получать в разработанном нами механическом активаторе путём совместного измельчения и механоактивации материалов высокой влажности (порядка 45-75 %) и сухих (около 10-15 %). Далее в процессе прессования происходит удаление лишней влаги. Согласно результатам исследования, суммарная влажность исходного материала должна находиться в пределах 23-37 %. Получаемый в результате брикет сырц имеет плотную, пластичную структуру и (после подсушки до влажности 10-18 %) обладает хорошими тепломеханическими характеристиками. Средний расход электрознергии составляет около 25кВт*час на тонну продукции.

Возможные области применения продукции весьма разнообразны:

1. Топливные пеллеты и брикеты или гранулы (для производства генераторного газа).
2. Производство тепловой и электрической энергии.
3. Композитные материалы для стройиндустрии.
4. Шихтовые компоненты для металлургии и гранулы для химических производств.
5. Получение на их основе концентрированных удобрений широкого применения и др.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКОВ КОМБИНИРОВАННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК

Газификация твердого топлива является методом его облагораживания, благодаря чему может быть расширена топливная база экономики страны. Нами предложенная схема энерготехнологической установки (ЭТУ) с парокислородной газификацией угольной пыли в поточном реакторе (рис. 1), которая позволяет комбинированным способом получать водородсодержащий газ, электрическую и тепловую энергию и золоплашковый продукт.

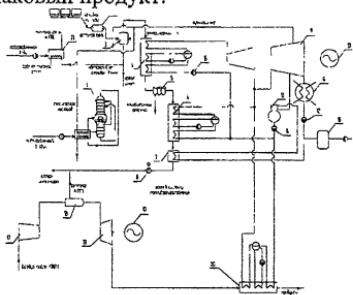


Рис. 1. Технологическая схема ЭТУ 1 – воздухоразделяльная установка, 2 – система подготовки угольной пыли, 3 – реактор газификации, 4 – котел-utiлизатор №1; 5 – система очистки газа, 6 – котел-utiлизатор №2; 7 – подогреватель конденсата, 8 – компрессор синтез-газа; 9 – паровая турбина, 10 – электрогенератор, 11 – конденсатор, 12 – конденсатный насос, 13 – деаэратор, 14 – питательный насос; 15 – бустерный насос, 16 – химводоподготовка; 17 – компрессор ГТУ; 18 – камера горения, 19 – газовая турбина, 20 – котел-utiлизатор на продуктах горения синтез-газа, 21 – емкостной подогреватель ГВС (аккумулятор теплоты)

В качестве топлива в расчетах принят кузнецкий уголь общим расходом на 3 газогенератора 362,7 т/ч с удельным расходом пара 0,47 кг_п/кг_т и кислорода 0,48 кг_р/кг_т. Выход синтез-газа составляет 2,15 м³/кг_т следующего состава: CO₂=2,5%; CO=48,0%; H₂=38,9%; N₂=1,3%; H₂O=9,3% и следы H₂S. В качестве критерия эффективности использования топлива предложены эксергетические КПД установки и системный КПД ЭТУ с учетом замещающих производств, т.к. варианты отличаются по выработке теплоносителей и требуется приведение их к равному производственному эффекту: по синтез-газу – ЭТУ с КПД 78%, по электроэнергии – 32 и 44%

Показатель, ед изм	Направление использования синтез-газа		
	Отпуск потребителю	50%-сжигание / 50%-отпуск	Сжигание на ЭТУ в цикле ПИУ
Электрическая мощность ЭТУ, кВт	95658	532054	939976
Отпуск синтез-газа, м ³ /с	219,42	109,71	–
Эксергетический КПД, %	81,7	58,3	33,8
Системный эксергетический КПД, %	57,6/66,4	57,2/61,1	55,9

Технико-экономическими расчетами установлено, что при цене за природный газ 2,5-3,0 руб./м³ предельная дальность транспорта теплоносителя по однотрубной магистрали с температурой 75 °С составляет 45-55 км (при уносе в газоходы 50% золы дальность снижается до 23-28 км). Отпуск теплоносителя от одного реактора составляет 11800 кВт. Нами так же разработана методика инженерного расчета аппаратов для очистки газа от сероводорода с использованием известняка (CaCO₃).

Д. В. ПЛАТОНОВ, аспирант (ИИФиР, СФУ), г. Красноярск

А. В. МИНАКОВ, к.ф.-м.н (ИИФиР, СФУ), г. Красноярск

И. М. ПЫЛЕВ, ОАО «Силовые машины» (ЛМЗ), г. Санкт-Петербург

platonov-08@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ УСТАНОВКИ ПОЛОГО ЦИЛИНДРА НА СТАБИЛИЗАЦИЮ ПОТОКА В ДИФФУЗОРЕ ОТСАСЫВАЮЩЕЙ ТРУБЫ

Важнейшими условиями безопасной и эффективной работы гидроэнергетических систем, как вновь создаваемых, так и уже эксплуатирующихся, являются надежность и долговечность используемого оборудования.

Суть проблемы заключается в том, что в переходных режимах работы гидроагрегата (частичная или форсированная нагрузка) в отсасывающей трубе формируется прецесссирующий винтообразный вихревой жгут.

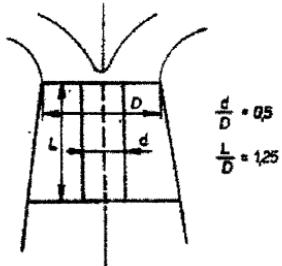


Рисунок 1 – Постановка задачи

В данной работе рассмотрен один из вариантов стабилизационной конструкции – установка полого цилиндра в пространство диффузора отсасывающей трубы. Такая конструкция была рассмотрена в работе М. Нехлеба [1], так как это показано на рисунке 1.

Анализируя результаты, по данному виду стабилизирующих конструкций можно сформулировать следующее. Наличие полого цилиндра в середине диффузора отсасывающей трубы, в целом, приводит к снижению интенсивности пульсаций давления. В среднем, в зависимости от диаметра цилиндра снижение интенсивности пульсаций составило от 16% при $d=0.5D$ до 33% при $d=0.75D$. Дальнейшее увеличение диаметра цилиндра, по видимому, нецелесообразно, поскольку это приведет к экранированию стенок трубы стенками цилиндра.

Также необходимо отметить следующее – в реальной турбине цилиндр необходимо будет крепить к стенкам отсасывающей трубы. Наиболее простой способ крепления – при помощи поперечных ребер. Если ребра были взяты достаточно широкими, то они могли хорошо разбивать вихри, которые формируются в зазоре между цилиндром и стенками трубы. Таким образом, действие данного вида стабилизирующих конструкций на поток может быть более сложным, чем просто наличие полого цилиндра. Наличие в потоке цилиндра без ребер приводит к снижению пульсаций на 10-30%.

Список литературы

1. М. Нехлеба. Возникновение вихревого хвоста в турбине Френсиса и его давление. Перевод ЛМЗ №2479.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ДВУХТРУБНЫХ КАНАЛЬНЫХ ТЕПЛОПРОВОДОВ

Энергетической Стратегией России [1], применительно системам транспорта тепловой энергии, продекларированы сокращение тепловых потерь и утечек теплоносителя, а также организация оптимальных режимов функционирования тепловых сетей, теплоисточников и потребителей.

В настоящее время проектирование и исследования по путям организация оптимальных режимов функционирования тепловых сетей основаны на применении общих балансовых соотношений [2], не учитывающих разнородность и нестационарность процессов теплообмена, наличие фазовых переходов, изменение условий эксплуатации и взаимодействия тепlopроводов с окружающей средой. Необходимость усовершенствования действующих правил по проектированию тепловой изоляции оборудования и трубопроводов [2] диктуется Энергетической стратегией [1], а также подтверждается проведенными ранее исследованиями [3]. В [3] подведены итоги исследования имеющихся подходов к анализу тепловых потерь и тепловых режимов систем транспортировки тепла, выявлены достоинства и недостатки всех методов и однозначно указано на необходимость разработки альтернативных подходов к анализу теплопотерь рассматриваемых систем.

Целью данной работы является разработка альтернативного подхода к анализу тепловых режимов и тепловых потерь систем транспортировки тепла по результатам решения сопряженных задач кондуктивно-конвективного теплопереноса для подземных канальных двухтрубных тепlopроводов.

В результате решения сформулированной задачи:

1. Разработан альтернативный подход к анализу тепловых режимов и тепловых потерь систем транспортировки тепла на базе решения сопряженной задачи кондуктивно-конвективного теплопереноса в системе «подземный канальный двухтрубный тепlopровод – окружающая среда».
2. Показано, что применение предложенного подхода позволяет проводить многоплановый анализ тепловых режимов систем транспортировки тепла и, соответственно, определять оптимальные режимы эксплуатации тепловых сетей, характеризующиеся минимальными тепловыми потерями.
3. Установлено, что полученные результаты позволяют говорить о перспективности применения разработанного подхода при создании энергосберегающих систем транспортировки тепла.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (ГК № П1445 от 03.09.09) и при частичной поддержке гранта Президента РФ (проект № МК-1284.2011.8).

Список литературы

1. Развитие теплоснабжения в России в соответствии с Энергетической стратегией до 2030 г. // Новости теплоснабжения. – 2010. – № 2. – С. 6 – 9.
2. СП 41-103-2000. Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. М.: Госстрой России, 2001. – 42 с.
3. Шишкун А.В. Определение потерь тепла в сетях централизованного теплоснабжения // Теплоэнергетика. – 2003. – № 9. – С. 68 – 74.

М. Е. ПУЗЫРЕВ, К. С. АФАНАСЬЕВ, М. В КАШИРСКИХ,
П. К. СЕНАЧИН ПроЭнергоМаш-Проект, г.Барнаул. rem-energo@list.ru

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОГНЕВОЙ УТИЛИЗАЦИИ УГЛЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Работа предприятий углеобогащения и коксования сопряжена с выработкой большого количества отходов. Это шламы, штыбы, коксовая мелочь. Сжигание этих углесодержащих отходов в типовых слоевых топках, имеющихся на предприятиях, котлов организовать невозможно из-за преобладания мелких, легко выносимых из топки частиц. Совместное сжигание отходов с каменным или бурым углем так же проблематично. Компания «ПроЭнергоМаш» разрабатывает новые технологии с целью вовлечения этих отходов в топливный баланс предприятий.

Реконструированный паровой котел КЕ-25-14ШпВТ переведен на сжигание технологических отсевов коксовой мелочи. Коксовая мелочь низкореакционна, так как она термически обработана и имеет пониженный выход летучих. Естественно она состоит из очень легко уносимых из топки частиц и сжигание подобных отходов проблематично.

При реконструкции использована схема сжигания в вихревой топке «Торнадо» с механизированной выгрузкой шлака выгружателями ВШо, 2 шт. Дополнительно установлены: вихревая топка с разделительным экраном и газовыпускным окном, система топливоподачи с двумя двухшнековыми питателями, устраняющими просыпку топлива; дополнительный вентилятор ВР 120-28 №6,3 – дутье на пневматическую подачу топлива и в завихритель; система возврата уноса. Механическая топка ТЧЗМ-2,7-5,6 демонтирована. Удаление шлака из вихревой топки котла осуществляется выгружателями ВШо в существующий канал золоудаления.

При работе реконструированного котла отмечено интенсивное выгорание подаваемых технологических отсевов кокса даже при подаче со смерзшимися и переувлажненными включениями и снегом. Выбросы оксидов азота и серы на уровне $\text{NO}_x=270-290\text{мг}/\text{м}^3$ и $\text{CO}=550-690\text{мг}/\text{м}^3$. Таким образом, в предлагаемых котлах КЕ-25-14ШпВТ могут сжигаться как качественные угли, так и измельченные углесодержащие отходы. Подача в газовыпускное окно острого дутья в совокупности с системой возврата уноса существенно улучшают эффективность топочного процесса.

Список литературы

1. Патент РФ, ПМ №86277 «Вихревая топка», от 30 марта 2009г.

М. Е. ПУЗЫРЕВ, В. А. ГОЛУБЕВ, Е. М. ПУЗЫРЕВ
ПроЭнергоМаш-Проект, г. Барнаул pem-energo@list.ru

СЖИГАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Вовлечение растительных отходов в топливный баланс предприятий позволяет использовать СО₂-нейтральную технологию, обеспечивает улучшение экологической обстановки и экономию энергетического топлива. Компания «ПроЭнергоМаш», ориентирована на разработку и внедрение вихревых технологий сжигания и проектирование новых образцов котельно-топочного оборудования. На сегодня выполнена значительная работа по внедрению и опытной эксплуатации низкотемпературной вихревой технологии сжигания «Торнадо», которая реализует совместное слоеевое и факельно-вихревое сжигание и применимая практически для любого вида твердых топлив и отходов.

В вихревой топке «Торнадо» сглаживаются неравномерности тепловыделения с подавлением температурного максимума ядра факела, появляется заметная доля конвективной составляющей теплообмена, повышается степень черноты и излучательная способность топочного объёма. Тепловосприятие топочных экранов заметно увеличивается, но при этом максимум тепловосприятия понижается, увеличивается надежность работы экранов. Благодаря механизации и малой массе топлива в слое, топки не требуют особых затрат ручного труда и легко автоматизируются [1].

Первоначально были освоены реконструкции паровых котлов для сжигания лузги подсолнечника. При этом основное внимание уделялось мерам снижения натрубных отложений золы и их очистке.

Главным достоинством вихревых топок является возможность удержания в топке и высокоеэффективного сжигания легких парусных частиц лузги и длительный период работы котлов между очистками котельных пучков от возгонов и отложений золы.

Пониженная зольность лузги, даже при вихревом сжигании, не обеспечивает достаточной степени черноты топки. С другой стороны, повышенное содержание в золе калия, склонность его соединений к возгонке и осаждение возгонов на холодных стенах экранов существенно подавляет лучистый теплообмен топки и приводит к перегреву топочного объёма по обратной положительной связи. Соответственно на сегодня для утилизации многотоннажных потоков лузги выбрано направление создания максимально экранированных удлиненных вихревых топок и комбинаций из двух узких, разделенных экранами – дубль топок.

Список литературы

1. Пузырев Е.М., Пузырев Е.М., Афанасьев К.С., Климов Г.А. Котлы с вихревыми топками «Торнадо» // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов : сб. науч. статей / Сиб. Гос. Идустр. ун-т; – Новокузнецк, 2010.

Н. А. САВВИНОВА, д.ф.-м.н., зав. кафедрой (СВФУ им.М.К.Аммосова),
г.Якутск, e-mail: nasavv@mail.ru

Н. А. РУБЦОВ, д.т.н., **С. С. СЛЕПЦОВ**, к.ф.-м.н.(ИТ им. С.С.Кутателадзе
СО РАН), г. Новосибирск, e-mail: s_sleptsov@itp.nsc.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-КОНДУКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА В ПОЛУПРОЗРАЧНОМ СЛОЕ ПРИ РАДИАЦИОННОМ НАГРЕВЕ

Сложные процессы нестационарного радиационно-кондуктивного теплообмена в полупрозрачных футеровках стекловаренных печей, теплозащитных полупрозрачных для теплового излучения покрытиях технических устройств, слое ледяного покрова при радиационном нагреве в процессе их плавления и последующего уноса вещества при взаимодействии с окружающей средой моделируются как однофазная задача Стефана в слое полупрозрачной среды.

В работе исследуется нагрев и последующее плавление бесконечного плоскопараллельного образца из полупрозрачной среды с коэффициентом объемного поглощения излучения α и теплопроводностью λ . Границы плоского образца частично поглощают, отражают и пропускают излучение таким образом, что $A_i + R_i + D_i = 1$, $i = 1, 2$, где A_i , R_i , D_i – значения полусферических коэффициентов поглощения, отражения и пропускания соответственно. При этом предполагается справедливость закона Кирхгофа, $A_i = \varepsilon_i$, где ε_i – степень черноты границ.

Коэффициенты отражения поверхностей на обеих границах $R_{1,2} = 0.1$. При моделировании задачи радиационно-кондуктивного теплообмена степень черноты границ полагаем равным $\varepsilon_{1,2} = 0$, при переходе на задачу Стефана значение степени черноты на правой облучаемой поверхности меняем в пределах $\varepsilon_2 = [0.01 \div 0.1]$. Такой подход позволяет смоделировать ситуацию, при которой поверхностные слои материалов, претерпевающих фазовые переходы 1-го рода, меняют свои оптические свойства.

Результаты численных экспериментов свидетельствуют о существенном влиянии на процесс плавления даже незначительных отклонений степени черноты движущейся поверхности ($\varepsilon_2 = 0.01 \div 0.1$), претерпевающей фазовый переход, от своего первоначального значения $\varepsilon_2 = 0$, принимаемого в процессе радиационно-кондуктивного нагрева пластины. Указанное обстоятельство является принципиально важным при построении реальной модели фазового перехода, учитывающей структурные изменения материала на фронте фазового превращения. В условиях искусственного зачернения движущейся границы полупрозрачная пластина может рассматриваться как эффективная тепловая защита. Это обстоятельство также имеет важное значение при оценке методов весеннего разупрочнения ледяного покрова.

Список литературы:

1. Рубцов Н.А. К определению граничных условий радиационного теплообмена на плоской поверхности раздела двух сред // Теплофизика и Аэромеханика, 2003, т. 10, №1, С. 87-102.

В. В. САЛОМАТОВ, профессор, д.т.н., ИТ СО РАН, г.Новосибирск,

vvs@itp.nsc.ru

Х. ЭНХЖАРГАЛ, профессор, к.т.н. МГУНТ, г. Улан-Батор, Монголия,

enkjhjargal@must.edu.mn

НЕЛИНЕЙНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОПОДГОТОВКИ И ГОРЕНИЯ УГОЛЬНОЙ ЧАСТИЦЫ

Основная выработка тепловой и электрической энергии в мире осуществляется с использованием угля. Дальнейшее развитие энергетики также планируется с применением низкосортных марок углей, включая и новые месторождения. К таким недостаточно освоенным в Монголии относится Шивэ-Овооский разрез, для которого требуется провести комплекс исследований по термоподготовке и сжиганию с целями его широкого и эффективного энергоиспользования. В основу расчетов факельного горения углей закладываются зависимости, определяющие весь ход горения отдельных угольных частиц. Эти процессы для частиц натуральных углей включают сложные превращения органической и минеральной частей угольной матрицы, прогрев, сушку, выделение и воспламенение летучих веществ, выгорание коксового остатка. Такая детализация требует проведения сложного физического и математического моделирования.

Однако и на сегодня более востребованным остается метод математического моделирования термоподготовки и горения одиночных угольных частиц с возможностью получения итоговых приближенно-аналитических расчетных формул. Подобные решения дают возможность исчерпывающего параметрического анализа, выполнения экспресс-расчетов, а также другие преимущества. Такой подход реализован в данной работе.

Выполнено математическое моделирование термоподготовки и последующего сжигания отдельной угольной частицы как многостадийного процесса. Расчет основных параметров этого процесса на последовательных стадиях: прогрев; сушка; выход, воспламенение и горение летучих; выгорание коксового остатка проведен по полученным приближенно-аналитическим зависимостям. Выполнен детальный параметрический анализ влияния физических и режимных характеристик на закономерности сжигания угольной частицы (на примере Шивэ-Овоосского месторождения Монголии). Так, расчётами по прогреву показано, что температурные напряжения для частицы Шивэ-Овооского угля Монголии размером 100 мкм, возникающие при температуре газовой среды в 1500 °C, не превышают предела прочности на растяжение, а сами частицы размером до 100 мкм не теряют своей сплошности. Частицы же размером 10 мм и более при температуре среды в 1000 °C теряют разрушение. При сушке частицы угля с остаточной влажностью до начала зажигания относительное заглубление поверхности испарения составляет не более 25 %. Итоговое время выгорания сухого коксового остатка Шивэ-Овооского бурого угля класса Б2 Монголии размером 1000 мкм в топочной среде при 900 °C и концентрацией кислорода, равной 21%, составило 2.45 с, что находит подтверждение в экспериментах В.И.Бабия из ВТИ – 2.7 с для бурого канко-ачинского угля тоже класса Б2.

В итоге определены условия эффективного сжигания одиночной угольной частицы как главного элемента всего топочного процесса.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 11-08-92202-Монг_а; ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям научно-технологического комплекса России на 2007-2012 гг.»

И. Б. СЛЕСАРЕНКО, к.т.н., Г. А. БОГДАНОВИЧ, к.э.н.,
В. В. СЛЕСАРЕНКО, д.т.н., В. В. ВАГНЕР, инженер, ДВФУ, г. Владивосток
e-mail: islesarenkob@rambler.ru

КОМБИНИРОВАННАЯ ГЕЛИОУСТАНОВКА С ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ

Перспективным решением для систем теплоснабжения жилых и общественных зданий является использование низкотемпературной (5 - 30° С) природной теплоты или сбросного промышленной теплоты с помощью тепловых насосов (ТН). В ряде регионов России активно внедряются солнечные водонагревательные установки (СВНУ). Значительного повышения эффективности и надежности систем децентрализованного теплоснабжения можно добиться при комбинировании теплового насоса и солнечной водонагревательной установки. В этом случае появляется возможность дублировать непостоянный источник тепловой энергии – солнечное излучение за счет получения дополнительной теплоты от теплового насоса, подключаемого к низкотемпературному источнику теплоты, а также обеспечивать аккумуляцию излишков теплоты, вырабатываемой СВНУ.

ТН может перерабатывать тепловые сбросы объекта, например, уходящие воздушные или газовые выбросы, а также сбросную воду, например, стоки из системы горячего водоснабжения. Эффективность использования этих тепловых выбросов определяется количеством утилизируемой теплоты и температурным потенциалом стока или воздушного выброса. В ряде случаев количество сбрасываемой теплоты в стоках может быть равным суммарной суточной генерации тепловой энергии от СВНУ, а иногда и превышать ее. Это позволяет при применении теплового насоса удвоить тепловую производительность системы теплоснабжения, оснащенной СВНУ.

Оптимизация схемы СВНУ с целью повышения количества вырабатываемой теплоты может быть выполнена несколькими методами:

- увеличением объема бака-аккумулятора, что дает возможность повысить длительность подачи теплоты в контур нагрева воды в период максимума теплопотребления;

- повышением количества смонтированных солнечных коллекторов для увеличения тепловой мощности СВНУ, - это решение будет эффективным только при увеличении объема бака-аккумулятора;

- установкой теплового насоса, отбирающего тепловой потенциал от источника, имеющего низкую температуру и подающего дополнительную теплоту в тепловой аккумулятор в период максимального расхода горячей воды потребителями.

После анализа и исследований на модели СВНУ как наиболее эффективный выбран вариант модернизации гелиоустановок за счет включения в схему теплоснабжения зданий теплового насоса. Такое решение не только экономически более выгодно (по капитальным затратам), но и позволяет использовать дополнительный буферный тепловой аккумулятор для выравнивания графика потребления горячей воды. В результате анализа предложены наиболее рациональные схемы включения теплового насоса и аккумуляторов теплоты в структуру СВНУ.

В настоящее время разработан и реализуется проект подключения специального парокомпрессионного теплового насоса, рассчитанного на работу со сточными водами, к схеме одной из промышленных СВНУ, действующих в г. Владивостоке. Это позволит в 2011 г. увеличить тепловую производительность установки с 35 кВт до 75 – 80 кВт.

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ КОГЕНЕРАЦИЯ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПУТЬ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНОВ

Энергетическая безопасность объекта (предприятия, отрасли, города, региона и т.д.) складывается из двух основных составляющих: 1) безопасность с точки зрения гарантированного снабжения объекта энергоресурсами и 2) надёжная, безотказная работа системы энергоснабжения – источника (источников), генерирующего соответствующий вид энергии, транспорта этой энергии и самого потребителя. Если энергоснабжение района (региона) осуществляется, например, от одной крупной ТЭЦ, то выход ее из строя или нарушение работы сетей в результате какой-либо ЧС приводит к нарушению нормального функционирования большого количества производственных и коммунальных потребителей и соответственно к значительному материальному ущербу и другим издержкам. Причем количество аварий, как техногенного, так и природного характера, а также их масштаб имеет тенденцию к нарастанию. В России же проблема аварийности в энергетике усугубляется износом основных фондов, на обновление которых требуются огромные средства. Следовательно, риски энергетической безопасности у нас выше, чем в США, Западной Европе или в Японии. Конечно, от аварий, в том числе крупных никто не застрахован (нагляднейший пример – авария на АЭС в Фукусиме) однако, ликвидация их последствий организована там гораздо эффективней. Зато зимний блэкаут в Подмосковье наглядно продемонстрировал уязвимость Российской энергетики и показал, что системного решения проблемы как не было, так и нет. Решение предложено одно – менять две трети электросетевого хозяйства страны. Обойдется это, как посчитали в холдинге МРСК, в 2,8 трлн.руб. Все это называется программой реновации. Однако, представляется, что гораздо эффективнее, дешевле и надежнее будет не воссоздание прежней схемы размещения крупных ТЭС (ТЭЦ), пусть и с современным оборудованием, а развитие распределенной генерации энергии - РГЭ (или когенерации, т.е. производство двух видов энергии на одном источнике – мини-ТЭЦ).

Такой подход отражает тенденции развития мировой энергетики. В США, Великобритании, Германии, Дании и др. странах, наряду с созданием новых крупных энергоблоков, повышением их параметров, разрабатываются и внедряются малые ТЭЦ, а также ми- и даже микро-ТЭЦ мощностью 45-100 кВт на базе, например, микротурбин, обеспечивающие комбинированное производство тепла и электроэнергии (КПТЭ). Это дает значительную экономию топлива и в то же время повышает энергетическую безопасность соответствующих регионов.

Развитые страны в последние десятилетия перестроили свою энергетику таким образом, что высокопотенциальные источники энергии используются, прежде всего, для получения электрической энергии. Наиболее совершенным является, как известно, КПТЭ, при котором использование эксергии топлива значительно повышается. В результате достигается его экономия до 30 % и соответственно снижается загрязнение атмосферы. Развитие РГЭ путем создания сети мини-ТЭЦ не только повышает надежность энергоснабжения (если бы такая сеть была в Подмосковье, почти полмиллиона человек не встречали бы Новый год в темноте), но и увеличивает энергоэффективность производства, так как уменьшаются потери при передаче энергии.

С другой стороны объективным подтверждением актуальности развития РГЭ служит ценологический подход, разработанный Б.И.Кудриным. Им было установлено, что в сложной технической системе, состоящей из большого количества объектов (в данном случае – энергосистеме) должно соблюдаться определенное соотношение между крупными и малыми объектами. Только при этом условии система будет и эффективной, и надежной, соответственно понизятся риски энергетической безопасности.

В.И. ТЕРЕХОВ¹, профессор, д.т.н., **В.В. ТЕРЕХОВ¹**, с.н.с., к.ф.-м.н.,
А.Л. ЭКАИД^{1,2}, аспирант, И-ИТ СО РАН, 2 – НГТУ, г. Новосибирск
e-mail. terekhov@itp.nsc.ru

УПРАВЛЕНИЕ СВОБОДНОКОНВЕКТИВНЫМ ТЕПЛОПЕРЕНОСОМ В 2-И 3-Д ЗАМКНУТЫХ ПРОСЛОЙКАХ

Возрастающий интерес к изучению теплопереноса в ограниченных прослойках обусловлен их широким практическим использованием – стеклопакеты, солнечные коллектора, строительные сооружения с вентилируемым фасадом, электроника и др. Поэтому поиск новых методов регулирования теплообмена (как интенсификации, так и подавления) представляет собой актуальную задачу. В работе представлено современное состояние исследований в данной области. Рассмотрен широкий класс задач по изучению воздействия на свободную конвекцию в прослойках различных геометрических параметров как для двумерных, так и трехмерных геометрий, оребрения боковых стенок, дополнительного подогрева дна полости и др. Теплопроводность элементов оребрения изменялась в максимально возможном диапазоне - от адиабатических ($\lambda \rightarrow 0$), до идеально теплопроводящих ($\lambda \rightarrow \infty$). Тем самым изучалась возможность управления за счет воздействия на аэродинамику потока, так и интенсификацию процессов переноса за счет развития теплообменной поверхности.

Изучены случаи с нагревом боковых стенок, а также при подводе теплоты снизу прослойки. Исследуются особенности трехмерного течения и теплообмена в 3-Д объемах при различных параметрах расширения от очень тонкого слоя до параллелепипедов большой протяженности в трансверсальном направлении. Показана роль вторичных течений, возникающих в 3-Д объемах, на интегральный теплообмен при вариации параметра их расширения, а также границы применимости 2-Д подходов для определения теплоотдачи в 3-Д прослойках.

Анализируется сложная структура термической конвекции при наличии ортогональных градиентов температуры в замкнутых кавернах (дифференциальный обогрев боковых стенок и дополнительный теплоподвод к дну каверны - так называемые прослойки с дополнительным подогревом).

В работе подробно анализируются возможные границы изменения коэффициентов теплообмена при вариации чисел Релея, геометрических и теплофизических параметров. Определены области существования интенсификации и подавления теплопереноса. Детально исследуется структура течения, поля температур, локальных и интегральных коэффициентов теплообмена.

В настоящей работе использованы результаты исследований, полученные в последнее время как в Институте теплофизики СО РАН, так и большое число экспериментальных и расчетных работ отечественных и зарубежных исследователей. Даётся детальное сопоставление с имеющимися опытными и расчетными данными.

Обсуждается широкий круг нерешенных проблем, отмечаются наиболее актуальные из них, представляющие несомненный интерес как в прикладном, так и фундаментальном аспектах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 10-08-00105).

ТЭЦ С ГАЗОСЕТЕВЫМИ ПОДОГРЕВАТЕЛЯМИ И КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ФРЕОНОВЫМИ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРАМИ

Новым перспективным направлением развития комбинированного энергоснабжения является технология энергосбережения с теплофикационными парогазовыми установками (ПГУ), газосетевыми подогревателями (ГСП) и внутриквартальными термотрансформаторами (ВТТ) [1].

Такая технология комбинированного энергоснабжения (ТКЭ) может быть спроектирована и разработана на базе как оптимального энергооборудования, так и на базе традиционных теплофикационных паротурбинных энергоблоков ТЭЦ путем их газотурбинной надстройки с газосетевым подогревателем, перевода в режим с постоянным давлением в теплофикационном отборе и количественным регулированием отпуска тепла сетевой установкой при качественном регулировании теплоснабжения внутриквартальными термотрансформаторами (рис.1). При этом ГСП покрывает нагрузку только горячего водоснабжения. Для отопительной нагрузки выполняется температурный график $70/40\text{ }^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$ во всем диапазоне температур окружающего воздуха при количественном регулировании. ВТТ обеспечивают у теплопотребителя качественное регулирование при максимальной температуре внутриквартальной сетевой воды на уровне 85°C .

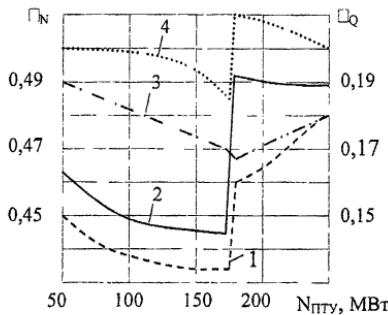


Рис.1 КПД по отпуску электроэнергии η_N и теплозергии \square_Q от ТЭЦ с ГСП и термотрансформаторами.

1,2 - η_N ; 3,4 - \square_Q при стандартных и оптимальных параметрах,

$N_{ПГУ}$ – мощность теплофикационной паротурбинной установки ПГУ.

На рис. 1 приведены значения эксергетических КПД теплофикационных парогазовых энергоблоков с ГСП и фреоновыми термотрансформаторами в составе комбинированной системы теплоснабжения. Из этих данных видно, что для паротурбинных установок ПГУ без промперегрева и докритических параметров пара КПД по отпуску электроэнергии находится на уровне 0,44...0,46. Введение промперегрева позволяет повысить КПД η_N до 0,46...0,49. При этом КПД по отпуску теплозергии составляет 0,16...0,21 что, выше практически в два раза эффективности традиционных систем теплоснабжения от ТЭЦ с пиковыми водогрейными котлами.

Список литературы

1. Комплексные исследования ТЭС с новыми технологиями / Щинников П.А., Ноздренко Г.В., Томилов В.Г., Овчинников Ю.В., Ловцов А.А., Коваленко П.Ю., Зыкова Н.Г., Вихман О.А., Бородихин И.В. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2004. – 528 с.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА ПРИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОМ ПОДОГРЕВЕ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

Существующее оборудование и технологии угольной энергетики России не соответствует предъявляемым современным требованиям. Важную роль в модернизации угольной энергетики России должно сыграть разработка математических методов для описания процессов горения и образования вредных веществ при сжигании органического топлива. К числу основных и наиболее токсичных веществ выбрасываемых угольными котлами относятся оксиды азота. Один из эффективных способов уменьшения оксидов азота является термическая подготовка пыли до поступления ее в топочную камеру. Полученные в ходе экспериментальных данных результаты доказали положительный эффект данного мероприятия [1].

В данной работе представлена модель горения и результаты расчета предварительно подогретой угольной пыли в топочной камере стеновой установки ВТИ [1] Граничными условиями на входе в камеру являлись результаты экспериментов по составу уноса и газов после подогрева. Для расчета процессов аэродинамики, тепло и - массообмена была использована модель [2]. Модель горения угольных частиц рассчитывалась по модели [3]. Образование NO_x при сжигании угля происходит по трем механизмам: термические, быстрые и топливные.

Расчеты процесса горения на стеновой установке ВТИ проводились для двух углей: Березовский и Кузнецкий тощий уголь. Результаты расчета концентрации NO_x для Кузнецкого угля представлены на рис. 1а. Как показали расчеты, при термической обработки, азотосодержащие вещества выходят с летучими компонентами, в отличии от стандартных схем сжигания, где часть азота выходит при горении коксового остатка. На рис. 2б. представлены результаты расчета для березовского угля. Хорошее совпадение по концентрации NO_x наблюдается при задании выхода азотосодержащие вещества выходят с летучими.

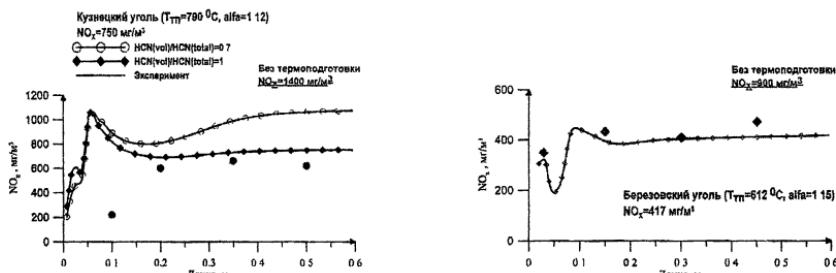


Рис. 1: Распределение концентрации NO_x , $\text{мг}/\text{м}^3$ по центру канала а.) кузнецкий уголь б.) березовский уголь

Список литературы

1. Бабий В.И. Алавердов П.И. Влияние предварительного подогрева угольной пыли на выход топливных окислов азота при горении пыли углей разной степени метаморфизма – Отчет ВТИ, 1983, № 01824028371, с. 61
2. А.А. Дектерев, А.А. Гаврилов, Е.Б. Харламов, К.Ю. Литвинцев “Использование программы σFlow для численного исследования технологических объектов” // Вычислительные технологии. 2003. Т. 8, Ч. 1, С. 250-255.3. Черненецкий М.Ю., Дектерев А.А. “Математическая модель процессов теплообмена и горения пылеугольного топлива при факельном сжигании” // Физика горения и взрыва. 2011 № 3

М. Ю. ЧЕРНЕЦКИЙ^{1,2}, А. Н. АЛЕХНОВИЧ³, А. А. ДЕКТЕРЕВ^{1,2}

¹ИТ СО РАН, Новосибирск, ²СФУ, Красноярск,

³ Уральская теплотехническая лаборатория, Челябинск

micch@yandex.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШЛАКОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВА ТОПОЧНОЙ КАМЕРЫ ПРИ СЖИГАНИИ КАУ

Шлакование топочных экранов при сжигании канского-ачинских углей приводит к снижению тепловосприятия в топке, росту температуры газов на её выходе и для некоторых котлов ограничению производительности. С учетом большого числа факторов влияющих на процесс шлакования, оптимальным для оценки взаимного влияния химического состава минеральной части топлива и конструктивно-режимных параметров работы котла на шлакование является численное моделирование. Разработка математических моделей для описания процесса шлакования на сегодняшний день не имеет общего решения. Основной проблемой при описании является недостаток информации о поведении минеральной части в процессе горения угольной частицы, разделение золы на внешнюю и внутреннюю, распределение минеральной части в угле и летучий золе. В данной работе были использованы имеющиеся данные по минеральной части для угля Канско-Ачинского бассейна – Березовского и построена математическая модель шлакования и интегрирована в программный комплекс «SigmaFlow» для моделирования процессов аэродинамики, тепломассобмена и горения в технологических устройствах. В работе рассматривается образование вторичных – шлаковых отложений на уже сформированном первичном слое на примере котла П-67 сжижающим Березовский уголь. С учетом ненадёжности экспериментальных данных по вязкости для Березовского угля, для оценки налипания частиц летучей золы использовалась температура начала шлакования. В работе рассматривалось влияние отклонения минерального состава золовых частиц от среднемассового. Изучались основные места шлакования и вклад разных фракций летучей золы в процесс шлакования определенных зон, а также влияния степени заплаковки котла на изменения локального и интегрального коэффициента теплопередачи. Было показано, что учет неравномерного распределение минеральной части летучей золы дает отличие от среднего состава по темпу шлакования. Локальное отклонение от среднего состава составляет 100 % в области сепарации мелкой фракции летучей золы на экраны топочной камеры. С течением времени на поверхности экранов образуются шлаковые отложения, и происходит уменьшение коэффициента теплопередачи. С учетом образовавшегося слоя отложений был рассчитано изменение локального коэффициента теплопередачи на экранах топочной камеры. В результате изменения местного сопротивление температура на выходе из топочной камере выросли, тепловые потоки в зонах наиболее интенсивного шлакования снизились. Это позволило лучше согласовать полученные расчетные данные с экспериментальными по температурам и локальным тепловым потокам в топочной камере.

С. А. ШЕВЫРЁВ, аспирант каф. ПМиАХП КузГТУ, г. Кемерово ssa.pmahp@kuzstu.ru

Е. И. КАГАКИН, профессор, д.х.н., КузГТУ, г. Кемерово kei.hft@kuzstu.ru

А. Р. БОГОМОЛОВ, профессор, д.т.н., ИТ СО РАН им. С. С. Кутателадзе, г. Новосибирск barom@kuzstu.ru

Н. А. ПРИБАТУРИН, гл.н.с., д.т.н., ИТ СО РАН им. С. С. Кутателадзе, г. Новосибирск pribaturin@itp.nsc.ru

ГАЗИФИКАЦИЯ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ (УСМ) В ПОТОКЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВОДЯНОГО ПАРА

Усложняющаяся экологическая ситуация и истощение запасов нефти и газа с неизбежностью приводит к необходимости поиска новых технических и технологических решений, направленных на обеспечение сырьем и топливом предприятий энергетики и химической промышленности. В связи с этим, в последнее время возобновился и расширился интерес к исследованиям процессов глубокой переработки ископаемых углей и углеродсодержащих материалов. Одним из таких направлений является исследование процессов газификации органических веществ

Перспективным направлением исследований в этой области является бескислородная газификация углеродсодержащих материалов водяным паром при температуре 800-1200°C.

Нами исследован процесс бескислородной паровой газификации каменных углей и шламов некоторых угольных предприятий Кузбасса. Исследования проводились на экспериментальном стенде, подробно описанном в [1], при следующих условиях: диапазон температур водяного пара – 800–950°C, расход водяного пара из парогенератора 16 – 18 л/мин. На рис. 1 представлена кривая, характеризующая влияние температуры пара на скорость конверсии углерода.

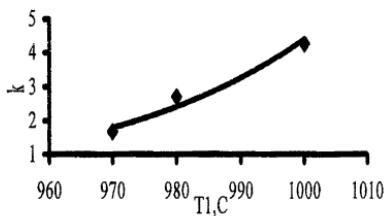


Рис. 1 Влияние температуры на скорость конверсии углерода для угля ш. «Березовская»

В результате исследований установлено, что при таком способе газификации может быть получен продуктовый газ, состава (об. %): O₂ – 1,5; N₂ – 5,1; CO – 29; CO₂ – 2,3; H₂ – 62; CH₄ – 0,1.

Теплотворная способность получаемого газа, рассчитанная по [2], составляет 11,685 МДж/м³, что примерно в 1,5 раза выше теплоты сгорания газифицированного угля. Кроме того, газ такого состава (богатый окисью углерода(II) и водородом) представляет интерес как сырье для многих химических производств органического и неорганического синтеза.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГК №14.740.11.0101.

Список литературы

1. Конверсия углеродсодержащих материалов в среде высокотемпературного водяного пара / Н. А. Прибатурин [и др.] // Вестн. КузГТУ. – 2010. - № 4. – С. 89-93.
2. Основы теплотехники и энергосбережение : учеб. пособие / П. Т Петрик [и др] - Кемерово, 2006. - 244 с.

М. И. ШИЛЯЕВ, профессор, д.т.н., ТГАСУ, г. Томск
Ю. О. АФАНАСЬЕВ, доцент, к.т.н., КузГТУ, г. Кемерово
А. Р. БОГОМОЛОВ, с.н.с., д.т.н., ИТ СО РАН, г. Новосибирск barom@kuzstu.ru

ПРИБЛИЖЕННАЯ МОДЕЛЬ ГОРЕНИЯ ЧАСТИЦ ТОПЛИВА В ЦИКЛОННОЙ КАМЕРЕ

Предложена математическая модель процесса горения угольных частиц во второй ступени циклонного реактора. Циклонный реактор, предназначенный для сжигания высокозольного твердого топлива, содержит четыре ступени, в которых вследствие разной аэродинамической обстановки процессы горения имеют различный характер. При этом первая ступень служит для начальной закрутки потока и нагрева сухой топливной смеси. Горение частиц начинается во второй ступени, где крупные фракции топливных частиц отбрасываются центробежными силами к стенке реактора, а более мелкие движутся по сложным траекториям в его центре. В третьей ступени реактора тангенциально подается вторичный воздух, который отжимает крупные фракции топлива от стенки и отводит их в центральную основную зону горения [1].

Аэродинамика газа и движения частиц в этой ступени рассчитывались на основе аналитических зависимостей, полученных для прямоточных циклонов. В уравнении теплообмена горящих частиц учтены конвективный обмен теплом их с потоком газа, тепловыделения при горении кокса и летучих, тепlopоглощение при выделении летучих в процессе пиролиза и лучистый теплообмен частиц со стенкой реактора. Тепловыделения за счет горения кокса и летучих описываются соответствующими кинетическими уравнениями. Лучистый теплообмен частиц определяется по разности их температур и температуры стенки реактора. При этом температура стенки реактора принимается равной температуре газов у ее поверхности в предположении адабатичности процесса теплообмена в реакторе. Кроме того, предполагается, что различие температур газа в одном и том же сечении реактора на разных радиусах невелико, что позволяет лучистой составляющей в уравнении теплообмена газа пренебречь и считать, что изменение энталпии газовой смеси определяется только ее конвективным теплообменом с частицами.

Расчеты проводились для второй ступени диаметром 0,26 и высотой 0,33 м при входной концентрации измельченного кузнецкого угля 0,07 кг/м³ со среднемассовым размером частиц 100 мкм, при объемном расходе газа $Q = 0.0435 \text{ м}^3/\text{с}$, его температуры и температуры частиц 600К. Получено удовлетворительное согласование расчетных и опытных данных по распределениям температуры газов.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГК № П 563.

Список литературы

1. Трясунов, Б. Г. Сжигание измельченной топливной смеси в высокотемпературном циклонном реакторе / Б.Г. Трясунов, Ю.О. Афанасьев, А.Р. Богомолов // Химия и химическая технология. – 2010. – Т. 53, № 1. – С. 113-116.

М. И. ШИЛЯЕВ, профессор, д.т.н., ТГАСУ, г Томск
В. В. ПЕНЯВСКИЙ, ассистент каф ОиВ ТГАСУ, г Томск
e-mail shmi@mail.tomsknet.ru

**ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО МЕТОДА РАСЧЕТА
ИНЕРЦИОННЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ
ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ВОЗДУХООЧИСТКИ НА ПРЕДПРИЯТИИ
ООО «ТОМЛЕСДРЕВ»**

Существенное превышение содержания древесной шлифпилы ПДК=100мг/м³ в выбросах из аспирационной линии предприятия ООО «Томлесдрев» потребовало реконструкции пылеулавливающей системы состоящей из двух ступеней: 1-й – 8 циклонов УЦ-38 диаметром 1,6 м и 2-й – рукавного фильтра, установленных на промплощадке. В этих условиях рукавных фильтр забился, вышел из строя, был демонтирован и выведен из эксплуатации. С целью экономии средств было высказано пожелание при реконструкции сохранить 1-ю ступень, а в качестве 2-й предусмотреть сухие пылеуловители наиболее простой и дешевой конструкции. Расчет каскада производился на основе универсального метода (УМ) [1]. Для этого неизвестные параметры циклона УЦ-38 для использования УМ были определены по функциям распределения частиц пыли на входе и выходе из аппарата. В качестве 2-й ступени наиболее приемлемыми по эффективности и гидравлическому сопротивлению были выбраны циклоны НИИОГАЗ ЦН-11 диаметром 1м в количестве 8 шт. Расчет 2-й ступени проводился с помощью УМ с учетом функции распределения частиц пыли, входящей во вторую ступень, а также понижающего коэффициента для эффективности пылеулавливания 2-й ступенью каскада [2]. В соответствии с расчетом были изготовлены и установлены циклоны ЦН-11 и запущенна в эксплуатацию пылеулавливающая система. Результаты расчета дали общую эффективность системы (производительность по воздуху 76 тыс. м³/ч) 99,77%, а измерения фактической эффективности 99,63%. При этом концентрация древесной шлифпилы в выбросах сократилось до 55 мг/м³. Проведенные испытания подтвердили работоспособность УМ и его возможности подбирать недорогое, эффективное и экономичное пылеулавливающее оборудование для условий конкретных производств.

Список литературы:

1. Шиляев М.И. Методы расчета пылеуловителей/М.И. Шиляев, А.М. Шиляев, Е.П. Грищенко.– Томск: Изд-во ТГАСУ, 2006. – 385 с.
2. Шиляев М.И , Пеняевский В.В. Удельные энергозатраты на очистку в каскадных системах пылеулавливания/Качество внутреннего воздуха и окружающей среды: материалы IX Международной научной конференции 17-22 мая 2011г., г. Кошалин - Волгоград: ВолгГАСУ,2011.- с.232-238.

А. С. ШТЫМ, канд.техн.наук, ДВФУ, г. Владивосток

e-mail: shtym_alla@mail.ru

И. А. МАРКЕЛОВА, аспирант, ДВФУ, г. Владивосток

e-mail: angelleech@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СХЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Разработана установка для изучения совместной работы солнечных коллекторов и тепловых насосов для цели теплоснабжения. Схема установки теплоснабжения запатентована, как полезная модель [1]. Основной задачей солнечных коллекторов является нагрев воды для горячего водоснабжения, что позволяет существенно сэкономить органическое топливо, не загрязняя окружающую среду. Недостатками работы солнечных коллекторов являются: ограниченный временной период нагрева теплоносителя, это связано с погодными условиями, временем суток и временем года; возможный перегрев теплоносителя в баке аккумуляторе при отсутствии водопотребления и интенсивной солнечной радиации.

Геотермальный тепловой насос служит для создания микроклимата в помещениях: обогрев в отопительный период, охлаждение в теплый период, а также обладает опцией подогрева воды для горячего водоснабжения.

Низкопотенциальным источником энергии для теплового насоса служит энергия, извлекаемая из грунта с помощью грунтового теплообменника. При исследовании работы комбинированной схемы теплоснабжения выделено три характерных режима. В зимний период тепловой насос, работая совместно с солнечными коллекторами, служит для отопления и горячего водоснабжения потребителей, т.к солнечной энергии недостаточно, но получаемая от солнца энергия поступает в тепловой насос, повышая его коэффициент трансформации. В этот период происходит снижение энергетического потенциала грунта, окружающего скважину, в которую погружены трубы грунтового теплообменника. В летний период тепловой насос работает в реверсивном режиме, осуществляя кондиционирование помещений, при этом избытки тепловой энергии от системы кондиционирования и от солнечных коллекторов сбрасываются в грунт, где происходит их аккумуляция и восстановление энергетического потенциала грунта. В этот период тепловая энергия, получаемая от солнечных коллекторов, превосходит потребности в горячем водоснабжении. В переходный период солнечные коллектора могут вырабатывать теплоты больше, чем требуется для горячего водоснабжения, и эти избытки поступают на тепловой насос, повышая эффективность его работы.

Вывод: в комбинированной схеме теплоснабжения имеют место два режима, повышающих коэффициент трансформации темпового насоса, и один режим, способствующий восстановлению энергетического потенциала грунта.

Список литературы

1. Комбинированная система теплоснабжения [Текст]: пат. 85989 Рос. Федерации; МПК6 F24J2/00; F24D11/00; F24D12/00 / А.С. Штым, П.Е. Хвостик, А.А. Журмилов, И.А. Маркелова, Е.О. Путилина; заявитель и патентообладатель Автономная некоммерческая научно-образовательная организация ДВГТУ «Научно-технический и внедренческий центр «Модернизация котельной техники». - №2009114999/22; заявл. 20.04.2009; опубл. 20.08.2009, Бюл. №23 – 3 с.: 1 ил.

А. Н. ШТЫМ, профессор, д.т.н., ДВГТУ, г.Владивосток
e-mail: kaftot@mail.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАПРАВЛЕНИЯ В СТРУКТУРЕ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

С целью формирования региональной экономики инновационного типа, подготовки и закрепления высококвалифицированных кадров в Дальневосточном федеральном округе по решению Президента и Правительства РФ создан Дальневосточного Федерального университета (ДВФУ) на основе ДВГУ. Предполагается тесная интеграция ДВФУ с Дальневосточным отделением Российской академии наук (ДВО РАН) и присоединение к нему Дальневосточного государственного технического университета, Тихоокеанского государственного экономического университета и Уссурийского государственного педагогического института. Приоритетными направлениями развития ДВФУ определены: освоение ресурсов Мирового океана; обеспечение здоровья и продление срока жизни населения; развитие нефтегазового комплекса, транспорта и логистики; судостроение и судоремонт; энергетика и энергосбережение; нанотехнологии и новые материалы; рациональное использование природных ресурсов. Энергетике региона уделяется особое внимание, поскольку она является определяющей для экономики и социального развития Дальнего Востока, а в ДВО РАН отсутствует институт энергетического профиля. Одним из шести приоритетных кластеров развития ДВФУ выделено направление «Энергоресурсы и энергосберегающие технологии» (ПНР-2), координационный совет которого возглавил Президент ДВО РАН академик Сергиенко В.И.

В стратегическом партнерстве ДВФУ с ведущими научными учреждениями, энергетическими компаниями России и стран АТР предполагается выход ПНР-2 на разработку и внедрение передовых технологий в области энерго- и ресурсосбережения, развитие нетрадиционной и возобновляемой энергетики, увеличение числа квалифицированных научных кадров в целях максимально эффективного использования энергетического потенциала и освоения минерально-сырьевой базы Дальневосточного региона.

Концентрации научных и вузовских работников по теплофизике и теплоэнергетике в ПНР-2 ДВФУ предшествовало формирование комплексной базы научно-исследовательских работ при активном содействии ИТФ СО РАН, начиная с семинара в 1984 г. теплотехнических кафедр вузов г.Владивостока с участием ведущих сотрудников Института теплофизики во главе с академиком С.С.Кутателадзе. В 2005 г. на базе ДВГТУ проводился IV семинар вузов Сибири и Дальнего Востока по теплофизике и теплоэнергетике, на котором с сообщениями о проблемах энергетики региона впервые выступили представители Японии, Китая, Республики Корея и КНДР.

Координационный Совет энергетического направления в ДВФУ, который состоит из ученых и ведущих руководителей энергетики региона, сформулировал конкретные цели и задачи, которые посильны высококвалифицированному коллективу с хорошим финансированием и соответствующей материальной базой.

Новый кампус университета на острове Русский будет открыт во время форума «Азиатско-тихоокеанского экономического сотрудничества» в 2012 году.

А. Н. ШТЫМ, профессор, д.т.н., В. А. УПСКИЙ, доцент, к.т.н., ШТЫМ К. А., доцент, к.т.н., М. В. УПСКИЙ, старший преподаватель. ДВГТУ, г. Владивосток
e-mail: kaftot@mail.ru, cenutmkt@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОСОПЛОВЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ФОРСУНОК НА КОТЛАХ С ЦИКЛОННЫМИ ПРЕДТОПКАМИ

В процессе наладки первых циклонных предтопков [1], наибольшие затруднения были вызваны наличием коксообразования на стенках камеры, обусловленные неудовлетворительным распыливанием топлива при давлениях топлива 0,1-0,5 МПа. Первоначально для распыливания топлива применялись механические форсунки с диаметрами сопел от 1,2 до 3 мм в количестве от 8 до 20, вводимые через аксиальные и тангенциальные каналы. Мазут марки М-100 и М-200 подавался в предтопок при температуре 85 - 115 °C. в виде струй, которые частично достигали стенки и не успевали полностью газифицироваться.

Многолетний опыт кафедры "Теоретической и общей теплотехники" ДВГТУ и Центра "Модернизации котельной техники" по исследованию и внедрению форсунок для высокоФорсированных горелочных устройств (циклонных предтопков) позволил создать типоряд многосопловых центробежных форсунок. Особенностью многосопловой центробежной форсунки является формирование факела распыливаемой жидкости из многих (от 3 до 21) единичных факелов. Несомненным достоинством многосопловых форсунок, сопоставимыми по габаритам с обычными, является обеспечение мелкодисперсного распыла при больших расходах и незначительных перепадах давления.

Особенностью многосопловых форсунок явилось получение необходимого угла распыливания факела и плотности орощения по его сечениям при изменении взаимного расположение сопел и формы головки форсунки (рис.1).

Внешний вид 19 сопловой форсунки для котла КВГМ-100 с циклонным предтопком



Рис.1.

состав жидкостного факела при всех вышеперечисленных факторах; влияние впрыска замазченной воды по центральному каналу форсунки как способа удаления этой воды с получением эффекта снижения вредных выбросов при работе котлов с циклонными предтопками.

Список литературы

- Штым А.Н., Пинькевич В.В. Исследование циклонного предтопка с комбинированным вводом воздуха при сжигании мазута. – В кн. Теплоэнергетика. Труды ДВПИ, т. 90. Владивосток. 1974.

При исследованиях в период 1971-2011 гг. при разработке многосопловых форсунок решался ряд задач. связь расходных характеристик форсунок с основными геометрическими параметрами форсунок – число шнеков, диаметр шнеков, диаметр сопел и др. особенностями конструкций; вид диаграммы плотности орощения по сечениям факела жидкости при различных давлениях, углах расположения сопел, их количества, взаимного расположения и количества потоков (каналов) по которым подается жидкость, дисперсный

К. А. ШТЫМ, доцент, к.т.н., **Т. А. СОЛОВЬЕВА**, старший преподаватель
ДВГТУ, г.Владивосток
e-mail: kaftot@mail.ru, centrmkt@mail.ru

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЦИКЛОННО-ВИХРЕВЫХ ПРЕДТОПКОВ КОТЛОВ БКЗ-75, ЭЧМ 25/35, КВГМ-100 НА СЖИГАНИЕ ПРИРОДНОГО ГАЗА

В 2010 году в рамках программы газификации «Дальнего Востока» проектной группой сотрудников кафедры ТОТ ДВГТУ и Центра МКТ выполнена проектно-конструкторская документация по переводу котлов ТЭЦ-1 и ТЦ «Северная» города Владивостока на сжигание природного газа Сахалинского месторождения. Принципиальное решение о сохранении циклонно-вихревой технологии было принято по результатам многолетней эксплуатации на природном газе котлов БКЗ 120-100 Охинской ТЭЦ, ПТВМ-100 Якутской ТЭЦ и КВГМ-100 Хабаровской ТЭЦ-2, причем необходимо отметить, что за 5-8 лет эксплуатации циклонные предтопки ни разу не подвергались капитальному ремонту. С целью повышения эффективности сжигания топлива на модернизированных котлах проводились исследования влияния различных факторов на аэродинамику и смесеобразование в камере сгорания. Исследованиями удалось найти оптимальное соотношение скоростей при различных условиях ввода топлива для снижения образования окислов азота. Максимальное подавление окислов азота удалось добиться с использованием многосопловой центробежной форсунки для впрыска воды. Большое внимание уделялось времени наработки защитной огнеупорной обмуровки камеры сгорания и пережима предтопка так как кроме защитной функции ее назначение в тепловой стабилизации корневых зон воспламенения при обеспечении прогрева воздуха проходящего в улитке воздуховоде предтопка. По результатам проведенных исследований выполнялись доработки исходного проекта циклонно-вихревого предтопка.

Основная сложность модернизации циклонных предтопков котлов заключалась в том, что они конструктивно устарели, так как были установлены в 1982-84 годах, и за это время не подвергались реконструкции либо усовершенствованию, а проектом предполагалось изменить внутреннее оснащение при сохранении основного корпуса предтопка. Примечательно то, что основная экономия средств при модернизации (в сравнении с горелочным вариантом) достигалась за счет сохранения существующих вентиляторов, воздуховодов, площадок, разводки экранов, так как тепловым расчетом подтверждалось сохранение исходной отметки предтопка. Перед началом проектирования были выполнены расчеты на математической модели с целью подтверждения рабочих параметров циклонного предтопка, так как предполагалось впервые выполнить предтопки на природном газе мощностью 25 и 35 МВт. Внесенные изменения касались, прежде всего, обмуровки, она стала легче в два раза с исключением повышенных термоаппаратов. Изменилось количество тангенциальных вводов воздуха в камеру сгорания и высота сопловых коробок. Увеличился объем камеры сгорания за счет уменьшения толщины обмуровки, что на 20% снизило объемное теплоаппаратуру. Усовершенствована торцевая вихревая камера и аксиальный завихритель. Применена система равнораспределенной раздачи газообразного топлива, с торцевым, распределительным коллектором для выполнения пуска и прогрева камеры сгорания на нагрузках ниже 25%. Реализация проекта проводится на трех котлах БКЗ-75, шести котлах КВГМ-100 и трех котлах ЭЧМ-25/35 и будет завершена к осени 2011 года.

СОДЕРЖАНИЕ

Азиханов С. С., Курильчик А. В., Богомолов А. Р. Теплообмен при конденсации пара на трубе в зернистом слое	3
Алексеев М. В., Кузнецов Г. В. Математическое моделирование процесса тепломассо-переноса при кондуктивной сушке древесины при пониженном давлении	4
Алексеев М. В., Сорокин А. Л., Шевырев С. А.. Гулев А. Н. Исследование процесса водородно-кислородного перегрева пара для применения высокотемпературной паровой газификации твердого топлива	5
Алмакаева Р. И., Сулейманов Н. М. Резервные источники энергосбережения на топливных элементах, использующих водород и метanol в качестве топлива	6
Алтухов Ю. А., Кисляк С. М., Аль Замили Али Миради Джасим Исследование аэродинамики и разработка конструкции лабиринтного золоуловителя на основе численного моделирования турбулентного течения запыленного потока для различных режимов работы	7
Барановский Н. В., Кузнецов Г. В. Трехмерная постановка задачи о зажигании слоя лесного горючего материала нагретой до высоких температур частицей	8
Беляевский Р. В. О формировании эффективных механизмов развития топливно-энергетического комплекса Кузбасса	9
Беляевский Р. В. О разработке комплексных программ энергосбережения	10
Бойков Д. В., Филимонов С. А. Гибридный алгоритм для совместного решения многомерных и сетевых задач	11
Бульба Е. Е., Кузнецов Г. В., Полсонграм М. Оценка эффективности технологий получения топлива и энергии из биомассы	12
Буфетов Н. С., Арбузов В. А., Алюкаева О. З. Определение концентрации водного раствора бромистого лития оптическим способом	13
Видин Ю. В., Казаков Р. В. Приближенный метод расчета распространения тепла вдоль комбинированного обобщенного ребра	14
Воронов Р. Н., Сорокин А. Л., Афанасьев Ю. О., Богомолов А. Р. Моделирование гидродинамических процессов на «холодной» модели циклонного реактора	15
Гайдаров Н. А., Захаров Ю. А., Киселёв Ю. Е., Сливной В. Н. Моделирование процессов закрутки потока в котлах	16
Глушков Д. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Тепломассоперенос при газофазном зажигании полимерного материала локальным источником энергии	17
Гладштейн В. И. Моделирование накопления повреждённости в металле высокотемпературных элементов энергооборудования путём оценки времени живучести образцов с надрезом	18
Гуцал К. В., Темникова Е. Ю., Кагакин Е. И., Богомолов А. Р. Выбор вспенивателя и оптимизация флотации угля по селективности	19
Дектерев А. А., Гаврилов А. А., Дектерев А. А. Численное моделирование влияния ввода воздуха на характеристики закрученного газожидкостного потока	20
Дектерев А. А., Минаков А. В., Сентябов А. В. Численное исследование эффективности конструктивных средств, предназначенных для подавления пульсаций в отсыпающей трубе гидротурбины	21
Дектерев А. А., Гаврилов А. А., Минаков А. В., Харламов Е. Б., Исаев С. А., Судаков А. Г., Баранов П. А. Моделирования задач гидродинамики и теплообмена с использованием программ SIGMAFLOW и VP2/3	22
Дементьев П. В., Захаров Ю. Н., Зеленский Е. Е., Родина М. В. Математическое моделирование подземной газификации угля	23
Добросельский К. Г. Тепловая динамика в сносимой поперечным потоком слабонеизотермической струе	24

Журмилов А. А., Цыганкова К. В., Захаров Г. А. Аэродинамическое взаимодействие потоков на выходе из устья горелки	25
Заворин А. С , Макеев А. А., Любимова Л. Л., Ташлыков А. А., Фисенко Р. Н. Оценка средней температуры стенки труб поверхностей нагрева паровых котлов с помощью рентгенометрии	26
Загрутдинов Р. Ш., Малыхин Д. Г., Сечанин П. К., Шитова С. Н. Модернизация существующих угольных ТЭС внедрением газотурбинных технологий с внутрицикловой газификацией	27
Загрутдинов Р. Ш., Малыхин Д. Г., Сечанин П.-К., Шитова С. Н., Филипченко С.А. Производство жидкого синтетического топлива из угля	28
Загрутдинов Р. Ш.. Нагорнов А. Н , Нагорнов Н. А., Шитова С. Н., Сеначин П. К. Реконструкция устаревшего котельного оборудования ТЭС для повышения их единичной мощности и улучшения технико-экономических и экологических характеристик	29
Захаров А. Ю., Косов И. А. Повышение энергоэффективности консольных насосов	30
Иванова Е. В. Математическое моделирование теплофизических и термохимических процессов при вулканизации кабельных изделий	31
Исламов И. Х.. Федотов А. И. Повышение надежности электроснабжения с использованием динамических компенсаторов искажения напряжения	32
Исламов И. Ш. К-е модели в условиях диссоциации газовой смеси	33
Казаков А. В., Логинов В. С., Богомолов А. Р. Элементарная динамическая модель топки котельного агрегата	34
Казанский Д. А. Разработка критериев эксплуатационной надежности для рабочих и направляющих лопаток современных газовых турбин	35
Калекин В. С., Калекин Д. В. Поршневой пневмодвигатель с самодействующим впускным клапаном	36
Каськов А. А., Каракин Е. И., Богомолов А. Р., Азиханов С. С. Разработка антисмерзающего компонента и способ внесения его в массу угля	37
Кашинский О.Н., Лобанов П.Д., Курдюмов А.С., Прибатурина Н.А. Исследование структуры зоны трехмерных возмущений однофазного потока в кольцевом канале с частичным перекрытием сечения	38
Куйбин П. А., Пылев И. М., Захаров А. В. О влиянии газовой фазы на гидродинамические и гидроакустические характеристики гидроагрегатов	40
Кузнецов Г. В., Кац М. Д. О влиянии толщины образца и длительности импульса на погрешности определения теплофизических характеристик методом лазерной вспышки	41
Кузнецов Г. В., Мамонтов Г. Я., Титов А. В. Тепломассоперенос и окисление металла в интегральной микросхеме	42
Кузнецов Г. В., Озерова И. П., Цыганкова Ю. С. Оценка потенциала энергосбережения при анализе фактических потерь тепла при транспортировке теплоносителя в тепловых сетях	43
Кулаковский Д. А., Зеленъевич А. И. Трехфазный стабилизированный выпрямитель	44
Лазарев С. И., Лапин Д. А. Сжигание КЕКа обогатительных фабрик коксующихся углей в котлах со слоевой топкой	45
Леманов В. В., Терехов В. И.,Шаров К. А., Шумейко А. А. Особенности течения затопленной осесимметричной и плоской министруй	46
Лобасов А. С., Минаков А. В. Численное моделирование теплофизических процессов в теплообменнике на основе микроканалов	47
Лобасова М. С. Подготовка бакалавров и магистров-теплофизиков в Сибирском Федеральном Университете	48
Логинов В. С., Симонова О.С. Приближенный расчет нестационарной теплоотдачи при пленочной конденсации пара на вертикальной стенке	49

Никитин В. Д., Толкачева К. П. Возможность применения гибридных установок для освещения	50
Никишанин М. С., Пузырев Е. М.. Сечанин П. К. Брикетирование бурых углей, отходов углеобогащения, деревопереработки и сельхозпроизводства и некоторые пути их использования	51
Николаев Ю. Е., Мракин А Н. Исследование эффективности источников комбинированного энергоснабжения на базе газогенераторных установок	52
Платонов Д. В., Минаков А. В., Пылев И. М. Влияние установки полого цилиндра на стабилизацию потока в диффузоре отсасывающей трубы	53
Половников В. Ю. Исследование тепловых режимов двухтрубных канальных тепло-проводов	54
Пузырев М. Е., Афанасьев К. С., Каширских М. В., Сеначин П. К. Разработка устройств для огневой утилизации углесодержащих отходов	55
Пузырев М. Е., Голубев В. А., Пузырев Е. М. Сжигание растительных отходов	56
Савинова Н. А., Рубцов Н. А., Слепцов С. С. Численное моделирование радиационно-кондуктивного теплообмена в полупрозрачном слое при радиационном нагреве	57
Саломатов В. В., Энхжаргал Х. Нелинейное математическое моделирование термоподготовки и горения угольной частицы	58
Слесаренко И. Б., Богданович Г. А., Слесаренко В. В., Вагнер В. В. Комбинированная гелиоустановка с тепловым насосом	59
Сливной В. Н. Распределенная когенерация – перспективный путь повышения энергетической безопасности регионов	60
Терехов В. И., Терехов В. ., Экаид А. Л. Управление свободноконвективным теплопреносом в 2-и 3-d замкнутых прослойках	61
Францева А. А. ТЭц с газосетевыми подогревателями и комбинированной системой теплоснабжения с фреоновыми термотрансформаторами	62
Чернецкая Н. С., Чернецкий М. Ю., Дектерёв А.А. Численное исследование образования оксидов азота при предварительном подогреве угольной пыли	63
Чернецкий М. Ю., Алекснович А. Н., Дектерев А.А. Численное моделирование шлакования поверхности нагрева топочной камеры при сжигании КАУ	64
Шевырёв С. А., Кагакин Е. И., Богомолов А. Р., Прибатурина Н. А. Газификация углеродсодержащих материалов (усм) в потоке высокотемпературного водяного пара	65
Шиляев М. И., Афанасьев Ю. О., Богомолов А. Р. Приближенная модель горения частиц топлива в циклонной камере	66
Шиляев М. И., Пензинский В. В. Опыт использования универсального метода расчета инерционных пылеуловителей при организации двухступенчатой воздухоочистки на предприятии ООО «ТОМЛЕСДРЕВ»	67
Штым А. С., Маркелова И. А. Повышение эффективности работы схемы теплоснабжения на основе альтернативных источников энергии	68
Штым А. Н. Перспективы энергетического направления в структуре дальневосточного федерального университета	69
Штым А. Н., Упский В. А., Штым К. А., Упский М. В. Исследование и применение многосопловых центробежных форсунок на котлах с циклонными предтопками	70
Штым К. А., Соловьева Т. А. Модернизация циклонно-вихревых предтопков котлов БКЗ-75, ЭЧМ 25/35, КВГМ-100 на сжигание природного газа	71

Подписано в печать 12 08.2011 Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Уч.-изд. л. 4,7.

Тираж 100 экз. Заказ 24

КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Типография КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.