СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

1945 2015 ПОБЕДА! 70 ЛЕТ

Краевой фонд науки
Основан в 1992 году

ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ-2015

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ,
АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ **«ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ-2015»**, ПОСВЯЩЕННОЙ 70-ЛЕТИЮ ВЕЛИКОЙ ПОБЕДЫ

КРАСНОЯРСК, СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
15-25 АПРЕЛЯ 2015 Г.

Министерство образования и науки Российской федерации
ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

Сборник материалов Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Проспект Свободный-2015», посвященной 70-летию Великой Победы

Красноярск, Сибирский федеральный университет, 15-25 апреля 2015 г.

Красноярск, 2015.

«Теплоэнергетика»

УДК 620.91

ПОЛУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОГАЗА НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ

Абашев Н. Л.
научный руководитель доктор техн. наук Баранова М.П.
Политехнический институт СФУ

Развитие сельского хозяйства обеспечит продовольственную безопасность, даст множество новых рабочих мест, новые (или хорошо забытые старые) технологии, приведет к развитию альтернативной энергетики. Как комплексная отрасль с/х способно обеспечить развитие других смежных отраслей экономики России, например, машиностроение, строительство, коммуникации.

Отрицательные тенденции развития традиционной энергетики, обусловленные быстрым истощением природных ресурсов и загрязнением окружающей среды, привели к тому, что возникла необходимость объединения усилий ученых разных стран в области развития энергетики на возобновляемых ресурсах.

Чрезвычайно важна утилизация биомассы в сельском хозяйстве, где на различные технологические нужды расходуется большое количество топлива и непрерывно растет потребность в высококачественных удобрениях. Всего в мире в настоящее время используется или разрабатывается около 60-ти разновидностей биогазовых технологий [1].

Биогаз - это смесь метана и углекислого газа, образующаяся в специальных реакторах - метантенках, устроенных и управляемых таким образом, чтобы обеспечить максимальное выделение метана. Получение биогаза экономически оправдано и является предпочтительным при переработке постоянного потока отходов (стоки животноводческих ферм и т. д.). Экономичность заключается в том, что нет нужды в предварительном сборе отходов, в организации и управлении их подачи - известно, сколько и когда будет получено отходов.Получение биогаза, возможное в установках самых разных масштабов, особенно эффективно на агропромышленных комплексах, где существует возможность полного экологического цикла. Биогаз используют для освещения, отопления, приготовления пищи, для приведения в действие механизмов, транспорта, электрогенераторов[2].

При анаэробном сбраживании органические вещества разлагаются в отсутствии кислорода. Этот процесс включает в себя два этапа (рис. 1). На первом этапе сложные органические полимеры (клетчатка, белки, жиры и др.) под действием природного сообщества разнообразных видов анаэробных бактерий, разлагаются до более простых соединений: летучих жирных кислот, низших спиртов, водорода и оксида углерода, уксусной и муравьиной кислот, метилового спирта. На втором этапе метанообразующие бактерии превращают органические кислоты в метан, углекислый газ и воду [3].

Цель данной работы: разработать технологию и установку по переработке отходов свиноводства для ООО СПК «Чистогорский», Кемеровской области.

На рисунке 2 представлена технологическая схема биогазовой установки.

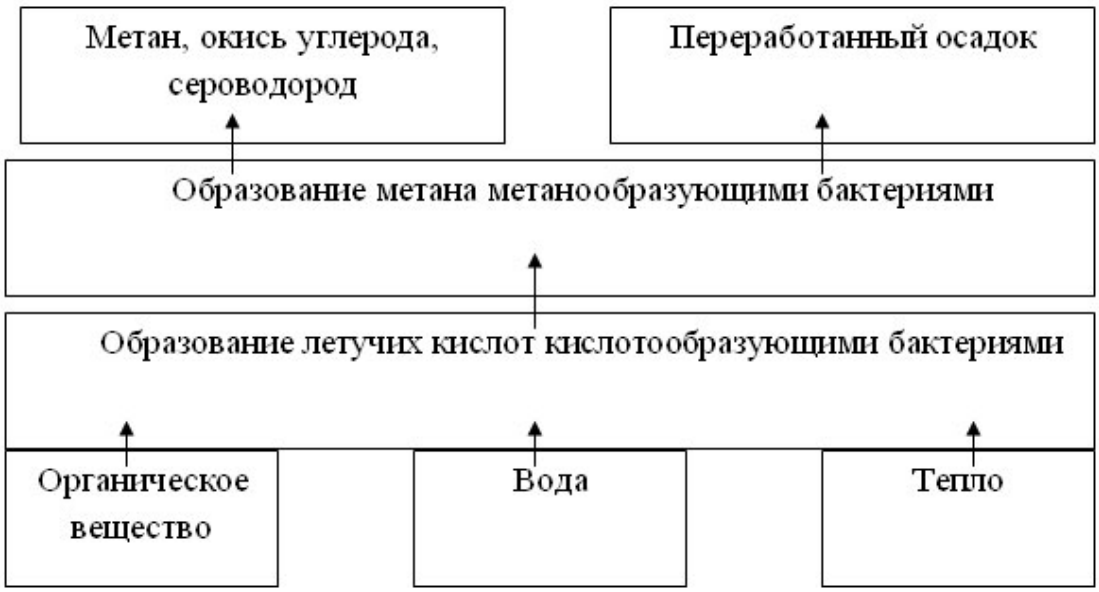


Рисунок 1.Схема сбраживания органических веществ

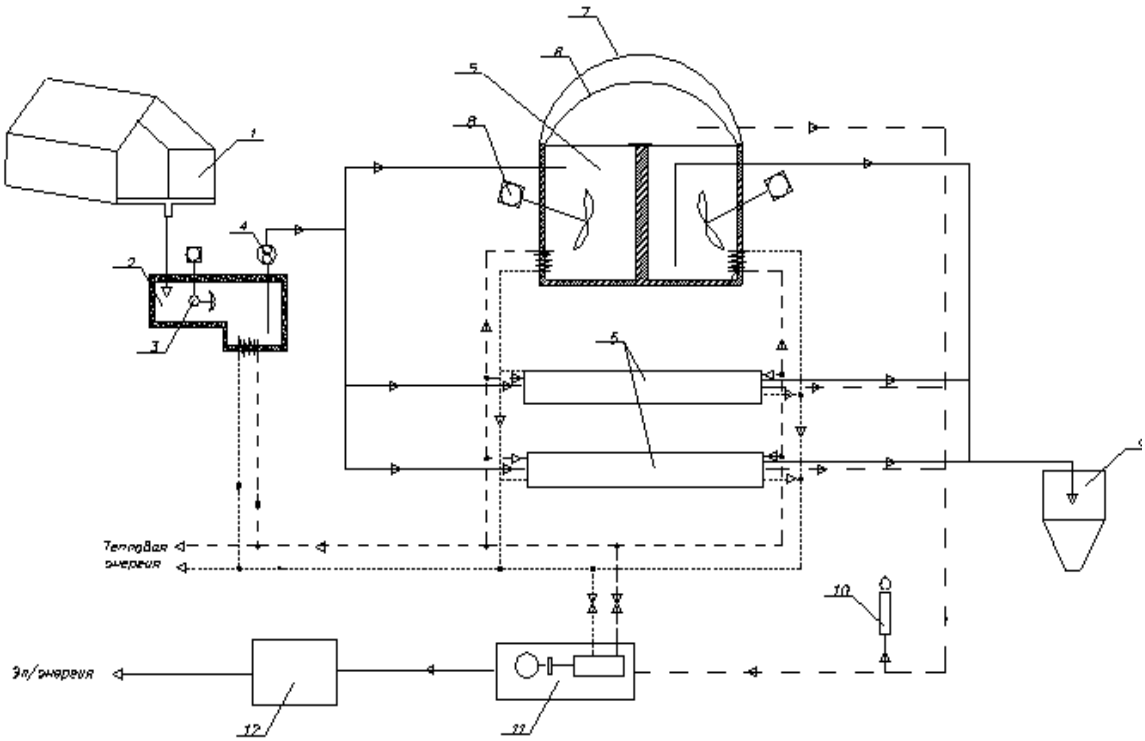


Рисунок 2. Технологическая схема биогазовой установки.
1 - свинарники, 2 - емкость гомогенизации, 3 - погружная мешалка, 4 - насос, 5 - ферментер, 6 - газгольдер, 7 - защитный купол, 8 - наклонная мешалка, 9 - бункер сброженного субстрата, 10 – факел, 11 - когеренциальная установка, 12 - технический блок.

Жидкие биоотходы перекачиваются на биогазовую установку фекальными насосами по трубопроводу навозоудаления. Канализационная насосная станция (КНС)

находится в специальном технологическом помещении. Жидкие отходы попадают не прямо в реактор, а в предварительную емкость. В этой емкости происходит гомогенизация массы и подогрев ее до необходимой температуры. Из емкости гомогенизации биомасса поступает в реактор. Реактор является газонепроницаемым, полностью герметичным резервуаром из эмалированной стали. Это конструкция теплоизолируется слоем утеплителя. Толщина утеплителя рассчитывается под конкретные климатические условия. Перемешивание биомассы внутри реактора производится наклонными и погружными мешалками.

Внутри реактора поддерживается фиксированная для микроорганизмов температура. Температура в реакторе мезофильная – около 37 °С. Подогрев реактора ведется теплоносителем (рисунок 3).

Температура воды на входе в реактор 60 °С. Температура воды после реактора около 40 °С. Система подогрева – это сеть трубок, находящихся внутри стенки реактора, либо на ее внутренней поверхности.

Рисунок3. Теплопункт

Данная биогазовая установка комплектуется когенерационной установкой.Теплоноситель от охлаждения генератора используется для подогрева реактора. Температура воды после генератора 90 °С. Теплая вода с температурой 90°С смешивается с водой 40 °С и поступает в реактор с температурой 60 °С. В зимний период биогазовой установке требуется до 50-70% вторичного тепла, отведенного от теплоэлектрогенератора. В летний – около 10%.

Среднее время гидравлического отстаивания внутри реактора 20-40 дней. На протяжении этого времени органические вещества внутри биомассы метаболизируются (преобразовываются) микроорганизмами.

В биореактор микроорганизмы вводятся один раз при первом запуске. Дальше никаких добавок микроорганизмов и дополнительных затрат не требуется.

На выходе имеем два продукта: биогаз и биоудобрения (компостированный и жидкий субстрат). Биогаз сохраняется в емкости для хранения газа - газгольдере. Здесь в газгольдере выравниваются давление и состав газа. Система газгольдера имеет двухслойную конструкцию. Давление биогаза внутри газгольдера составляет от 200 до 500 Па.

Герметичность в узле крепления купола и газгольдера к стене ферментатора обеспечивает пневматический замок. В состав пневматического замка входит специальный профиль - замок для крепления, трубки для крепления мембраны в замке, компрессор для создания давления в пневмозамке, грузики-натяжители, уплотнительная лента и клей для герметизации.

Для безопасной работы газгольдера установлен предохранительный клапан избыточного давления. В комплект поставки газгольдера входят смотровые акриловые окна и патрубки для отвода биогаза. Запас объема газгольдеров на несколько часов. Газовая система включает в себя вентилятор, конденсатоотводчик, десульфулизатор и т.п.

Из газгольдера идет непрерывная подача биогаза в газовый теплоэлектрогенератор (рисунок 4). Здесь уже производится тепло и электричество. Когенерационные теплоэлектростанции представляют собой оборудование для комбинированного производства электроэнергии и тепла одновременно. В обычных электростанциях неиспользованное тепло, образованное при производстве электроэнергии, выпускается в окружающее пространство, а когенерационные установки его используют для отопления. Происходит значительная экономия биогаза.

Рисунок4. Когенерационная установка

Когенерация - это самый экологический способ производства энергии.Когенерационные установки работают на базе двигателя внутреннего сгорания (ДВС), который работает на биогазе и приводит в действие генератор. ДВС сконструирован для сжигания биогаза, его отличительной особенностью являются две системы: система смешивания газа с воздухом и система удаления отработанных газов.

Таким образом, в ходе работыразработана технология и установка по переработке отходов свиноводства для ООО СПК «Чистогорский». Проведен ряд расчетов, на основании которых выбрано оборудование и обоснованы технологические обеспечения процесса.

УДК 536.461

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ СТРУКТУРЫ ДИФФУЗИОННОГО ПЛАМЕНИ ПРОПАН-КИСЛОРОД-АРГОН ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ

Бобров А.С., Мосеева Э.А.
научный руководитель док. тех. наук, профессор Шемпелев А.Г.
Вятский государственный университет

Горение ряда органических соединений, в том числе углеводородов, сопровождается образованием заряженных частиц в сверхравновесных концентрациях. В пламенах зарегистрировано несколько десятков различных ионов, концентрации могут достигать 10^{18} $м^{-3}$, превышая на 6 порядков равновесную при данной температуре пламени. Наличие заряженных частиц в области горения позволяет воздействовать на пламя при помощи электрического поля. Экспериментально исследовано влияние продольного постоянного электрического поля на распределение температуры в области горения. Поле создается при подаче разности потенциалов между двумя круглыми плоскими сеточными электродами радиусом 9 мм. Первый электрод нанизан на трубку горючего и находится на 5 мм ниже ее среза. Второй - над пламенем, не касаясь его. Вектор нормали к поверхности электродов параллелен оси потоков. Напряжение подается с высоковольтного стабилизированного выпрямителя (ВСВ-2).

Диффузионное пламя пропана и кислорода с инертной добавкой аргона исследуется на газовой горелке, которая представляет собой две кварцевые трубы расположенные соосно. Радиусы струй: внутренняя (горючее) – 4 мм, внешняя (окислитель) – 10 мм. Пламя образуется на срезе внутренней трубы горелки, срез которой находится на 200 мм ниже среза внешней горелки.

Область внутри горелки условно разбивается сеткой с шагом по вертикали 1 мм, по горизонтали 0,5 мм и хромель-алюмелевой микротермопарой диаметром спая 60 мкм термопарой измеряется температура точек пламени.

На рис. 1 представлено распределение температур (^{0}C) в пламени с инертной добавкой аргона в составе окислителя с α_o=0,4. Коэффициент избытка окислителя – α_o, который находится как отношение действительного количества окислителя к теоретически необходимому для полного сжигания поступающего топлива.

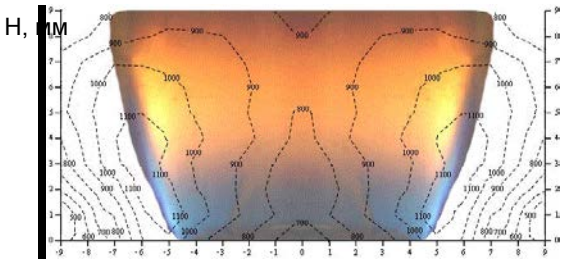


Рис. 1. Распределение температуры, α_o=0,4, E=0 кВ/м

Изменение тепловой структуры пламени при наложении продольного электрического поля, вектор напряженности которого направлен по потоку газа, с увеличением значения напряженности происходит следующим образом.

При значении напряженности 15 кВ/м, форма и излучение пламени остается прежними. Распределение температуры в области горения и ее максимальное значение остается постоянным. Увеличение напряженности электрического поля до 35 кВ/м вызывает изменение формы пламени и интенсивности свечения (рис. 2). Высота

пламени уменьшается на 28% относительно высоты пламени в отсутствии поля. Ширина верхней части увеличивается на 21%, ширина пламени вблизи среза трубки горючего практически остается постоянной.

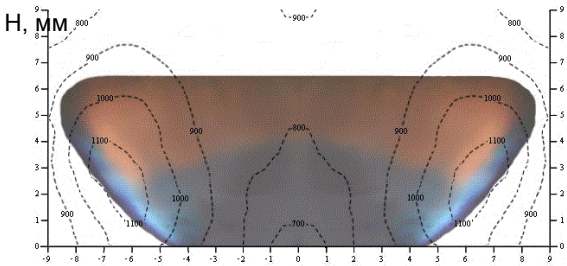


Рис. 2.Распределение температуры, α_o=0,4, $E_{\uparrow\uparrow}$=35 кВ/м

Происходит снижение интенсивности свечения пламени, область в верней половине пламени имеет бледно-оранжевое свечение, значение максимальной температуры остается прежним. В области пламени над срезом трубки горючего происходит снижение температуры на 100 К. При значении напряженности 70 кВ/м происходит дальнейшее снижение высоты пламени и интенсивности свечения. Высота пламени уменьшается на 33% относительно высоты пламени в отсутствии поля. Ширина верхней части увеличивается на 21%, ширина пламени вблизи среза трубки горючего увеличивается на 13 %, снижается интенсивность свечения пламени, область в верней половине пламени имеет синее свечение. Максимальная температура пламени составляет 1080 К, что на 7% ниже максимальной температуры пламени во отсутствии внешнего электрического поля. По направлению к срезу трубки горючего происходит снижение температуры, начиная с середины пламени от 800 К до 700 К вблизи среза трубки горючего. Наибольший температурный градиент наблюдается при движении по нормали к фронту пламени из области подачи окислителя.

При обратном направлении вектора напряженности электрического поля, форма и излучение пламени, распределение температуры и ее максимальное значение остаются постоянными при увеличении напряженности от 0 до 35 кВ/м относительно случая в отсутствии поля (рис. 1). При напряженности электрического поля 70 кВ/м высота пламени, по отношению к пламени в отсутствии поля, уменьшается на 17%, ширина верхней части пламени увеличивается на 8% по отношению к размерам пламени без наложения электрического поля. Уменьшается интенсивность зоны оранжевого свечения, зоны голубого свечения увеличивается. Распределение температуры относительно пламени остается подобным распределению без наложения поля. Область максимальных температур поднимается выше таковой в отсутствии поля. Вдоль оси симметрии от среза трубки горючего до середины пламени происходит повышение значений температуры в среднем на 20%.

Таким образом, при наложении на область горения продольного постоянного электрического поля в интервале напряженности от 30 до 120 кВ/м, происходит изменение формы и высоты пламени, положения источников тепловыделения относительно фронта пламени и значения экстремальных величин температуры области горения, а также формы фронта, что открывает возможность управления процессом горения посредствам электрического поля. Так, например, газофазной реакции горения конденсированного вещества предшествует пиролиз и испарение к-фазы, интенсивность протекания данных процессов существенно зависит от теплового потока к поверхности, управление которым может быть организованно при помощи электрического поля.

УДК 621.515

РАЗРАБОТКА СПОСОБА РАСШИРЕНИЯ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЕКТИРОВОЧНОГО РАСЧЕТА ДИАГОНАЛЬНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТУПЕНИ ЗА СЧЕТ ОБОБЩЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ТРЕХМЕРНОГО РАСЧЕТА ТЕЧЕНИЯ РАБОЧЕГО ТЕЛА

Грибов М.В.
научный руководитель доктор техн. наук, доцентРемизов А.Е.
ФГБОУ ВПО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А.Соловьева»

Диагональная ступень компрессора (Рис.1) является одной из важных частей ГТД, особенно целесообразна при создании двигателей малых размеров. В этом случае центробежная ступень устанавливается вместо нескольких осевых, имеющих сверхмалые высоты рабочих лопаток.

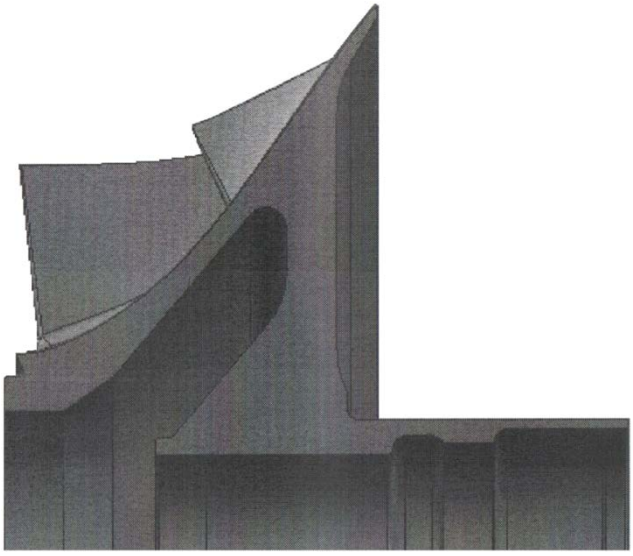


Рис.1. Диагональная ступень компрессора.

В настоящее время в ОАО «НПО «Сатурн» ведется работа по созданию высокоэффективных диагональных ступеней в ГТД, на основе одномерного и трехмерного метода расчета.

Были проведеныисследования существующих одномерных методов расчета диагональных ступеней и выбран один из перспективных. Проанализированы полученные данные, рассчитанные этим методом, и сопоставлены с экспериментальными результатами на примере уже существующих диагональных ступенях компрессоров [1]. Наблюдается высокая сходимость расчетных и экспериментальных данных, на основе чего можно сделать вывод, что с помощью этого метода можно получать более достоверные параметры диагональных ступеней в более короткие сроки.

Данный одномерный метод расчетавыполняется с помощью программы расчета центробежной или диагональной ступени по средним параметрам «CC_1D». Интерфейс программы (Рис.2) разделен на девять зон:

- строка заголовка (1);
- блок кнопок управления (2);

- выбор рабочего тела (3);
- ввод, просмотр и редактирования исходных данных (4);
- результаты расчета параметров по сечениям ступени (5);
- интегральные параметры ступени (6);
- окно отображения комментария к расчету (7);
- вкл./выкл. всплывающих подсказок о элементах интерфейса (8);
- галерея вкладок вариантов расчета (9).

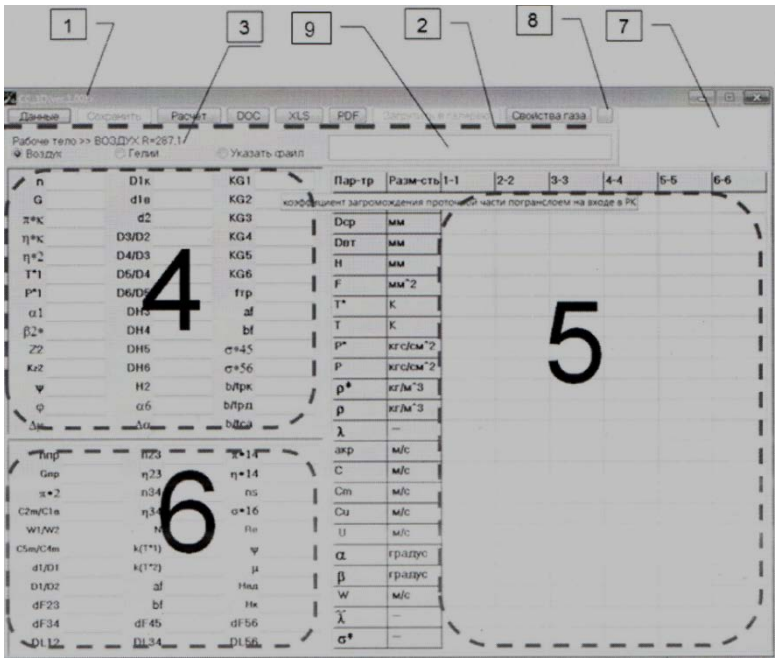


Рис.2. Интерфейс программы «CC_1D».

В результате расчета определяются геометрические размеры элементов ступени и основные параметры потока в характерных сечениях ступени. Программа позволяет выполнить поверочный расчет или определить (выбрать) оптимальные основные параметры ступени [2]. Результаты расчета могут быть использованы для детального расчета ступени по 2D и 3D методикам, поскольку одномерным методом расчета не всегда можно получить сразу истинные параметры из-за недостающей информации проточной части диагональной ступени компрессора.

Проведем расчет с целью проверки достоверности полученных результатов с помощью программы«CC_1D».Были рассчитаны значения параметра λ (приведенная скорость) по сечениям и сопоставлены с экспериментальными данными для$\pi_к^* = 4$ и $\pi_к^* = 6$ (степень повышения давления компрессора). Для анализа был выбран именно этот параметр так, как от λ зависят всетермогазодинамические параметры расчета диагональной ступени компрессора. Относительные отклонения полученных результатов приведены в таблице 1, где сечения «1-1» – вход в рабочее колесо (РК), «2-2» – выход из РК, «3-3» – вход в радиальный диффузор, «4-4» – выход из радиального диффузора, «5-5» – вход в спрямляющий аппарат (СА), «6-6» – выход из СА (Рис.3).

Таблица 1. Относительные отклонения расчетных значений и экспериментальных параметра λ по сечениям.

	Параметры λ по сечениям ступени					
	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5	6-6
$\pi_к^* = 4$	–11%	–5.4%	+5.2%	–	–	+18%
$\pi_к^* = 6$	–17%	–	–5.4%	–	–	–6.3%

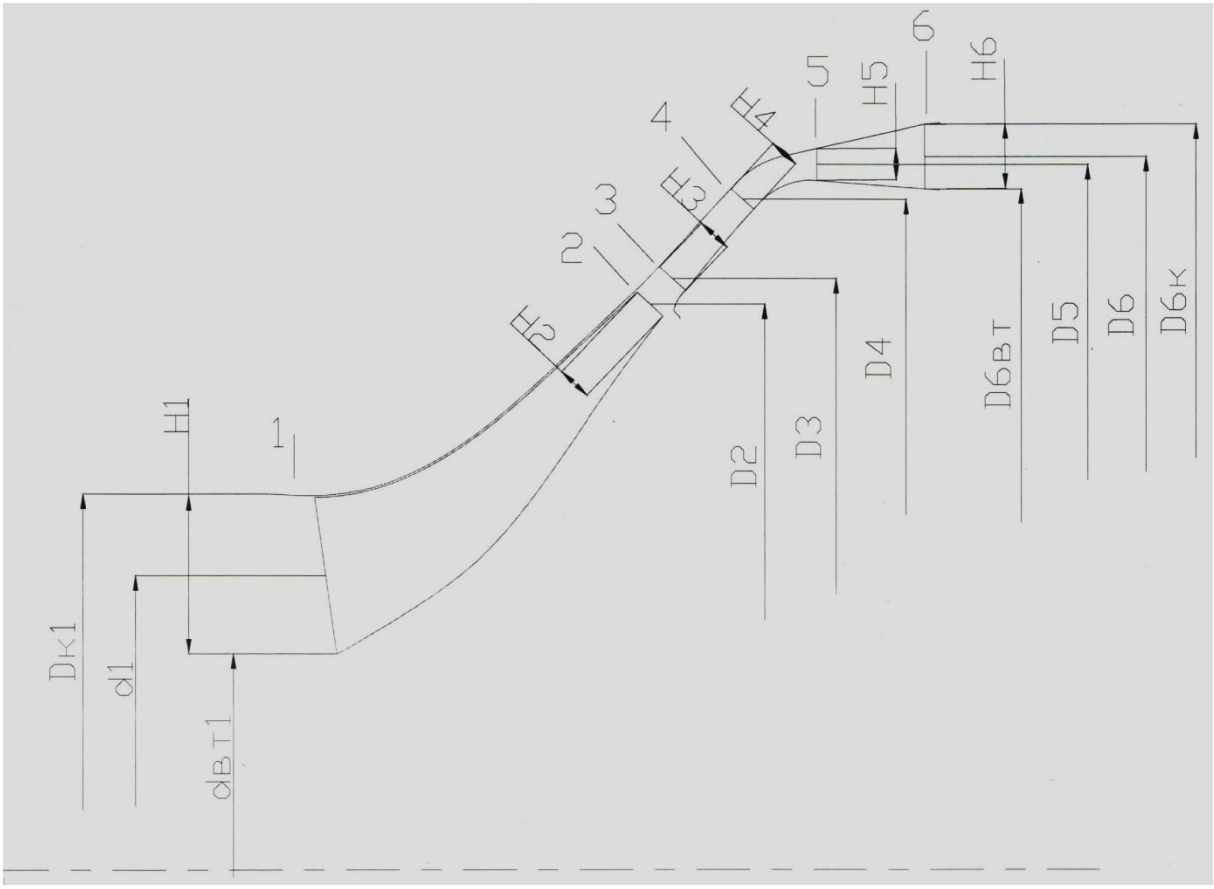


Рис.3. Схема ступени и положения расчетных сечений.

Расчетное давление завышается, что говорит о заниженных потерях при расчете скорости λ, это говорит о том, что мы не можем с помощью данного алгоритма программы получить достоверные параметры между сечениями 3-3 – 6-6,следовательно, необходимо провести изменения в программе, а именно в радиальных диффузорах.

Аэродинамические расчеты, выполняю в одномерном и трехмерном расчете диагональных ступеней, минуя двухмерный, поскольку приблизительная геометрия уже известна, и выполнять расчет в 2D является не целесообразным. Трехмерные расчетные работы проточной части выполняются в программе CFX.

Данная тема является весьма актуальной для современного развития авиационных двигателей, поскольку более широкое развитие последнее время

получали многоступенчатые осевые компрессоры, а конструкции и методы диагональных ступеней заметно устарели и требуют развития в этой области, для получения наиболее высоких параметров.

Список литературы

1. Металликов С.М., Бывшев Ю.В., Гайгеров В.И. Экспериментальное исследование диффузоров центробежного компрессора. Теплоэнергетика. – 1970. - №9. – 67 с.

2. Ибрагимов О.Я. Программная документация. Программа расчета по средним параметрам центробежной и диагональной ступени компрессора. Рыбинск: ОАО«НПО «Сатурн», 2014. – 37 с.

УДК 628.5

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ДЫМОВЫМИ ГАЗАМИ

Дряхлова В.А., Лебедев В.И.,
научный руководитель доцент, канд. техн. наук Гронь В.А.
Сибирский федеральный университет

Тепловая энергетика оказывает отрицательное влияние практически на все элементы окружающей среды ,а так же на человека и другие организмы и их сообщество. Хотя в настоящее время значительная доля электроэнергии производится за счёт относительно «чистых» видов топлива (газ ,нефть) ,закономерной является тенденция уменьшения их доли в мировом производстве. По имеющимся прогнозам , эти энергоносители могут потерять своё ведущее значение уже в первой четверти 21 столетия. Не исключена вероятность существенного увеличения в мировом энергобалансе использования углей , которые могут обеспечить потребности в энергии в течении достаточно большого времени.

Угольная энергетика в настоящее время наиболее неблагоприятна в экологическом отношении по сравнению с использованием других энергоносителей.

Исследования проводились на одном из теплоцентралей, проблема которых является утилизация газовых и жидких отходов.

Запылённые отходящие газы ТЭЦ содержат пыль , оксид углерода , диоксид углерода , диоксид серы , оксиды азота и другие вредные примеси в количествах , значительно превышающих предельно допустимые концентрации этих веществ в атмосферном воздухе.

Все отходящие газы ТЭЦ в соответствии с санитарными нормами и правилами подвергаются очистке на очистных сооружениях , установленных на производстве. Все технологические газы , поступающие на газоочистные установки (циклоны , электрофильтры) , после их очистки выбрасываются в атмосферу через дымовые трубы высотой 150-180 м. Однако , степень очистки связана со значительной изношенностью газоочистного оборудования , а так же с колебаниями качественно-количественных характеристик сырья , поступающего в производство.

Применяемы на ТЭЦ электрофильтры являются универсальными аппаратами для очистки промышленных газов от сажи , золы и пыли. При этом не только происходит загрязнение воздушного бассейна вредными выбросами предприятий энергетики , но образуется большое количество сточных вод , качественная очистка которых представляет собой сложную задачу.

Проблема очистки сточных ТЭЦ стоит достаточно остро , поскольку существующие технологические схемы очистки не обеспечивают необходимой степени извлечения вредных примесей: взвешенных веществ , хлоридов , сульфатов , соединений железа и меди , азота аммонийного , фторидов и нефтепродуктов , а также примесей имеющих щелочную среду (pH 10-11).Качественно-количественная характеристика сточных вод представлена в таблице 1.

Таблица 1. Качественно-количественная характеристика сточных вод.

Наименования вредных веществ	Исходная концентрация мг/дм^3	Остаточная концестрация, мг/дм^3		Эффективность очистки, %		ПДК, мг/дм^3	Класс опасности
		По существ. техноло-	По предлогае-мой техноло-	По существ. техноло-	По предлогае-мой техноло-		

		гии	гии	гии	гии		
Водородный показатель	10-11	10-11	6,5-8,5			6,5-8,5	-
Взвешанные вещества	45,6	45,6	2,28	-	95	ОБУВ	-
Нефтепро-дукты	0,18	0,18	0,03	-	98,2	0,05	4
Хлориды	390,4	390,4	7,03	-	98,2	300	4
Сульфаты	203,5	203,5	3,05	-	98,5	100	4
Железо общее	1,68	1,68	0,05	-	97	0,1	3
Алюминий	2,1	2,1	0,04	-	98	0,2	4
Марганец	0,75	0,75	0,008	-	98,4	00,01	22
Азот нит-ратный	16,4	16,4	0,3	-	98,2	99,1	33

Решение проблемы является исключительно важным не только с экологической точки зрения , но и в аспекте ресурсосбережения , так как глубокая очистка промстоков позволяет существенно увеличить использование воды в целях замкнутого водооборота.

При наличии в сточных водах тонкодисперсных частиц золы очистка протекает крайне медленно и малопроизводительно. Поэтому производственные сточные воды направляются на очистку в радиальный отстойник , совмещённый с нефтеловушкой. Отстойник представляет собой круглый резервуар , в котором движется вода от центра к периферии. Также отстойники используются при расходах взвесей составляет около 60% , нефтепродуктов до 80 %.

Сточные воды , образующиеся в результате процесса сжигания углей , имеют щелочную среду (pH=10-11) , за счёт высокого содержания солей кальция и магния , которые образуют отложения , и использовать их в оборотном водоснабжении не допустимо.

Дымовые газы , образующиеся в результате технологического процесса , имеют кислую среду , за счёт содержания CO_2 , SO_4 , NO_2 и др. , которые предлагают применять для нейтрализации сточных вод содержащих щёлочь.

Применение кислых газов позволяет не только нейтрализовать сточные воды , но и одновременно производить высокоэффективную очистку самих этих газов от вредных компонентов . Применение CO_2 в дымовых газах позволяет резко снизить стоимость процесса нейтрализации по сравнению с использованием H_2SO_4 , HCI , а так же использование кислот из процесса.

Вследствие плохой растворимости CO_2 уменьшается опасность перекисления нейтрализованных растворов.

Для осуществления процесса нейтрализации предлагаются абсорбционные колонны , которые подразделяются на плёночные , поверхностные , распылительные , трубчатые , насадочные и барботажные адсорбенты. Наиболее эффективнее процесс нейтрализации протекает в барботажных адсорберах с перемешиванием жидкости , т.к. в других колоннах возможно засорение внутренних деталей из-за образования осадка

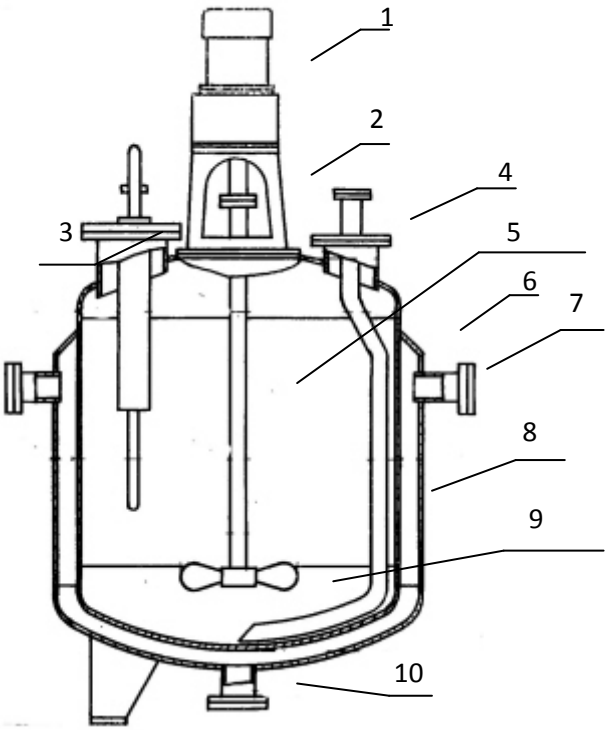
(шлама) в процессе нейтрализации. Это приводит к поломке аппаратов , при использовании насадок произойдёт их загрязнение , забивание , что снизит эффективность очистки.

Барботажные адсорберы с механическим перемешиванием жидкости представляют собой сосуд с мешалкой , в которой газ барботируется через слой перемешиваемой жидкости , Механическое перемешивание повышает скорость массопередачи , так как касательные напряжения , возникающие в жидкости при перемещивании , вызывают дробление пузырьков газа , что ведёт к увеличению жидкости поверхности соприкосновения фаз.

Наиболее употребительны турбинные мешалки с прямыми лопатками , создающие радиальный поток перемешиваемой жидкости , у стенок сосуда располагают отражательные перегородки. Газ подают под мешалку через центральную трубу , перфорированное трубчатое кольцо , полный вал , а иногда через пористую перегородку или перфорированный лист.

Для проведения процесса абсорбции рекомендуется отношение H/D =1-4 и d/D=2,5-4, где d- диаметр мешалки, D – диаметр сосуда, H – высота жидкости в сосуде. Окружную скорость на конце лопаток принимают 3-8 м/с.

Абсорбер с перемешивающим устройством представлен на рисунке 1.



1- Привод аппарата; 2 – стайка привода; 3 - входной патрубок для ввода газа; 4 – выходной патрубок очищенного газа; 5 – вол мешалки; 6 – корпус аппарата; 7 – опора аппарата; 8 – отражательная перегородка; 9 – мешалка; 10 – патрубок для отвода очищаемой воды.

Рисунок 1. Абсорбер с перемешивающим устройством

При больших отношениях H/D (выше 2,5) применяют многорядные турбинные мешалки. При малом расходе удельной мощность (0,2 кВт/м$^{3)}$ целесообразнее применить однорядную, а при большом расходе удельной мощности (0,75 кВт/м^3) – многорядную турбинную мешалку.

В результате процесса нейтрализации образуется шлам (осадок карбоната кальция ($CaCO_3$)), который удаляется механическим способом – отстаиванием.

В промышленных условиях для доочистки сточных вод от механических примесей чаще используют зернистые материалы. Важной характеристикой зернистых материалов является их дешевизна и доступность. Используются такие материалы, как кварцевый песок, керамическая кромка, дробленый антрацит, сульфоуголь и др. При фильтровании суспензий через указанные фильтры различают две основные причины их разделения: механическое задержание твердых частиц на входе в каналы фильтрующегося слоя и адгезия этих частиц на поверхности зерен слоя наполнителя.

Наиболее перспективны для этих целей скоростные многослойные фильтры, у которых фильтрующий материал состоит из слоя песка и антрацита. Сточные воды фильтруют через указанные фильтры сверху вниз при скорости фильтрования 5-12 м/ч. Продолжительность фильтрования зависит от состава промстоков и составляет 12-48 ч. Грязеемкость зернистых фильтров равна по задержанию нефтепродуктов и масел 1-2 кг/м^3, по механическим примесям, 1,5-3 кг/м^3. Фильтры промывают через дренажную систему, наиболее высокая эффективность промывки достигается при использовании горячей воды температурой 80^{0}С.

Далее сточные воды ТЭЦ направляются на электростанцию. Способ электрофлотационной очистки основан на переносе загрязняющих веществ частиц из объема жидкости на ее поверхность пузырьками газов, образующихся при электролизе сточных вод. Основные флотационные процессы протекают с участием водорода.

Обычно в установках для электрофлотации используются растворимые электроды (железные и алюминиевые). При их растворении протекают реакции, в результате которых в воду переходят катионы железа или алюминия, способствующие дальнейшей коагуляции присутствующих в водной среде примесей. Эти электрофлатационные процессы очистки наиболее эффективны при очистке сточных вод за счет одновременного воздействия на загрязнения коагулянтов (гидрооксидов железа и алюминия) и пузырьков газа. Данная технология не требует больших энергетических затрат, обеспечивает необходимую степень извлечения загрязнений.

УДК 532.528

ИЗМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ВОДЫ ПРИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ (ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ КАВИТАЦИЯ)

Емельянова Т. Ю., Кашкина Л. В., Стебелева О.П.
научный руководитель кант. техн. наук. Стебелева О.П.
Сибирский федеральный университет

Одним из перспективных направлений интенсификации технологических процессов (например в теплоэнергетике) проводимых в жидкостях, является кавитационная технология [1]. Кавитация — (от лат. cavitas – пустота) — образование в жидкости полостей (кавитационных пузырьков, или каверн), заполненных газом, паром или их смесью. Кавитация возникает в результате местного понижения давления в жидкости, которое может происходить, например, при увеличении её скорости (гидродинамическая кавитация). Кавитационные эффекты могут возникнуть например в перемешивающих устройствах определенной конструкции, если мешалку с лопастями клиновидной формы - кавитатором раскручивать со скоростью 10000об/мин. При высокоскоростном перемешивании гидродинамический режим радиального движения жидкости в какой-то момент времени может быть не только турбулентным, но и с разрывом сплошности потока. В результате в жидкости образуются полости, заполненные газом, паром или их смесью (кавитационные пузырьки, каверны). Концентрация механической энергии жидкости приводит к аккумуляции в очень малых объемах кавитационных пузырьков энергии высокой плотности (до 1015 Дж/м3). Температура и давление вблизи схлопывающихся пузырьков могут достигать величин выше 2000К и 100МПа.

Кавитационное течение характеризуют безразмерным параметром (числом кавитации):

$$\chi=\frac{P_a-P_d}{\rho\frac{V^2}{2}},$$

где Pa– гидростатическое давление набегающего потока, Па; Pd – давление насыщенных паров жидкости при определенной температуре окружающей среды, Па; ρ – плотность среды, кг/м3; V – скорость потока на входе в систему, м/с.

В зависимости от величины χ можно различать четыре вида потоков: докавитационный — сплошной (однофазный) поток при χ >1; кавитационный — (двухфазный) поток при χ ~1; пленочный — с устойчивым отделением кавитационной полости от остального сплошного потока (пленочная кавитация) при χ < 1; суперкавитационный — при χ <<1.

В данной работе были поставлены следующие **задачи:**

- Получить кавитационно-активированную воду (AW), обработав дистиллированную воду в гидродинамическом генераторе роторного типа, работающего в режиме суперкавитации;
- Провести экспериментальное исследование характера изменения коэффициента

поверхностного натяжения σ активированной воды , полученной в двух однотипных генераторах роторного типа, отличающихся формой кавитирующей крыльчатки, величиной вводимой энергии, скоростью вращения ротора (вода KAW1 и KAW2);

- Изучить изменение σ активированной воды с течением времени (релаксация);

- Провести сравнение полученных данных с литературными.

В работе использовалось 2 гидродинамических генератора (ГГ1, ГГ2). ГГ1 сконструирован на базе лабораторного блендера Waring 8010D (США). Внутри гладкостенного стального стакана (рабочая камера) помещен кавитатор-двухлопастная крыльчатка с углом раскрытия клина 60º. Объем стакана – реактора 100мл. Скорость вращения 10000об/мин. Мощность электродвигателя 1 кВт. Число кавитации χ = 0,05. Конструкция второго генератора (ГГ2) подобна первому. Однако материал рабочей камеры железо, объем 3000мл, мощность электродвигателя 4 кВт. Кавитатор- четырехлопастная клиновидная крыльчатка. Используемая в работе скорость вращения- 2880 об/мин, число кавитации χ = 0,01.

Измерение коэффициента поверхностного натяжения проводилось методом отрыва кольца, который основан на измерении усилия, необходимого для отрыва проволочного кольца от поверхности жидкости. Точность метода ~3%. Единица измерения - мН/м, обозначение – σ.

Зависимость σ от времени кавитационной обработки для воды KAW1 представлена на рис.1. Как показано в работе [2], при таких режимах обработки воды наблюдается повышение ее температуры от 23 до 40 С

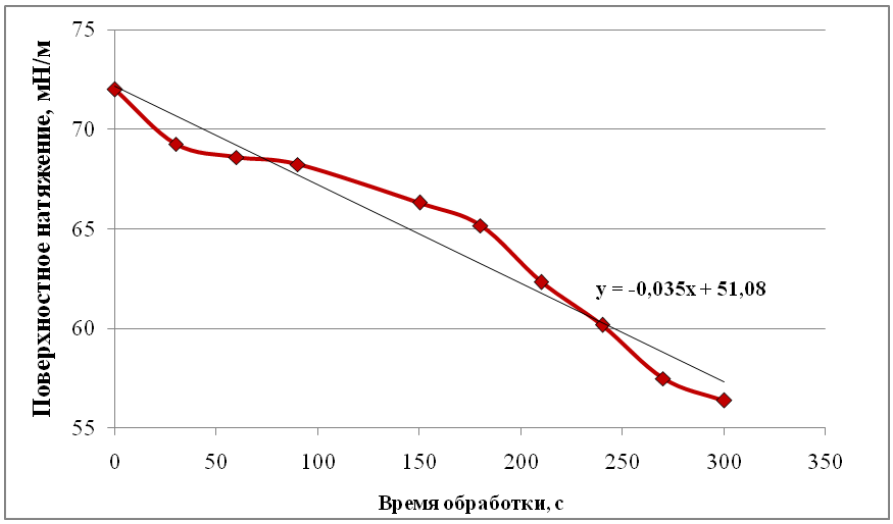


Рисунок 1. Коэффициент поверхностного натяжения для KAW1

Таким образом, при определенных режимах гидродинамических течений и времени кавитационной обработки можно добиться уменьшенья σ свыше 20%. Согласно табличным данным, при нагревании дистиллированной воды от 23 до 40° С σ изменяется от 72.28 до 69.6, т.е. на 3.7% . В этом же температурном интервале при кавитационной обработке σ уменьшается на 22% .Разница в 6 раз.

Зависимость σ от времени кавитационной обработки для KAW2 представлена на рис.2

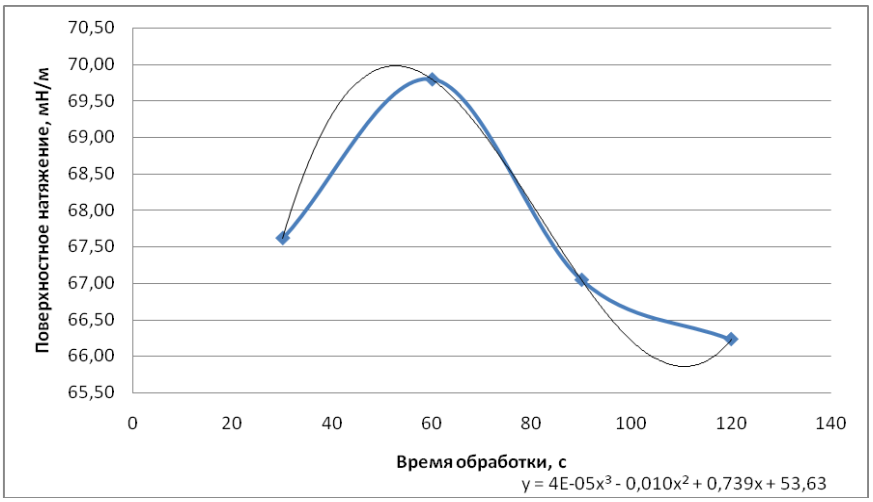
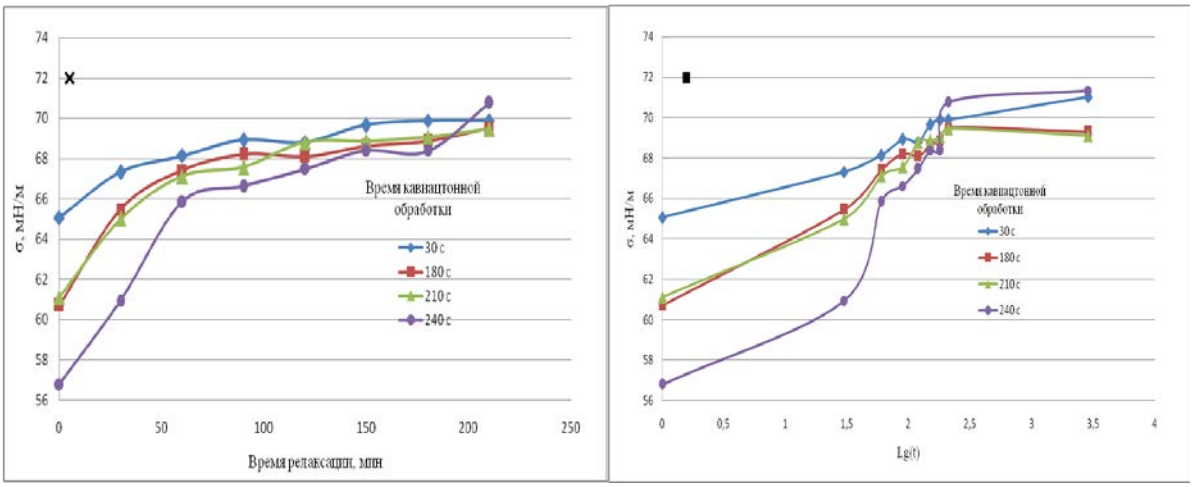


Рисунок 2 . Коэффициент поверхностного натяжения для KAW2

При кавитационной обработке 300 с значение σ уменьшилось ≈ 8% ,Разница между значениями σ для KAW1 и KAW2 может быть объяснена не только конструкционными особенностями ГГ1 и ГГ2, но и наличием в AW2 примеси частичек железа со стенок рабочей камеры ГГ2. Т.е. при использовании кавитационных технологий конструкционный материал генератора (сталь, железо и т.д.) имеет большое значение.

Сравнение кривых на рис. 1 и 2 показало, что от конструкционных особенностей гидродинамических генераторов и технологических условий зависят величина измененных физико-химических параметров воды, но они не влияют на закономерности этих изменений.

Релаксационные t кривые коэффициента σ для активированной дистиллированной воды AW1 приведены на рис. 3 (логарифмический и обычный масштаб).



а) *б)*

Рисунок 3. Релаксационные кривые коэффициента σ: а) в зависимости от времени релаксации, б) в логарифмическом масштабе

Таблица1. Поверхностное натяжение активированной воды

Время релаксации, мин.	**Поверхностное натяжение (σ), мН/м**			
	Время кавитационной обработки, с			
	30	180	210	240
0	**65,06**	**60,72**	**61,12**	**56,80**
30	**67,32**	**65,47**	**65,00**	**60,95**
60	**68,14**	**67,41**	**67,12**	**65,84**
90	**68,93**	**68,22**	**67,57**	**66,62**
120	**68,81**	**68,10**	**68,80**	**67,47**
150	**69,67**	**68,63**	**68,86**	**68,39**
180	**69,89**	**68,87**	**69,07**	**68,37**
210	**69,89**	**69,50**	**69,47**	**70,77**
2880 (2-е суток)	**71,03**	**69,30**	**69,12**	**71,34**

В данной работе полученное время релаксации для σ не более 60 мин. Согласно данным работы [3] время релаксации для параметра pH кавитационно - активированной дистиллированной воды составляет 3.5-4 часа.

Результаты для σ настоящей работы сравнивались с величиной σ в воде при ее СВЧ-облучении [4]. Значение σ для AW1 при высокоэнергетической кавитационной обработке в течение 210, 240, 270 с с точностью до~1% совпадают с σ воды, облученной СВЧ - волнами (см – диапазон) низкой интенсивности в течение 10, 20, 30 мин (табл. 2)

Таблица 2. Изменение σ при различных воздействиях

Гидродинамическая кавитация		СВЧ-облучение [4]	
Время обработки, мин	σ, мН/м	Время обработки, мин	σ, мН/м
3.5	62,34	10	62,61
4	60,16	20	60,30
4.5	57,48	30	57,96

Известно, что σ – физический параметр, зависящий не только от свойства поверхностного слоя жидкости, но и от структурного состояния жидкости в целом.

Совпадение величин σ воды, полученных при внешних воздействиях разной физической природы, энергоемкости, длительности можно объяснить с точки «одинаковости» изменения в этих случаях ее кластерной структуры. Однако, необходимо также принимать во внимание, что при этом большую роль играет изменение физико-химических свойств кавитационно-активированной воды. Если кавитация возникает в воде, то это приводит к механолизу молекул H20, образуются H+ OH^{-},H*, OH*, H2 O2 , H2 O и продукты их взаимодействия.. По данным [2] при кавитационной (гидродинамическая кавитация) обработке воды в течение 400с концентрация радикала OH*в активированной воде в 17 раз больше. чем H2O2.

Список использованных источников

1. Емельянова Т. Ю., Кашкина Л.В, Стебелева О. П. Исследование кавитационного воздействия на поверхностное натяжение воды // Тезисы докладов XXI Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых, Омск, 26 марта-2 апреля 2015. – С. 213 - 215

2. Кулагин В.А. Сапожникова Е.С., Стебелева О.П. Кашкина Л.В., Чжэн Ч.И., Ли Ц., Ли О.Ч. Особенности влияния эффектов кавитации на физико-химические свойства воды и стоков. // Журнал СФУ. Серия: техника и технологии. Т.7. – N 5. – 2014, С. 605-614

3. Витенько Т.Н., Гумицкий Я.М. Механизм активирующего действия гидродинамической кавитации на воду// Химия и технология воды. Т.29. – N5.– 2007, С. 422-432

4. Мамедов, Н, А. Изменение поверхностного натяжения воды под действием различных физических факторов// Мамедов, Н.А., Гарибов, Г. И., Алекберов, Ш. Ш., Расулов ,Э. А.// Прикладная физика. № 6. – 2014. С. 20-23

УДК 662.933.12

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ И РАЗРАБОТКИ ПО БЕЗМАЗУТНОЙ РАСТОПКЕ И ПОДСВЕТКЕ ФАКЕЛА ТОПОЧНЫХ КАМЕР КОТЛОВ

Запрудский С.Г., Рогов Е.В.
научный руководитель док. тех.наук, профессор Дубровский В. А
Сибирский федеральный университет

Аннотация

Выполнен анализ горелочных устройств по безмазутной растопке котельных агрегатов, рассмотрены наиболее перспективные варианты для современных тепловых электростанций

Энергоресурсосбережение – один из важнейших стратегических ориентиров долгосрочной государственной политики Российской Федерации. Для повышения эффективности воспламенения и стабилизации процесса горения углей на тепловых электростанциях обычно используют высококалорийное жидкое топливо – мазут (в объеме 10–20 % от расхода угля). Ежегодно на пылеугольных ТЭС России расходуется более 5 млн тонн мазута для растопки котлов, подсветки факела и стабилизации выхода жидкого шлака.

Поэтому,как никогда, актуальна замена мазута при растопке и подсветке факела котельных агрегатов углями, цена которых более чем на порядок ниже жидкого топлива – мазута.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОРАСТОПКИ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

До 1950-х гг. XX в. в нашей стране мазут был дефицитным и использовался только для растопки мощных котлов на ТЭС, сжигающих низкосортные угли или антрациты.

По этой причине для экономии мазута при растопке котлов широкое распространение получили растопочные муфельные горелки. Наглядным примером могут выступать муфельные предтопки, которыми оборудованы все котлы Красноярской ТЭЦ-1, Южно-Кузбасской и Южно-Уральской ГРЭС. Опыт использования этих муфельных предтопков доказал возможность растопки пылеугольных котлов без мазута, хотя культура их обслуживания оставляет желать лучшего. Поэтому на сегодняшний день подобные конструкции растопочных горелок практически не имеют распространения на тепловых электрических станциях России, в связи с чем потребовалась разработка новых технологий безмазутной растопки котлов.

На Красноярской ТЭЦ-1 в 1943–1959 гг. были установлены котлы Подольского котлостроительного завода для сжигания бурого угля Канско-Ачинского бассейна с муфельными растопочными горелками. Эти горелки представляли собой небольшой предтопок с колосниковой решеткой с подводом вторичного воздуха и лазом для загрузки кускового твердого топлива (рис. 1).

Главным недостатком в эксплуатации этих растопочных горелок является ручное обслуживание муфельных предтопков. Канско-ачинский уголь, использующийся для растопки хранился на площадке перед муфелем, при этом постоянно самовозгорался, создавая опасность для обслуживающего персонала и оборудования.

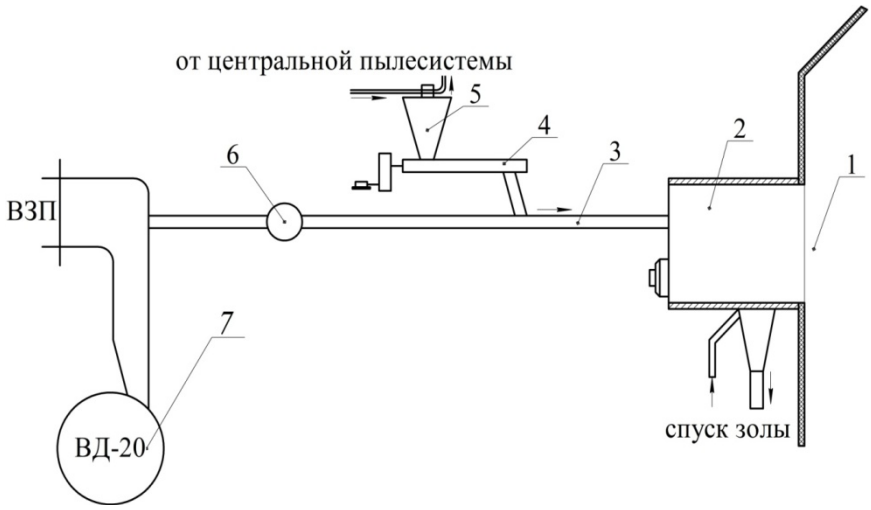


Рис. 1. Начальная схема системы электрорастопки котлов Красноярской ТЭЦ – 1: 1 – топочная камера котла; 2 – муфельный предтопок; 3 – пылепровод; 4 – питатель угольной пыли; 5 – бункер пыли; 6 – дутьевой вентилятор; 7 – вентилятор высокого давления

Сотрудники Красноярского политехнического института совместно с сотрудниками Красноярской ТЭЦ-1 был разработан и запатентован оригинальный способ воспламенения пылевоздушной смеси (соавторы – инженер Красноярской ТЭЦ-1 М. П. Федченко и профессор Красноярского политехнического института Н. А Сеулин [1].

Сущность этого способа заключалось в том, что электрозапальник небольшой мощности (1,5 кВт) устанавливался не внутри предтопка, а за его пределами. Он располагался внутри трубопровода диаметром 219 мм, подводящего пылевоздушную смесь к предптоку. Для уменьшения охлаждающего эффекта запальника холодным пылевоздушным потоком конструкция запальника была выполнена из двух трубок из легированной стали диаметром 12 мм длиной 500 мм (рис. 2).Таким образом, получилось многоступенчатое воспламенение пылеугольного топлива.

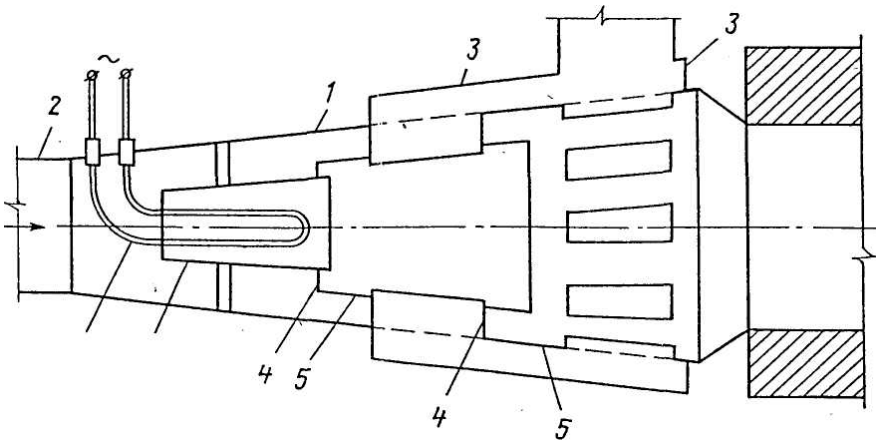


Рис.2. Принципиальная схема растопочной горелки Политехнического института Сибирского федерального университета:
1 – корпус; 2 – осевой патрубок; 3 – боковые патрубки вторичного воздуха; 4 – радиальные зазоры; 5 – обечайка; 6 – электронагреватель

Горелку такой конструкции неоднократно модернизировали [1] и испытывали на различных котлах Красноярских ТЭЦ-1. Результаты испытаний позволили сделать вывод о том, что многоступенчатое воспламенение можно получать не только с электрозапальником, но и с другим видом запала (газовая горелка, мазутная форсунка или совместное газово-мазутное запальное устройство).

СИСТЕМА МУФЕЛЬНОЙ РАСТОПКИ УГТУ-УПИ

Растопочная пылеугольная горелка [2],разработанная на кафедре «Тепловые электрические станции» Уральского государственного технического университета (УГТУ-УПИ) позволяет ускорить начало процесса газификации твердого топлива, а также в связи с этим ускорить процесс растопки, получить устойчивый растопочный факел. Конструкция растопочной горелки довольно проста, надежна и безопасна (рис.3).

Растопочная пылеугольная горелка состоит из следующих элементов: корпуса 1 с огнеупорной излучающей обмуровкой 2 (туннель, муфель, предтопок); соосного обмуровке патрубка подачи пылевоздушной смеси 3 со щелевым устьем 4: двух одинаковых вспомогательных жидкотопливных или газовых горелок 5, размещенных симметрично относительно продольной оси щелевого устья патрубка; подвода части вторичного воздуха 6; подвода основной части вторичного воздуха обмуровки топки.

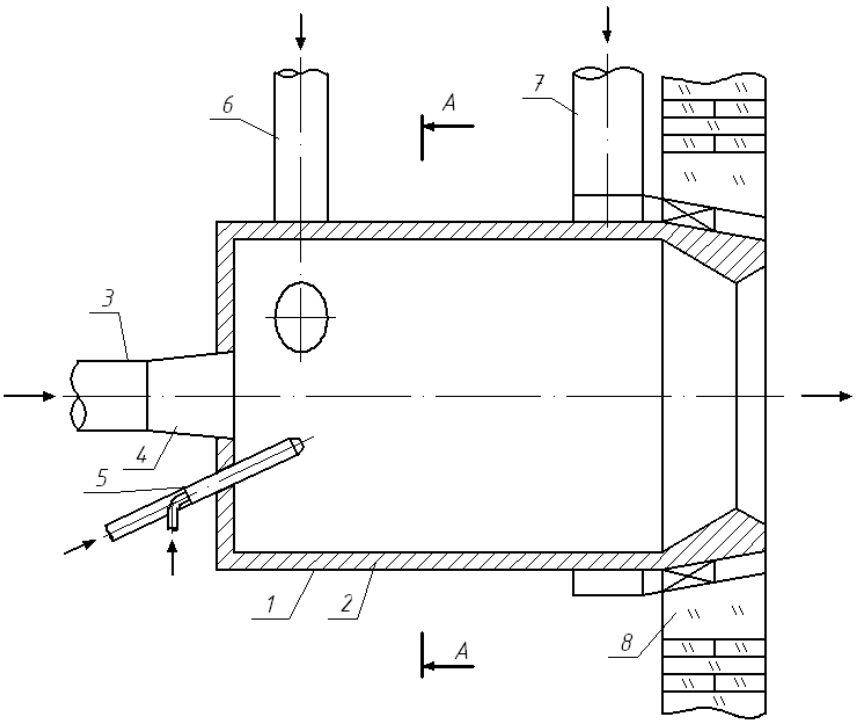


Рис.3. Схема растопочной пылеугольной горелки ТЭС УГТУ–УПИ:
1 – корпус пылеугольной горелки; 2 – обмуровка муфеля; 3 – патрубки подачи пылевоздушной смеси; 4 – щелевое устье горелки; 5 – вспомогательная горелка; 6, 7 – подвод вторичного воздуха; 8 – обмуровка топки

Опытно-промышленныйобразец муфельного предтопканакотле БКЗ-420 красноярской ТЭЦ-2.

В лаборатории «Термическая подготовка углей» кафедры «Тепловые электрические станции» Политехнического института Сибирскогофедерального университета был разработан проект системы термической подготовки канско-ачинских углей (КАУ) на основе применениямуфельного предтопка дляорганизации безмазутной растопки и подсветки факела котла БКЗ-420 Красноярской ТЭЦ-2 (рис.4).

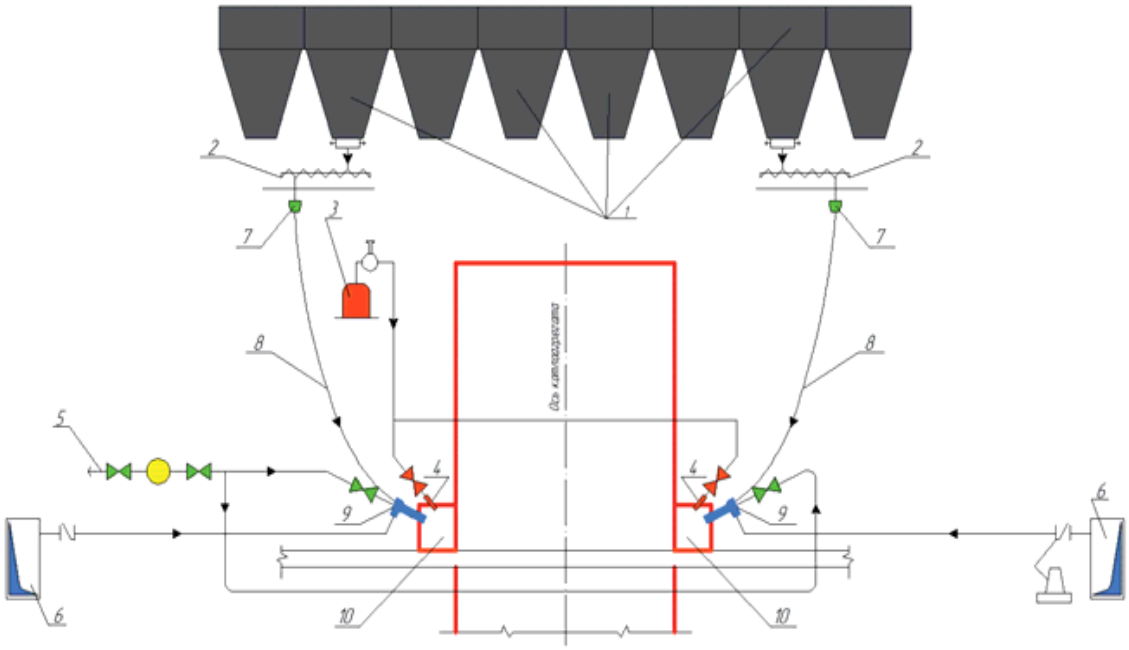


Рис.4. Принципиальная схема муфельной растопки котла БКЗ-420–140Красноярской ТЭЦ-2:
1 – бункер угольной пыли; 2 – пылепитатель; 3 – переключатель пыли; 4 – пропановыйбаллон для запально-сигнального устройства (ЗСУ); 5 – запально-сигнальное устройство; 6 – мазутная линия; 7 – короб вторичного воздуха; 8 – смеситель; 9 – пылепроводПВК растопочной линии; 10 – муфельная горелка; 11 – муфельный предтопок

За счет горения небольшого количества мазута нагревалась внутренняя стенка муфеля. Контроль за режимом нагрева муфеля производился с помощью термопар, которые фиксировали значение температуры дымовых газов по длине муфеля и температуру его внутренней стенки.После прогрева муфеля (температура стенки около 500° С) на малыхоборотах включался пылепитатель и угольная пыль высокой концентрации поступала на горение в раскаленный муфельный предтопок. Мазутную форсунку следовало отключить. Расход вторичного воздуха регулировался с помощью поворотного шибера через колонку дистанционногоуправления. Проходя через разогретый муфель, пылеугольная смесьпри малом коэффициенте избытка воздуха подвергалась предварительной термической подготовке и весь образовавшийся газифицированныйпоток угольной пыли поступал в объём топки котла, где происходилоего выгорание и последующий разогрев объема топочной камеры. Опытэксплуатации муфельного горелочного устройства в течение полуторалет показал высокую его эффективность, возникали,конечно, трудности,связанные с забиванием пылепровода в период пуска муфельного предтопка, а также при поступлении угольной пыли в непрогретый пылепровод диаметром 76 мм происходило ее налипание.

Система термоподготовки для котловТомь-Усинской ГРЭС

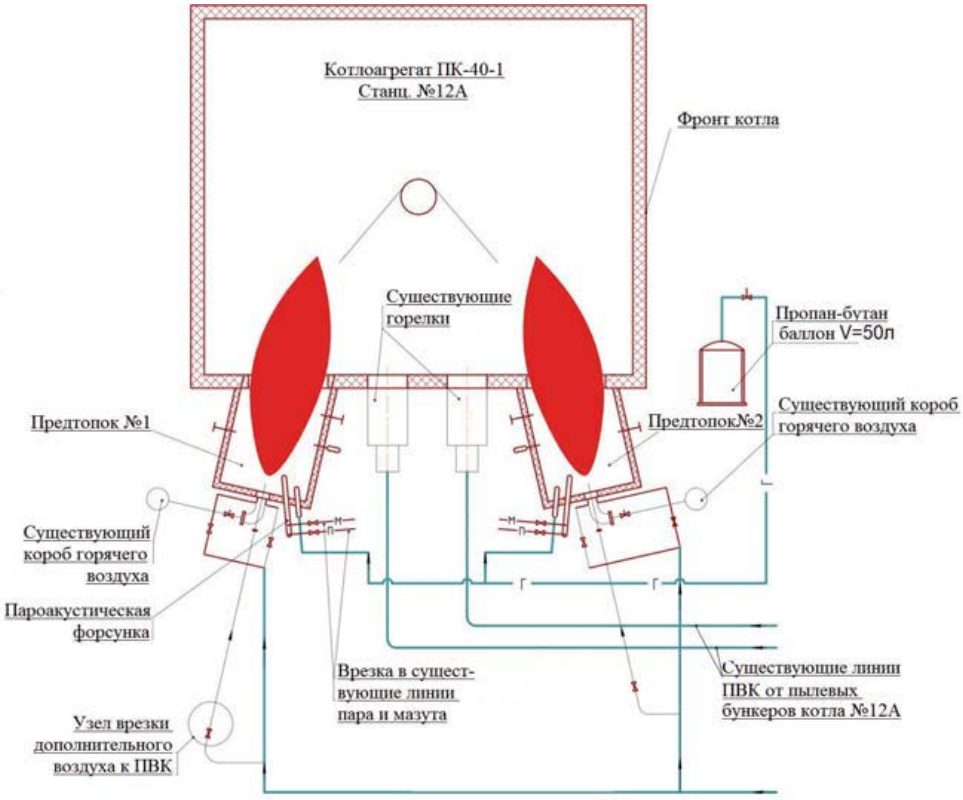


Рис.5.Система муфельной растопки котла ст.№12 Томь-Усинской ГРЭС

При растопке прямоточных котлов ПК-40-1 расходуется значительное количество мазута по сравнению с барабанными котлами той жемощности.

По предложению технического руководства Томь-Усинской ГРЭСмуфельные предтопки были установлены взамен штатных пылеугольных горелок на котле ст. № 12, корпус 12А (рис. 5) и на корпусе 12Б.

Муфельные горелки были оборудованы пароакустическими форсунками малой мощности, которые хорошо зарекомендовали себя приэксплуатации. Запально-сигнальные устройства (ЗСУ), установленныена муфелях корпуса 12Б, были заменены на наиболее надежные в работезапальносигнальные устройства (ЗСУ) на корпусе 12А.Принцип работы системы растопки аналогичен тому, что был впервые реализован КГТУ на котле БКЗ-420 Красноярской ТЭЦ-2. Однакоимеются существенные отличия в конструктивном оформлении муфельных горелочных устройств, которые позволяют использовать их как вкачестверастопочных, так и при работе котла в качестве основных горелок.

Универсальноегорелочноеустройстводлякотлов ПК-40-1 БеловскойГРЭС. Для котла ПК-40-1 Беловской ГРЭС была разработана и защищена патентами на изобретение оригинальная система растопки с применением универсальной горелки(рис.6*)*.

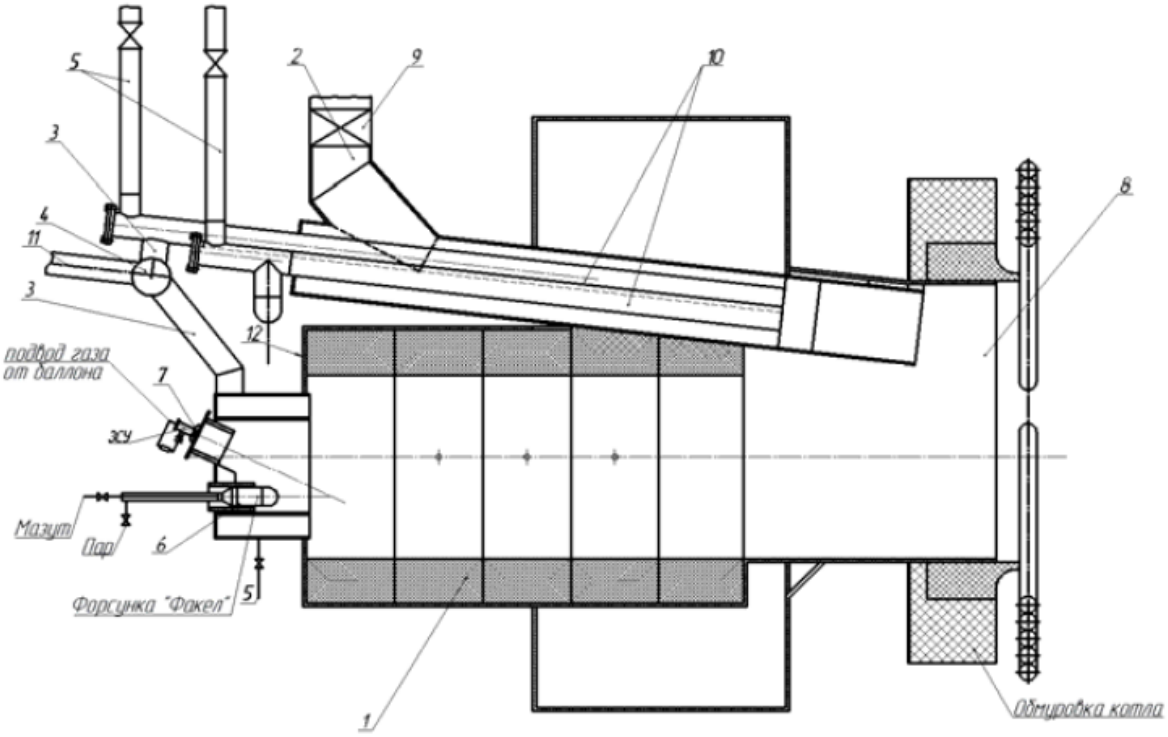


Рис.6. Принципиальная схема универсальной горелки:
1 – муфель; 2 – устройство подвода вторичного воздуха; 3 – устройство подвода ПВК;4 – клапанраспределения пылевоздушной смеси; 5 – подвод первичного воздуха; 6 – мазутная паромеханическая форсунка ФУЗ-350 НПП «Внедрение»; 7 – защитно-сигнальноеустройство ЗСУ; 8 – амбразура выхода пламени в топку; 9 – шибер регулирования подачивторичного воздуха; 10 – трубопровод подачи ПВК в топку; 11 – трубопровод подачи ПВКв муфель; 12 – лючок для визуального контроля за воспламенением угольной смеси

Впервые муфельная часть горелочного устройства была выполнена цилиндрической формы, что позволило организовать эффективный подвод вторичного воздуха, чего невозможно было осуществить на муфельных предтопках, установленных нами на Томь-Усинской ГРЭС и КрасноярскойТЭЦ-2.

Муфель (1) изготовлен из клинового огнеупорного кирпича, расположенного в металлическом корпусе.

Устройство подвода вторичного воздуха (2) выполнено в виде металлического короба, внутри которого эксцентрично установлен муфель (1).

Мазутная форсунка и защитно-сигнальное устройство помещаютсяв муфель и крепятся на фланцах. Оси их пересекаются внутри муфелядля обеспечения надежного воспламенения мазута. Для контроля за температурой в обмуровке и внутри муфеля установлены гильзы с термопарой с выходом сигнала на щит управления.

Однако, несмотря на явные преимущества разработанного горелочного устройства по сравнению с вышерассмотренными для растопки котла также было необходимо применение дорогостоящего жидкого топлива-мазута, а значит сохранялось громоздкое мазутное хозяйство на ТЭС.

Универсальнаявсережимнаягорелкадля котлов БКЗ-420 Красноярской ГРЭС-2.

Принципиальная схема разработанного всережимного горелочногоустройства, установленного на котле БКЗ-420-140 ст. № 9Б Красноярской ГРЭС-2 представлена нарисунке7. Суть предлагаемоготехнического решения заключается в том, что горелочное устройство содержит муфельную часть, выполненную в виде трубы из нержавеющей стали.Нагрев стенки муфеля осуществляется за счет электронагревателей.

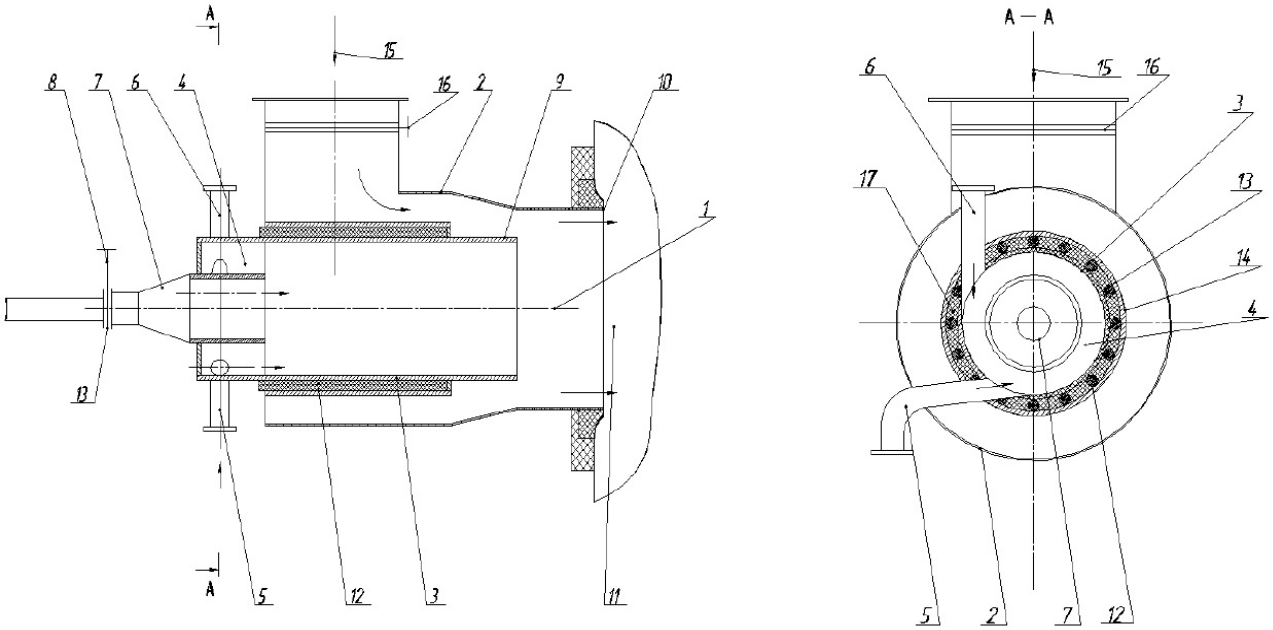


Рис.7. Всережимное горелочное устройство:
1 – растопочная горелка; 2, 4, 7 – сопла; 3 – муфельный участок;5, 6 – патрубки; 8, 16– шиберы; 9 – насадок; 10 – амбразура; 11 – топочная камера котла; 12 – блок электронагревателей; 13 – канал; 14 – обечайка; 15 – воздушная магистраль; 17 материал с высокойтеплопроводностью

Промышленные испытания горелочного устройства показали высокую эффективность его работы. Предлагаемое техническое решениеимеет целый ряд преимуществ, в результате чего:

– повышается эффективность и экономичность растопки котла засчёт исключения дополнительных устройств для электронагрева (например, генераторов высокой частоты или трансформаторов);

– повышается коэффициент использования растопочных горелок до100 %, за счет установки горелок двойного назначения взамен штатных горелок, которые можноиспользовать в качестве растопочные и основных;

– снижаются эксплуатационные затраты на муфельные горелки;

– повышается надежность работы растопочных муфельных горелокза счет постоянного охлаждения корпуса муфеля потоком вторичноговоздуха;

– увеличивается коэффициент использования установленной мощности котельного оборудования за счет обеспечения вытекания жидкогошлака и ликвидации затрат нарасшлаковку топочных камер котлов;

– не требуется разводка топочных экранов;

– снижаются оксиды азота;

– повышается надежность в работе;
– не требуется громоздкое мазутное хозяйство.

Выводы

На основе анализа различных конструкций устройств для безмазутной растопки котельных агрегатов современных тепловых электростанций установлено, что наиболее эффективным и перспективнымявляется всережимное горелочное устройство, опытный образец которого прошел промышленные испытания на котле БКЗ-420 Красноярской ГРЭС-2.

Список литературы

1. А. с. 1210001 СССР, МКИ F 23 D 1/00. Пылеугольная горелка /Н. А. Сеулин, Л. Г . Осокин, В. К. Шнайдер и др. (СССР). - № 3635118/24-06; заявл.18.08.83; опубл. 07.02.86, Бюл. № 5.

2.Берг Б.В., Батхишиг А., Микула В.А. Растопка пылеугольных котлов с пониженным расходом мазута: Материалы всосоюзной конференции // Сборник трудов 3-й научно-практ. Конф. Т. 2. - Благовещенск,2003. - С. 284-290.

УДК 620.92

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОФИКАЦИОННОГО ОТБОРА ТУРБИН

Карабарин Д.И.,
научный руководитель доктор техн. наук, профессор Михайленко С.А.
Сибирский федеральный университет

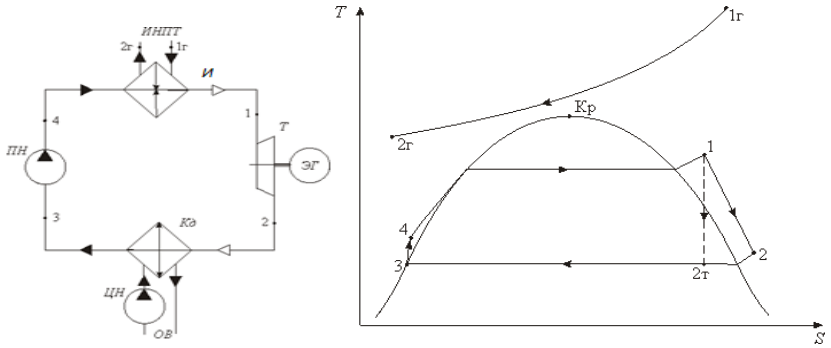
На сегодняшний день удельный расход топлива на выработку электрической энергии турбины Т-250На ТЭЦ-3 при работе по тепловому графику составляет около 274,67 г./кВт.ч , а при работе в конденсационном режиме 347,61 г /кВт.ч. При изменении доли выработки электроэнергии на тепловом потреблении $э_m$ от 1 до 0 удельный расход топлива линейно изменяется от 274,67 до 347,61г/кВт.ч.

Для повышения экономичности и надежности работы паровых теплофикационных турбин целесообразно повышать коэффициент использования теплофикационного отбора таких турбин до 1.

При снижении и отсутствии низкопотенциальной теплофикационной нагрузки потребителя тепла, можно использовать данный пар для испарения низкотемпературного рабочего тела, для выработки дополнительной электрической мощности или холода.

Существует два основных бинарных цикла выработки дополнительной электрической мощности на теплофикационном отборе ;Органический цикл Ренкина и Цикл Калины, а также установки для выработки холода – Адсорбционные охладители.

1) Органический цикл Ренкина



а) *б)*

Рисунок 1. Принципиальная схема установки, реализующей цикл Ренкина а) принципиальная схема; б) изображение цикла в T–S-диаграмме; ИНПТ – источник низкопотенциальной теплоты; Кд – конденсатор; И – испаритель; ОВ – охлаждающая вода; ПН – питательный насос; Т – турбина; ЦН – циркуляционный насос охлаждающей воды; ЭГ – электрогенератор

Для значений температур греющих теплоносителей в диапазоне 100-130 0С целесообразно применять в утилизационном контуре хорошо известный в холодильной технике и быту газ бутан (R-6O0 по международной классификации). Цикл для установки работающей на бутане представлен на рисунке 2

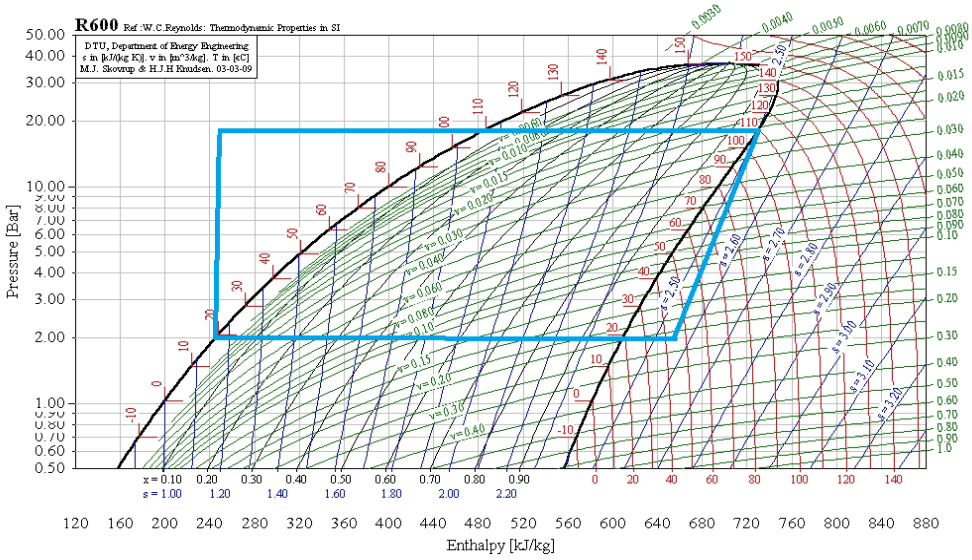


Рисунок 2. ОЦР на бутане

2) Цикл Калины

Простейшая схема энергоустановки (рис. 3) содержит подогреватель раствора (экономайзер) 1, в котором водоаммиачная смесь нагревается до точки кипения, и десорбер 2, где происходит кипение (сначала при более низкой температуре кипит аммиак, а по мере снижения концентрации аммиака в растворе температура кипения повышается). После сепаратора 3 образовавшийся пар подается на турбину 4, являющуюся приводом электрогенератора 5. Слабый (с меньшей концентрацией аммиака) раствор из сепаратора 3 через дроссельный клапан 6 поступает на смешение с отработавшим паром на выхлопе из турбины 4. Далее после конденсации в абсорбере 7 крепкий раствор питательным насосом 8 вновь подается в подогреватель 1.

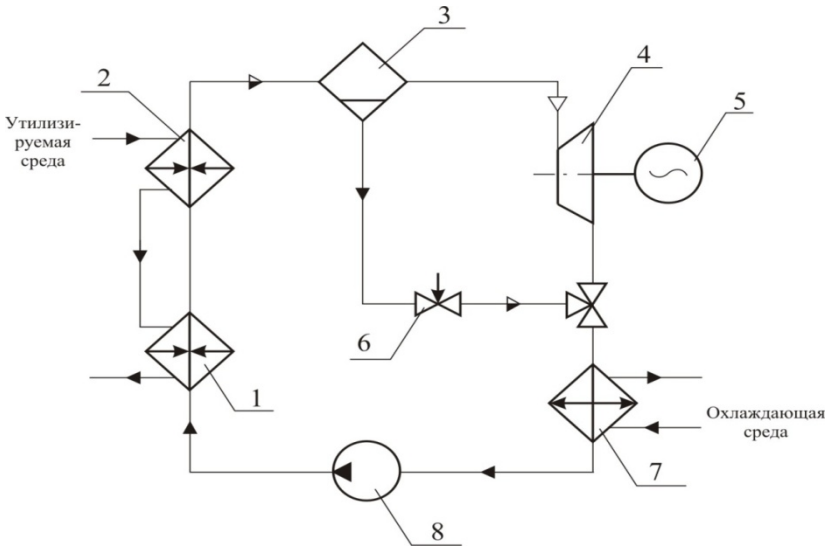


Рисунок 3. Принципиальная схема силовой установки с водоаммиачным НРТ

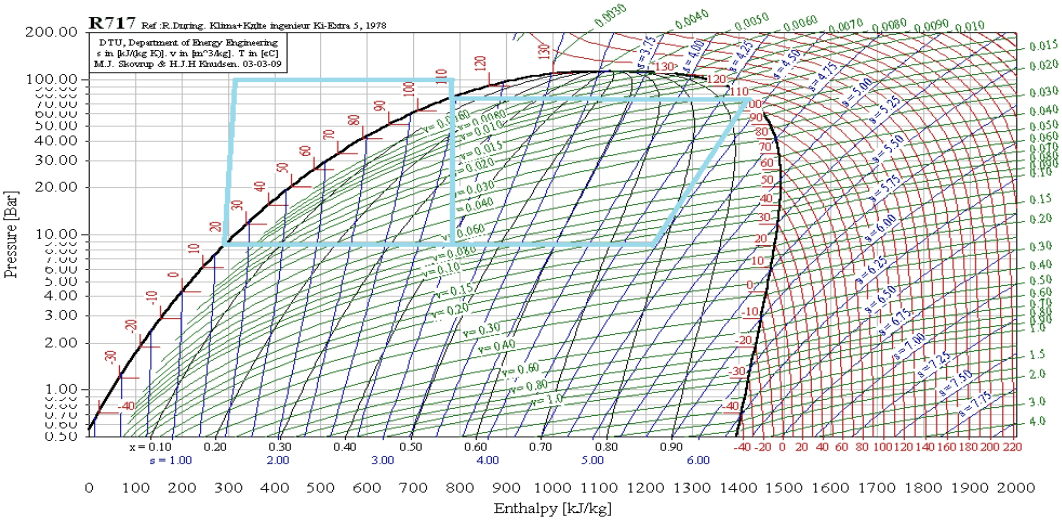


Рисунок 4. Цикл калины

3)Абсорбционные холодильные машины

Водноступенчатых АБХМ хладагент последовательно перемещается через четыре основных компонента машины – испаритель, абсорбер, десорбер и конденсатор. Холодильный цикл одноступенчатой АБХМ представлен на рис. 5. Хладагент испаряется при понижении давления в испарителе 1. Этот процесс идет с поглощением теплоты. В отличие от парокомпрессионной холодильной машины, процесс понижения давления в испарителе происходит не за счет работы компрессора, а за счет объемного поглощения (абсорбции) хладагента жидким абсорбентом в абсорбере 2. Затем абсорбент споглощенным им хлад-агентом (бинарный раствор) поступает в десорбер 3. В десорбере бинарный раствор нагревается за счет горения газа, паром и т. д., в результате чего происходит выделение хладагента из абсорбента. Обедненный абсорбент из десорбера возвращается в абсорбер. Хладагент поступает под большим давлением в конденсатор 4, где переходит в жидкую фазу с выделением теплоты, а затем через расширительный клапан 5 поступает в испаритель, после чего начинается новый цикл.

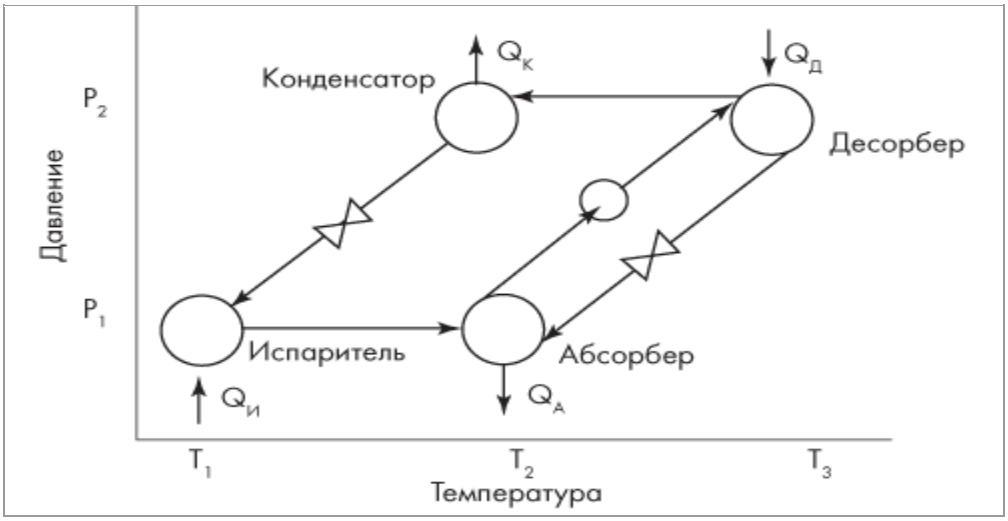


Рисунок 5. Холодильный цикл одноступенчатой абсорбционной холодильной машины

Изменение концентрации хлад-агента в абсорбере и десорбере сопровождается изменением температуры насыщения. Для снижения потерь энергии при циркуляции абсорбента между аб-сорбером и десорбером устанавливается рекуперативный теплообменник.

Идеальная одноступенчатая АБХМ могла бы обеспечить холодильный эффект, равный количеству тепловой энергии, подведенной к генератору, однако из-за термодинамических потерь в реальных установках холодильный эффект всегда будет ниже, чем затраты тепловой энергии.

Анализ сравнения результатов представлен в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение вариантов повышения коэффициента использования

Характеристики	ОЦР	Цикл калины	Адсорбционные машины
КПД, %	19	21	65
Вырабатываема мощность (холод), МВт	55,48	61,32	(124,8)
Кап вложения, тыс. руб	2500000	3000000	1400000
Выгода за счет уменьшения себестоимости, тыс. руб./год	160 000	160 000	160 000
Выгода за счет продажи дополнительной мощности, тыс. руб/ год	288 353	362513	675 895
Срок окупаемости, лет	5,6	5,75	2,1

УДК 620.91

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОБМЕНА И ГОРЕНИЯ ПЫЛЕУГОЛЬНОГОТОПЛИВА В ТОПОЧНОЙ КАМЕРЕ С ВИХРОВОЙ ГОРЕЛКОЙНА ОСНОВЕ RANS ПОДХОДА

Кузнецов В.А.
научный руководитель канд. тех. наукЧернецкий М.Ю.
Сибирский федеральный университет

Согласно «Энергетической стратегии России на период до 2030 года», утвержденной распоряжением Правительства РФ № 1234-р от 28.08.2003 г., твердое органическое топливо будет являться основным источником для производства энергии (на крупных энергоблоках) на длительную перспективу, поэтому проблема повышения эффективности его использования и экономного расходования является актуальной. Рост угольной энергетики будет покрываться в основном за счет ввода энергоблоков с традиционным факельным сжиганием угля.

Проведение опытных сжиганий не может выявить в полной мере существующие зависимости процесса горения от качества топлива и физико-химических закономерностей процессов горения пылеугольных частиц. Вследствие этого, большую роль в разработке и совершенствовании технологий сжигания угольного топлива отводится численному моделированию.

Математическое моделирование топочных устройств является на сегодняшний день одним из важнейших способов получения наиболее представительной информации об аэродинамике, локальном и суммарном теплообмене. Несмотря на большие успехи, достигнутые в развитии численного эксперимента, большое разнообразие, до конца не изученная структура угля и сложные химические процессы, происходящие при горении угольного топлива, не позволяют создать универсальных моделей. Поэтому остается актуальной задача поиска математических моделей с использованием существующих экспериментальных данных по углям и создания на их основе комплексной модели для расчета топочной камеры, что позволит более точно описать процессы горения пылеугольного топлива в топочно-горелочных устройствах.

Математическое моделирование горения пылеугольного топлива в топочной камере с вихревой горелкой проводилось с использованием CFD-пакета FLUENT вер. 14 [2]. Был выбран объект расчетного исследования – топочная камера с вихревой горелкой [1]. Форма и размеры топочной камеры показаны на рисунке 1.Исходя из проведенных исследований на сеточную сходимость,размер расчетной сетки был выбран 1 млн. ячеек. На рисунке 2 показана расчётная область задачи. Состав угольного топлива представлен в таблице 1.

С учетом наличия закрутки потока, одной из задач расчетного исследования была оценка влияния моделей турбулентности на процессы тепломассообмена и горения в топочной камере. Для расчетов была выбрана математическая модель, которая включала в себя: описание движение несущей фазы на основе *RANS* подхода с двухпараметрическими моделями турбулентности k-ε иk-$wsst$и модели рейнольдсовых напряжений, перенос излучения на основе P1 метода, движение частиц на основе подхода Лагранжа, горение в газовой фазе на основе гибридной модели, горение угольной частицы включало в себя выход остаточной влаги, выходлетучих и горение коксового остатка.

В качестве граничных условий во входном внутреннем кольцевом сечении задавался расход угля 0,0731 кг/с и поток воздуха с аксиальной скоростью 23,02 м/с. Во

внешнем кольцевом сечении задавался воздух с параметрами: аксиальная скорость 43,83 м/с, тангенциальная скорость 49,42 м/с.

Таблица 1. Состав топлива

Технический состав топлива (масса %, сухой)	
Летучие	37.4
Твёрдый углерод	54.3
Зола	8.3
Химический состав (масса %, рабочая)	
Углерод	80.36
Водород	5.08
Азот	1.45
Сера	0.94
Кислород	12.17
Низшая теплота сгорания (МДж/кг)	32.32

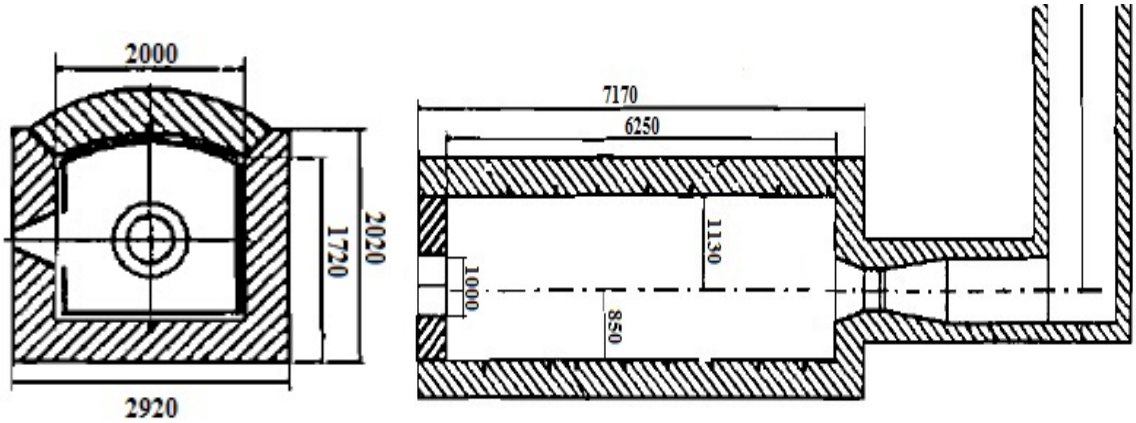


Рисунок 1. Топочная камера

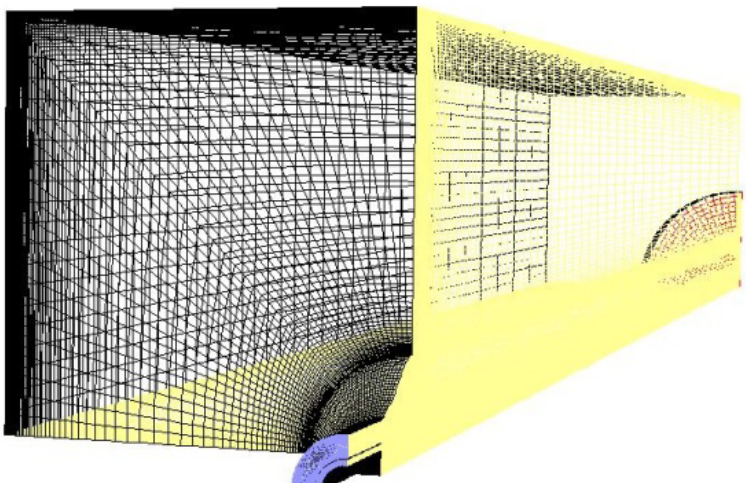


Рисунок 2. Геометрии задачи (четверть)

Ниже представлены результаты расчётных исследований горения пылеугольного топлива. На рисунке 3 показано поле температуры. Можно видеть, что закрутка потока обеспечивает возвратное движение горячих газов и стабильное воспламенение

угольной пыли. Максимальные температуры в области возвратного течения достигают 2000 К.

Результаты влияния разных моделей турбулентности на распределение температур по сечениям топочной камеры показаны рисунках 4. Видно, что результаты расчётов с тремя разными моделями турбулентности относительнохорошо согласуются между собой и с экспериментальными данными.При этом сравнение по пульсациям скорости показали, что наилучшее согласование с экспериментом наблюдается при использовании модели рейнольдсовых напряжений.

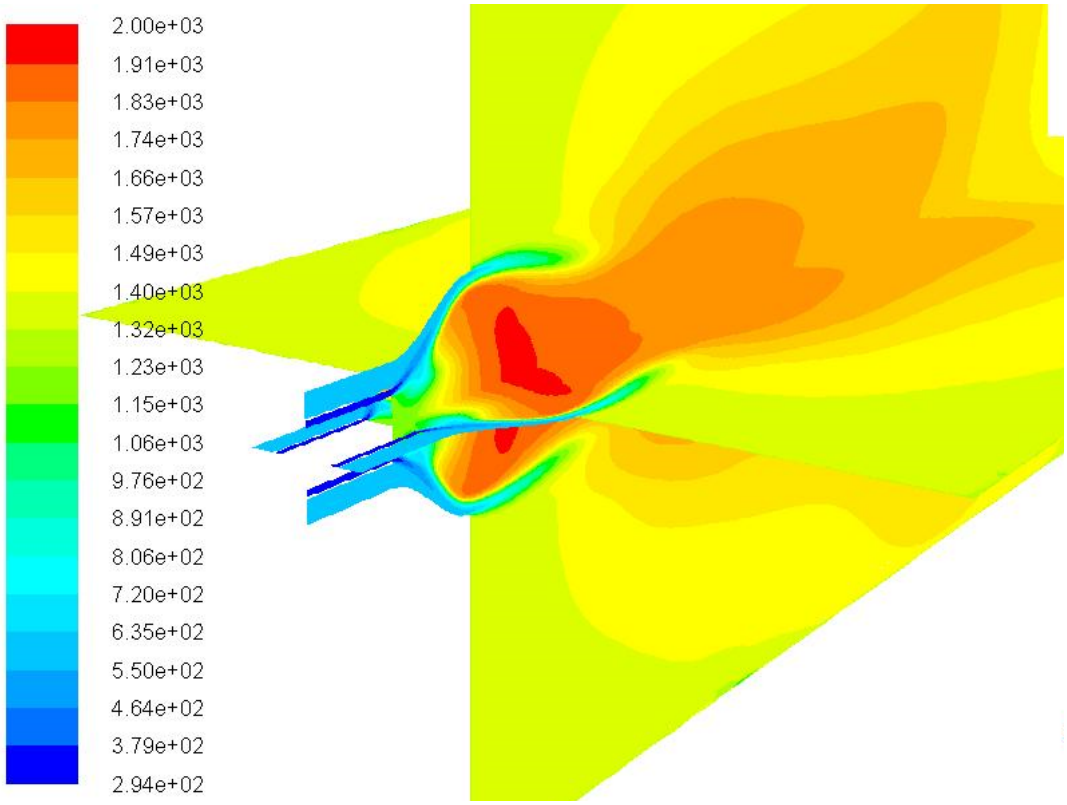
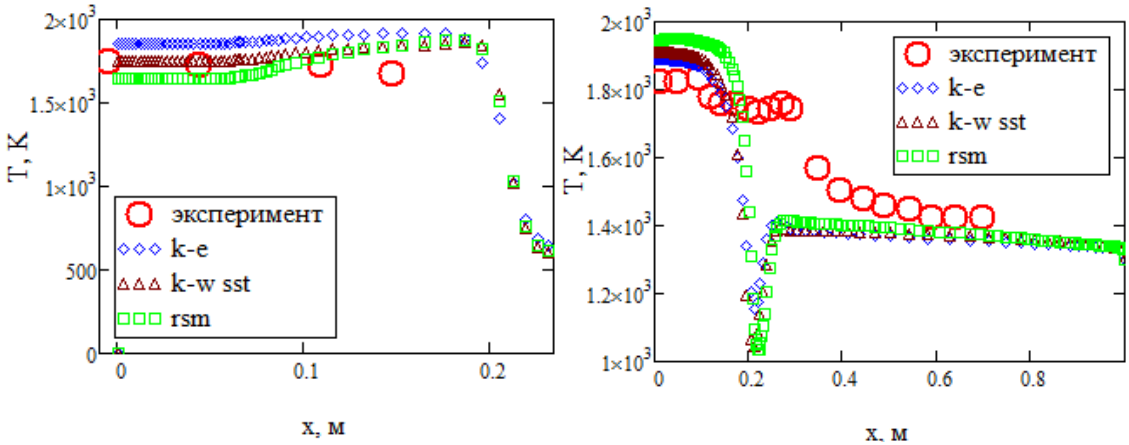
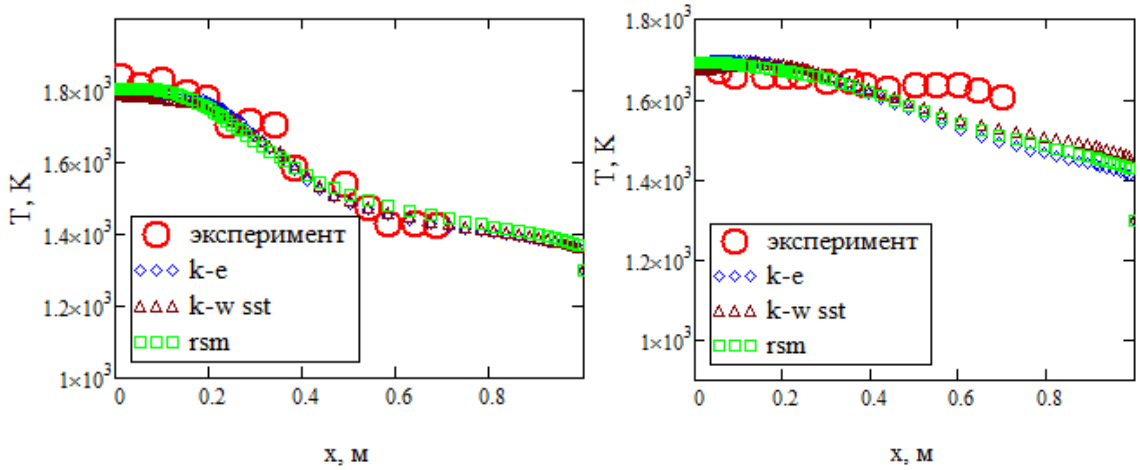


Рисунок 3. Поле температуры, К



а) *б)*



в) *г)*

Рисунок 4. Профиль температуры в сечениях топочной камеры (а – z=0, б – z=0.25, в – z=0.85, г - z=1.95)

Результаты расчетов и сравнение с экспериментальными данными показали, что выбранная математическая модель на основе RANS подхода и численные методы ее решения позволяют правильно описать процессы тепломассобмена и горения пылеугольного топлива в топочной камере с вихревой горелкой с точностью достаточной для инженерных задач.

Список литературы

1 André A. F. Peters & Roman Weber (1997): Mathematical Modeling of a 2.4 MW Swirling Pulverized Coal Flame, Combustion Science and Technology, 122:1-6, 131-182.

2. Митрофанов, И.К. FLUENT и GAMBIT - Программы для решения задач механики жидкости и газа, тепло и массопереноса / И.К. Митрофанов.2009 –Режим доступа http://www.teplota.org.ua/2009-08-25-fluent_gambit_ru.html (Дата обращения 29.01.2012)

УДК 662.612: 662.613: 66.088

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ КОНСТАНТ ПРОЦЕССА ВЫХОДА ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ ПО ТЕМПЕРАТУРЕ САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ

[1]Магдеева О.Л., [2]Будаков Е.Б.
научный руководитель к.т.н.Чернецкий М. Ю.
[1]Сибирский Федеральный Университет
[2]Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН

Необходимость более широкого использования угольного топлива в энергетическомбалансе страны с целью диверсификации потребления органического топлива остается актуальной. Остальных топливных ресурсов хватит на значительно меньший срок, а их стоимость гораздо выше. Угольное топливо в мировой энергетике используется значительно интенсивнее и эффективней, чем в России, и причина тому – отсутствие применения энергоэффективных технологий сжигания углей.

Разработка научных основ технологий переработки топлив включает в себя как проведение экспериментальных работ, так и разработку математических моделей данных процессов. Одним из ключевых моментов определяющих корректность моделирования является база данных по реакционным свойствам угольного топлива в процессе газификации и горения. Весьма сложный характер горения угольного вещества предъявляет к соответствующему эксперименту ряд специфических требований, которые должны обеспечить выявление кинетических свойств в виде объективных характеристик топлива, характерных для условий подготовки и сжигания угольного топлива.

Одним из способов повышения скорости горения, газификации твердого топлива является увеличение реакционной поверхности угольных частиц при измельчении. Для измельчения угля могут использоваться разные типы измельчителей – мельничных устройств, которые отличаются как по затратам энергии на помол топлива, так и по способу воздействия на твердое вещество: раздавливание, истирание, стесненный удар, свободный удар. При этом в угольной энергетике не принимается во внимание, что способ измельчения угля, при одних и тех же получаемых размерах частиц, влияет на реакционную способность измельченного материала.

В частности, при измельчении угля на двух типах мельниц, виброцентробежной мельнице и мельнице-дезинтеграторе до одинакового фракционного состава, визуальные наблюдения факела в топочной камере показали значительно более быстрое воспламенение и выгорание топлива после его измельчения в дезинтеграторе. Основным отличием рассматриваемых двух мельниц является способ воздействия на угольное вещество. В виброцентробежной мельнице корпус заполнен стальными шарами, куда также помещается измельчаемый материал. При вращении неуравновешенного вала, корпус мельницы приводится в круговое колебательное движение, стенки корпуса сообщают мелющим телам частые импульсы, вследствие чего материал и шары в мельнице совершают сложное движение. Происходит истирание и стесненный удар угля. Дезинтегратор состоит из двух входящих друг в друга барабанов, на каждом из которых по концентрическим окружностям укреплены пальцы. Барабаны вращаются в противоположных направлениях. Подлежащий измельчению материал поступает в центральную часть одного из барабанов и попадает между движущимися навстречу друг другу пальцами. Продвигаясь от центра к периферии барабанов, частицы многократно ударяются о пальцы и разрушаются. Способ воздействия на уголь - свободный удар.

Выбор экспериментальной методики для оценки влияния способа измельчения на реакционные характеристики угля должен определяться в первую очередь возможной потерей свойств «механоактивации» угля с течением времени, а также учитывать реальные условия в топочно-горелочных устройствах.

В данной работе представлены результаты количественной оценки влияния типа измельчения на реакционные свойства угольной пыли в виде эффективных кинетических констант процесса воспламенения, которые для углей богатых летучими веществами характеризуют скорость выхода летучих веществ, на примере вибромельницы и дезинтегратора. Для изучения воспламенения угольной пыли был выбран метод, основу которого составляет вертикальная труба с нагревателем (обмоткой), в результате чего по всей длине трубы устанавливается постоянная температура (рисунок 1).Данный способ позволяет оценить реакционную способность угольной пыли в условиях характерных для пылеугольного сжигания в топке котла. Было рассмотрено два типа угля, Кузнецкий длиннопламенный и Бурый. Кинетические константы рассчитывались по условиям воспламенения угольной пыли. В основу расчета положено условие существования критической температуры воспламенения, при которой тепловыделение и тепловые потери с поверхности угольной частицы равны, и кроме того, равны их производные по температуре.Аналитическое решение задачи о самовоспламенении в потоке с учетом реагирования комплекса частиц основывается на предположении адиабатических условий в камере. В основу расчета кинетических констант было принято уравнение Аррениуса.

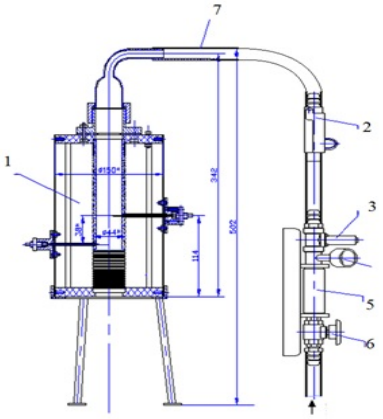


Рисунок 1. Экспериментальный стенд по воспламенению угольнойпылевзвеси
1 - печь, 2 – держатель пыли, 3 – электромагнитный клапан, 4 – манометр, 5 – газовый баллон, 6 – шаровой клапан, 7 – шланг

На основе экспериментальных данных по воспламенению угольной пыли были рассчитаны эффективные величины предэкспоненциального множителя (K_0)и энергии активации (E), характеризующие, для данных углей богатых летучими веществами, воспламенение и горение летучих веществ (таблица 1). Полученные значения коррелируют с имеющимися в литературе данными. Результаты свидетельствуют о влиянии способа измельчения на реакционные характеристики угольной пыли выраженных в виде эффективных кинетических констант. Наблюдается снижение энергии активации после измельчения на дезинтеграторе по сравнению с виброцентробежной мельницей.

Таблица 1. Кинетические константы для пыли Кузнецкого угля

	Кузнецкий уголь		Бурый уголь	
	ВЦМ	Дезинтегратор	ВЦМ	Дезинтегратор
tgα	4750	4500	5010	4520
$Lg(M_B)_0$	5,1	5,45	4,25	4,575
E, Дж/моль	122585	116133	129295	116649
K_0, м/с	$2,98*10^5$	$1,13*10^5$	$2,47*10^6$	$2,34*10^6$

Список используемой литературы

1. Хитрин Л. Н., Котова Л. Л. Константы горения кокса подмосковного угля. ЧФЖ. 1963. Т. VI. № 3. С. 7-12.

2. Оренбах *М.* С. Соотношение между внешним и внутренним горением при температурах до 1000°С. Горение твердого топлива // Материалы III Всесоюзноконференциии. Новосибирск: Наука. 1969. С. 249- 259.

3. EwaMarek, Bartosz _Swiątkowski Experimental studies of single particle combustion in air and different oxy-fuel atmospheres. Applied Thermal Engineering 66 (2014) 35-42

УДК 674.81

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ КОТЕЛЬНОЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Молоков
С. Е.
научный руководитель канд. физ-мат. наук Истягина Е. Б.
Сибирский федеральный университет

Для экономии энергетических ресурсов необходимо использовать альтернативные источники энергии.Пеллетное топливо является одним из путей создания экологичногопроизводства. Сырьём для пеллет служат: опилки, стружка, горбыль, некачественная древесина, кора (лесопилки просто выбрасывают сырье), а также отходы сельского хозяйства (солома, костра льна и торф). Пеллетыэкологически чистый материал, так как, в отличии от угольного топлива, выдают в атмосферу ровно столько CO2, сколько впитало дерево во время роста. Зола, образующаяся при сжигании пеллетных гранул составляет, как правило, до 1% по массе, причем ее можно использовать как удобрение.

Всего в мире по статистике Faostat в 2013 году произведено около 21629 тыс. тонн топливных гранул, рост за год составил 9%. Интересно отметить, что производство древесных топливных гранул (пеллет) увеличилось более чем в 10 раз за последнее десятилетие, главным образом, благодаря увеличению спроса в секторе биотоплива в Европе. Так, например, по итогам 2002 году мировое производство древесных топливных гранул составило всего 2 миллиона тонн против 21,7 млн. тонн в 2013 году.

Выгодно использовать пеллеты в западной части России, котораяудалена от угольных разрезов.

Низшая теплота сгорания составляетQн=20 МДж/кг, что сопоставимо с низшей теплотой сгорания бурого угля 26-32 МДж/кг, каменного угля 32–37 МДж/кг и антрацита 34–36 МДж/кг. Поэтому пеллеты могут конкурировать с этими видами топлива.Преимуществапеллет перед другими видами топлива следующие:

-перед газом: высокая пожаро- и взрывоопасность газа, тяжелая и дорогая процедура согласования, подключения и получения лимитов;

-перед электричеством: высокая стоимость электроэнергии, практическая невозможность подключения нужной мощности;

-перед углем: сжигание угля нельзя автоматизировать, в дымовых газах очень большое содержание серы (до 100 раз больше) и оксидов азота, необходимость утилизировать шлак, достигающих 40% от массы угля, низкий КПД котлов;

-перед дровами: невозможность автоматизировать сжигание дров, нужно много площади для хранения, низкий КПД котлов;

-перед мазутом: высокая стоимость, практическая невозможность применения в малых котлах, необходимость разжижения в холодное время года, до 100 раз больше содержание серы в дымовых газах.

В последнее время расширяется выпуск оборудования, использующий пеллетное топливо. ThermiaVärme AB (Швеция), HeizomatGmbH (Германия), NoltingHolzfeuerungstechnikGmbH (Германия), ZOTA "Pellet"(Германия), AO Komforts (Латвия), MegaKone (Финляндия), D'Alessandro (Италия), Grandeg (Латвия), СТАРТ(Россия).

$$Q = 20000\text{м}^2 \cdot 70\text{Вт} \cdot \text{м}^2 \cdot 24\text{час} \cdot 152 \cdot 0.7 = 23520000\text{кВт} \cdot \text{час}$$

где

0,7 – коэффициент работыкотла,

152 – количество дней в отопительном сезоне.

Табл.1. Теплота сгорания некоторых видов топлива.

Топливо	Теплота сгорания, кВт/кг
Древесные пеллеты	4,963
Древесные брикеты	4,722
Дрова (береза)	2,833 (1278кВт/м3)
Дизельное топливо	11,803(10,15кВт/л)
Каменный уголь	6,133
Природный газ	8,000 кВт/м3

Табл.2. Потребление топлива за отопительный сезон.

Топливо	Количество топлива
Древесные пеллеты	4739 т
Древесные брикеты	4980 т
Дрова (береза)	18403.7м3
Дизельное топливо	2317241 л
Каменный уголь ССПК (50-300)	3834.9 т
Природный газ	16934 м3

Табл.3. Цена топлива и стоимость отопления

Топливо	Стоимость отопления, млн.руб
Древесные пеллеты хорошего качества	18.9
Древесные брикеты	19.9
Дрова (береза)	22.0
Дизельное топливо	60.2
Каменный уголь	11.6
Природный газ	46.2

Из приведенных расчетов видно, чтодля данного региона самым дешевым топливом является каменный уголь. Однако при его использовании в отопительный период очень высоки трудозатраты, так как постоянно приходиться подбрасывать топливо, а также заниматься чисткой помещения и оборудования от копоти и гари. На втором месте располагаютсяпеллеты, дешевле газа и экологичнее угля, поэтому их использование целесообразно.

Одним из преимуществ этого топлива является то, что при его сжигании можно использовать и твердотопливные котлы, которыми оборудованы отопительные котельные, что существенно сокращает затраты на переоборудование и перевод на новое топливо.

Проведем сравнительный анализ преимуществ пеллетного топлива по сравнению с твердымпри использовании его в отопительных котельных.

В качестве основного оборудования котельной возьмем котел - КВ-ТС-10 тепло производительностью 11,63МВт, предназначенный для получения горячей воды, расходуемой, главным образом на теплофикационные нужды.

Котел КВ-ТС (котел твердотопливный водогрейный слоевой) предназначен для сжигания твердого топлива в слое за исключением высокозольных, высоко влажных бурых углей с теплотой сгорания Qн< 12722 КДж/кг, а также сланцев, торфа и других видов твердого топлива с содержанием серы Sкр> $0{,}2 \cdot 10^{-3}$кг/ккал.Данный котел может быть использован для сжигания пеллет. Для этих целей необходимо, не меняя конструкции котла в целом, реконструировать часть вспомогательного оборудования:

-вместо расходного склада угля, применить специализированное хранилище пеллет-силлос:

-заменить дутьевой вентилятор, вентилятор острого дутья и дымосос;

-заменить батарейный циклон;

-использовать эстакаду для загрузки пеллет в силосы.

Предварительный анализ позволяет сделать вывод о небольших материальных затратах предполагаемых мероприятий.

С другой стороны, использование пеллет приведет к уменьшению выбросов вредных веществ в атмосферу, позволит избавиться от большого количества твердых отходов, снизить себестоимость единицы тепла за счет использования золы в качестве удобрения. Использование возобновляемых источников энергии снижает зависимость от традиционных видов энергии, что впоследствии позволит существенно снизить их потребление.

УДК 536.461

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПЛОТНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА В ПЛАМЕНИ КОАКСИАЛЬНОЙ ГОРЕЛКИ

Мосеева Э.А., Бобров А.С.
научный руководитель док. тех. наук, профессор Шемпелев А.Г.,
Вятский государственный университет

Разработка высокоэффективных технологий получения энергии органических топлив в процессе их сжигания в различных энергетических установках актуальная проблема энергетики. Одним из направлений является увеличение экономической и экологической эффективности за счет более полного сжигания топлив в электрическом поле. В процессе горения за счет химических реакций протекающих в объеме пламени появляются заряженные частицы, локализация которых в области горения обуславливает возникновение собственного электрического поля пламени. Относительно фронта пламени данные области располагаются вполне определенным образом. Распределение областей электрических зарядов зависит от формы пламени. Форма фронта диффузионного пламени определяется коэффициентом избытка окислителя – α_o, который находится как отношение действительного количества окислителя к теоретически необходимому для полного сжигания поступающего топлива.

Электрическое поле диффузионного пламени пропана и воздуха исследуется на газовой горелке, которая представляет собой две кварцевые трубы расположенные соосно. Радиусы струй: внутренняя (горючее) – 4 мм, внешняя (окислитель) – 10 мм. Варьируя скорость подачи горючего и окислителя можно управлять геометрией пламени. Пламя образуется на срезе внутренней трубы горелки, срез которой находится на 200 мм ниже среза внешней горелки. По внутренней трубке пропускается горючее, так как прохождение горючего по внешнему цилиндру приводит к сильному осаждению сажи на наружной трубке, что мешает эксперименту.

Область внутри горелки условно разбивается сеткой с шагом по вертикали 1 мм, по горизонтали 0,5 мм и вольтметром измеряется потенциал точек относительно заземленной горелки. Для исследования выбирается вертикальная полуплоскость пламени, проходящая через центр горелки. Потенциал точек пламени снимается нихромовым зондом диаметром 0,4 мм покрытым кварцевым капилляром с длиной оголенной части 0,4 мм.

На основе данных о распределении потенциалов в области горения предложена методика расчета концентрации заряженных частиц, произведен расчет, полученные данные визуализированы.

Для того, чтобы получить формулу расчета концентрации заряженных частиц в пламени, воспользуемся соотношениями электродинамики:

Соотношение (1) выражает связь между вектором напряженности и плотностью заряда в некоторой ограниченной области.

$$div\vec{E} = \frac{1}{\varepsilon_0}\rho, (1)$$

Является дифференциальной формой записи Теоремы Гаусса, устанавливающей связь между потоком вектора напряженности эклектического поля через замкнутую поверхность и алгебраической суммой заключенных внутри этой поверхности зарядов, деленной на ε_0 - абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума 8,854 10^{-12} Ф/м.

Соотношение (2) выражает связь между силовой и энергетической характеристикой поля:

$\vec{E} = -grad\varphi$.(2)

Подставив выражение для вектора напряженности, соотношение (2) в соотношение (1), получим соотношение (3)

$$div\vec{E} = -div(grad\varphi) = -\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} \quad ,(3)$$

и заменив по формуле (1), мы получим соотношение (4):

$$\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} = -\frac{1}{\varepsilon_0}\rho \,. \ (4)$$

Таким образом, получили связь между потенциалом в точке и объемной плотностью заряда, в бесконечно малом объеме, заключенном в близи этой точки.

Так как мы имеем дело с коаксиальной горелкой, то удобнее перейти к цилиндрическим координатам.

Лапласиан в цилиндрических координатах имеет вид:

$$\Delta f(l,\theta,z) = \frac{1}{l}\frac{\partial}{\partial l}\left(l\frac{\partial f}{\partial l}\right) + \frac{1}{l^2}\frac{\partial^2 f}{\partial\theta^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} .(5)$$

Изначально задача двумерная, следовательно, вторая производная по координате θ, обращается в нуль.

В результате получаем расчетную формулу (6).

$$\rho(l,z) = -\varepsilon_0 \cdot \left(\frac{1}{l}\frac{\partial}{\partial l}\left(l\frac{\partial\varphi}{\partial l}\right) + \frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2}\right) .(6)$$

Тогда, для того, чтобы найти объемную плотность заряда, необходимо взять вторую производную от функции распределения потенциалов. Для нахождения концентрации полученный результат разделить на элементарный заряд.

Расчет численного значения дивергенции от значений потенциалов в точках пламени произведен с помощью численных методов. Распределение областей локализации электрических зарядов представлено на рис. 1.

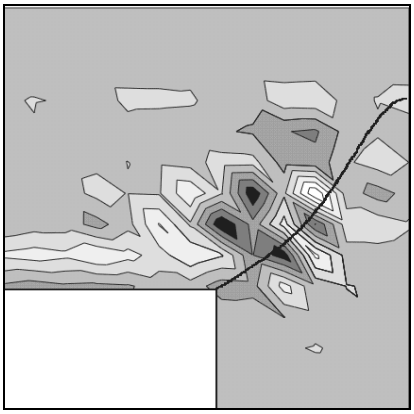


Рис. 1. Распределение областей локализации электрических зарядов

Светлый квадратик в углу означает срез внутренней трубы горелки, кривая схематично указывает расположение фронта пламени при α_o=0,4, перенесенного с цифровой фотографии. Более светлые – это области положительного потенциала. Более темные – области отрицательного потенциала. По порядку величины концентрация совпадает с литературными данными и находится в интервале $10^{15} \div 10^{18}$ м$^{-3}$. Погрешность полученных результатов составляет 30%.

УДК 662.933.12

ГИДРОТРАНСПОРТНЫЕ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

Немченко Д.Н.
научный руководитель д-р техн. наук Баранова М.П.
Политехнический институт СФУ

В настоящее время в России, в странах СНГ и дальнего зарубежья возрос интерес к использованию в малой и средней энергетике угля и нетрадиционных топлив. В ближайшей перспективе прогнозируется повышение роли угля в топливно-энергетическом балансе страны, что связано с его крупными запасами. Однако экологические ограничения требуют разработки и внедрения новых угольных технологий, обеспечивающих высокую полноту использования топлива в энергетических системах и комплексах с целью повышения их экономичности, надежности, безопасности и снижения вредного воздействия на окружающую среду. Решение указанных проблем может быть достигнуто при создании конкурентоспособных технологий переработки угля и утилизации отходов в виде суспензионных угольных топлив. Использование водоугольных суспензий (ВУС) позволяет решить ряд вопросов, связанных с транспортировкой угля в ряде случаев более экономичным видом транспорта - трубопроводным. При этом исключаются потери, связанные с ухудшением качества топлива: процессами окисления, выветривания, пыления, смерзания и т.п., это - важный элемент энергосбережения и ресурсосбережения при транспортировке энергоносителей, решении проблем развития энергетики городов и регионов, энергетических систем и комплексов [1].

Топливно-энергетический комплекс (ТЭК) – сложная межотраслевая система добычи и производства топлива и энергии (электроэнергии и тепла), их транспортировки, распределения и использования.

От развития ТЭК во многом зависит динамика, масштабы и технико-экономические показатели общественного производства, в первую очередь – промышленности. Вместе с тем приближение к источникам топлива и энергии – одно из основных требований территориальной организации промышленности. Массовые и эффективные топливно-энергетические ресурсы служат основой формирования многих территориально-производственных комплексов, в том числе промышленных, определяя их специализацию на энергоёмких производствах. С точки зрения народного хозяйства, чаще всего размещение ресурсов по территории стран неблагоприятно. Главные потребители энергии находятся в одной части, а геологические запасы топливных ресурсов сосредоточены в других районах, что обусловливает дальность перевозок и, в связи с этим, увеличение себестоимости продукции [2].

Целью работы являлся анализ работы гидротранспортного топливно – энергетического комплекса на основе приготовления, транспортирования и прямого сжигания угля в виде ВУС.

Водоугольные суспензии характеризуются следующими основными параметрами и технологическими свойствами: гранулометрическим составом, в том числе максимальной крупностью угольных частиц в суспензии, массовой долей твердой фазы, зольностью угля в суспензии, реологическими характеристиками, наличием или отсутствием реагентов-пластификаторов, способностью сохранять свои свойства при хранении и транспортировке. Наиболее успешное сжигание происходит при следующих параметрах: зольность - до 5%, сера - до 1 %, крупность твердой

фракции до 74 мкм - не менее 75%, крупнее 300 мкм - не более 1%, содержание твердого по массе - 65-75% [3].

Все показатели ВУС могут быть обеспечены на стадии приготовлении в зависимости от заявки потребителя, что несомненно является достоинством данного вида топлива.

Каждый вид транспорта твердого топлива обладает характерными, только ему присущими особенностями. Для определения сфер экономически целесообразного использования того или иного вида транспорта угля необходимо учитывать различные факторы, в том числе специфические свойства транспортируемого угля. При сравнении вариантов перевозок углей различными видами транспорта основными показателями являются:

- технологические свойства углей, в том числе их физико-химические характеристики, включая гранулометрический и зольный состав, газоотдачу, коэффициент размолоспособности, склонность к измельчаемости и др.;
- уровень эксплуатационных расходов (себестоимость перевозок);
- капитальные вложения;
- скорости движения и сроки доставки;
- наличие провозной и пропускной возможностей;
- маневренность в обеспечении перевозок в различных условиях;
- надежность и бесперебойность перевозок, их регулярность;
- условия эффективного использования транспортных средств, механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ.

Величина этих показателей для каждого вида транспорта угля различна. Она во многом зависит от мощности и структуры грузопотока от месторождения до промплощадки потребителя, дальности перевозок и ряда других факторов, в том числе и вышеперечисленных технологических свойств углей.

В эти условиях перспективным может оказаться гидравлический транспорт энергетических углей с последующим сжиганием как с обезвоживанием водоугольных топливных суспензий, так и прямым сжиганием в теплогенерирующих установках без стадии обезвоживания.

Проблема заключается в том, что существует ряд факторов, наиболее существенными из которых являются широкие диапазоны расстояний доставки (от 10 до 2000 км) и производительности транспортной системы (5–50 млн.т /г), различные физико-химические свойства, определяющие транспортабельные характеристики углей, климатические условия районов добычи углей.

Схемы с обезвоживанием и прямым сжиганием сравнивались по целому ряду параметров: гранулометрическое распределение частиц угля в ВУС; реологические показатели; максимальное содержание твердой фазы в ВУС; низшая теплота сгорания водоугольного топлива и т.д. Учитывая полученные результаты, выполнен сравнительный расчет приведенных затрат трубопроводного транспорта ВУС из бурого угля Карачекинского месторождения. Для гидравлического транспорта был выбран трубопровод диаметром каждой из двух ниток (производительностью по 1.5 млн. т угля в год) 250 мм. Длина трубопровода 60 км. Приведенные затраты на гидравлическую транспортировку составили 3232,866 тыс.US$. Аналогичные расчеты для автомобильного транспорта составили 19102,36 тыс.US$. Соответственно трубопроводный транспорт в данных условиях более выгодный.

В ходе работы были исследованы процессы горения в ходе сжигания Каракечинского бурого угля и ВУС на его основе на котле ТП-35, позволившие

получить необходимую информацию по распределению параметров и характеру выгорания пыли и ВУС из Каракечинского угля.

При зондировании факелов на стенде и в топке отсосным термозондом с вольфрам-рениевой термопарой выявлены закономерности изменения усредненных температур в поперечных направлениях и степени выгорания в зоне активного горения (рисунок 1). Здесь показан характер изменения температур и степени выгорания топлива по длине факела. Для сжигания пыли характерен короткий участок $l_ф$ от среза горения до зоны максимальных температур $T_ф$ и высокий уровень самих температур и степени выгорания $\alpha_ф$ = 0,8-0,9. С увеличением влажности топлива наблюдается увеличение длины факела и снижение степени выгорания.

Сжигание ВУС из Каракечинского бурого угля в условиях промышленного котла ТП-35 в целом подтвердило характер изменения температур, выхода и выгорания летучих и коксового остатка, а также общую зависимость процесса от степени влагосодержания и фракционного состава исходного топлива. При этом подтверждена стадийность выгорания частиц угля, входящих в состав капли ВУТ, с первоочередным выделением и выгоранием летучих и коксового остатка мелких фракций, что коррелирует с характером выгорания частиц сухой пыли в полидисперсном факеле.

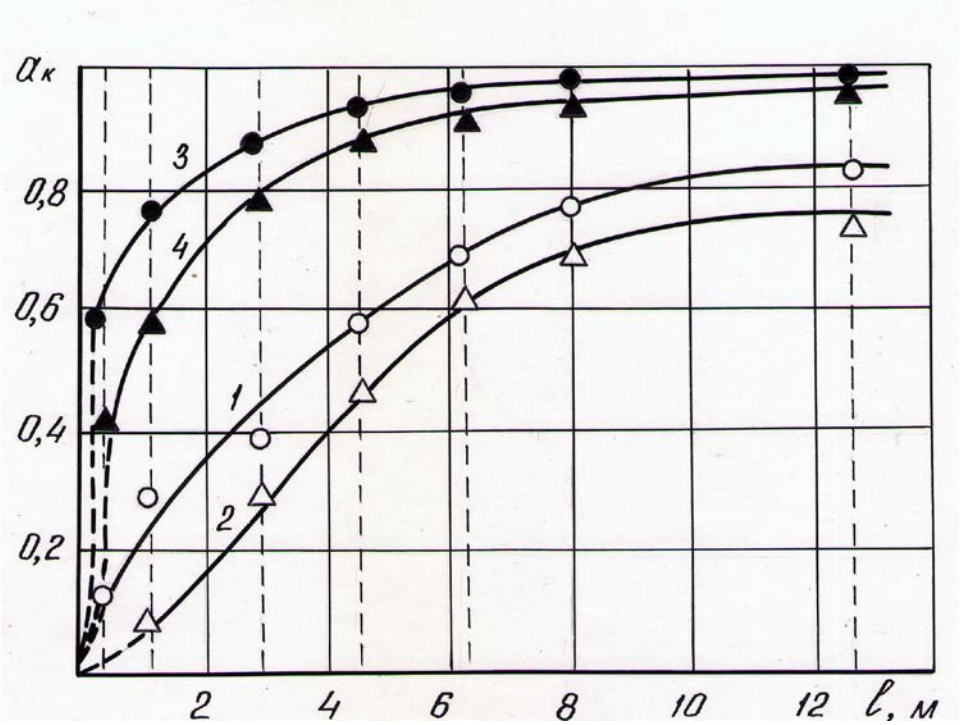


Рисунок 1.Характер выгорания Каракечинского бурого угля по длине факела в топке котла ТП-35 (фракционный состав исходной пыли R_{90} ~12-15%; R_{200} ~2-4%; $Д_{пп}$ = 0,5 $Д_н$)

1- сжигание водоугольного топлива с $W^р$ = 48%; 2 – сжигание водоугольного топлива с $W^р$ = 53%; 3 – сжигание пыли с $W^р$ = 7%; 4 – сжигание пыли с $W^р$ = 18%

Также гидравлический транспорт угля по трубопроводам имеет целый ряд достоинств:

- позволяет достичь технологической однородности процессов угледобычи, транспортирования, обогащения и обезвоживания;
- обеспечивает непрерывность угольного грузопотока высокой производительности без погрузочно-разгрузочных работ;
- создает предпосылки для полностью автоматизированных и дистанционно управляемых систем транспорта с высокими технико-экономическими показателями;
- упрощает систему складирования;
- снижает вредное воздействие на окружающую среду;
- озволяет повторно использовать земельные отводы после окончания строительства.

Таким образом новый вид топлива из угля должен рассматриваться как наиболее перспективный с точки зрения экономики и защиты окружающей среды и способен занять подобающее место на рынке традиционных ископаемых видов топлива.

Список использованных источников

1. Баранова, М. П. Физико-химические основы получения топливных водоугольных суспензий / М. П. Баранова, В.А. Кулагин. – Красноярск. : ИПК СФУ, 2011. – 160 с.

2. Зайденварг, В. Е. Производство и использование водоугольного топлива / В. Е. Зайденварг, К. Н. Трубецкой, В. И. Мурко и др. – М. : Академия горных наук, 2001. – 174 с.

3. Трубецкой, К. Н. Новые направления повышения рентабельности углей для энергетики / К. Н. Трубецкой, В. А. Чантурия, Т. Д. Краснов и др. // Международный конгресс. Горная промышленность России на рубеже XX-XXI веков. – ИГД им. А.А.Скочинского, 1995.

УДК004.42

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ПО РАСЧЕТУ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА

Никульшина Ю.В.
научный руководитель канд. техн. наук Колосов М.В.
Сибирский федеральный университет

Необходимость решения инженерных задач с использованием теплофизических свойств воды и водяного пара очень часто встречается в практических ситуациях. Расчет любого теплотехнического процесса или оборудования для тепловых электростанций и различных отраслей промышленности невозможен без использования данных свойств.

В 1997 году Международной ассоциацией по свойствам воды и водяного пара (InternationalAssociationforthePropertiesofWaterandStream (IAPWS)), членами которой являются все основные промышленные страны, включая Россию, была разработана новая система уравнений для вычисления параметров воды и водяного пара [1]. Данные о теплофизических свойствах воды и водяного пара, вычисляемые по принятым IAPWS уравнениям, являются, по существу, международным промышленным стандартом, который должен применятся во всех видах технических расчетов,последняя версия которых была выпущена в 2007 году.

Развитие компьютерных систем для обеспечения технологических сфер деятельности энергетического производства, в первую очередь поддержки принятия решений, мониторинга состояния оборудования, экспертных и тренажёрных систем, потребовало разработки математических пакетов, в том числе и для вычисления теплофизических свойств рабочих сред (WaterSteamPro, Программа HSдля воды и водяного пара, ENEKcalc и др.).

Все эти программы созданы для ПК, однако часто возникают ситуации, когда появляется потребность пользоваться данными программами не только на ПК, но и на различных типах мобильных устройств, таких как планшеты и телефоны, имеющих собственные операционные системы, установка на которые программ, созданных для ПК невозможна. Для этого было принято решение создать программу с использованием облачных технологий. Преимущество данного решения состоит в том, что данная программа не привязана к какой-либо операционной системе и ею можно пользоваться при помощи любого устройства, имеющего выход в интернет. Другим преимуществом данного решения является сокращение временных затрат на внедрение.

В состав разрабатываемой программы входит библиотека функций для расчета свойств воды и водяного пара, модуль отображения диаграммы и пользовательский интерфейс.

Библиотека функций для расчета свойств воды и водяного пара разработана на языке программирования общего назначения, интенсивно применяемого для разработки веб-приложений – PHP[2]. В области веб-программирования PHP — один из популярных сценарных языков, благодаря своей простоте, скорости выполнения и богатой функциональности.

Для разработки интерфейса программы используется свободный набор инструментов для создания сайтов и веб-приложений TwitterBootstrap[3]. Он включает в себя HTML и CSS шаблоны оформления для типографики, веб-форм, кнопок, меток, блоков навигации и прочих компонентов веб-интерфейсов, включая JavaScript расширения.Bootstrap использует самые современные наработки в области CSS и HTML и был принят в качестве основной структуры программной системы.

После ввода известных данных программа выводит все требуемые параметры рабочего тела, предоставляя возможность выбора размерности искомых величин (рис.1).

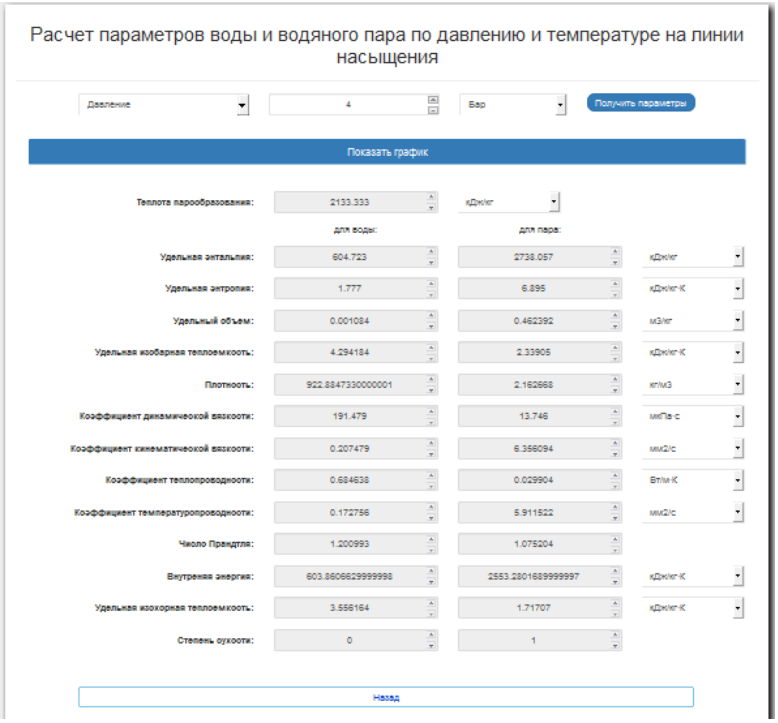


Рисунок 1.

В качестве отображения диаграммы была выбрана библиотека Highcharts [4] – популярная библиотека для создания чартов написанная на JavaScript, позволяющая легко добавлять интерактивные, анимированные графики на сайт или в веб-приложение. Программа демонстрирует положение точек с текущими параметрами на H-Sдиаграмме (рис.2)[5]

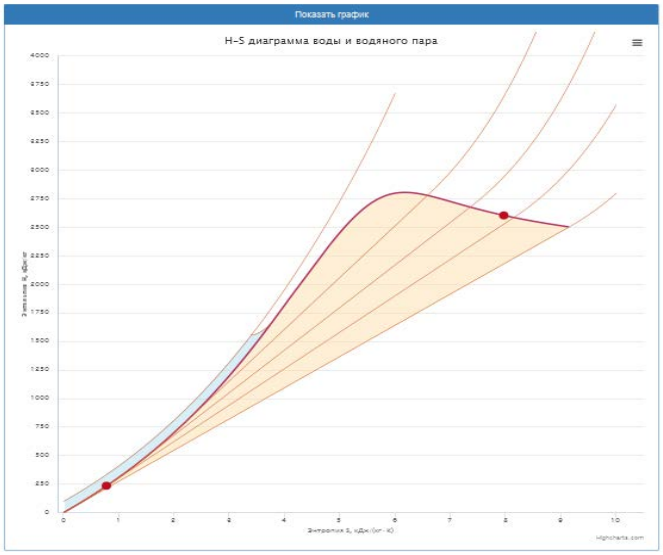


Рисунок 2.

Структурно алгоритм работы разрабатываемой нами программы изображен на рис.3.

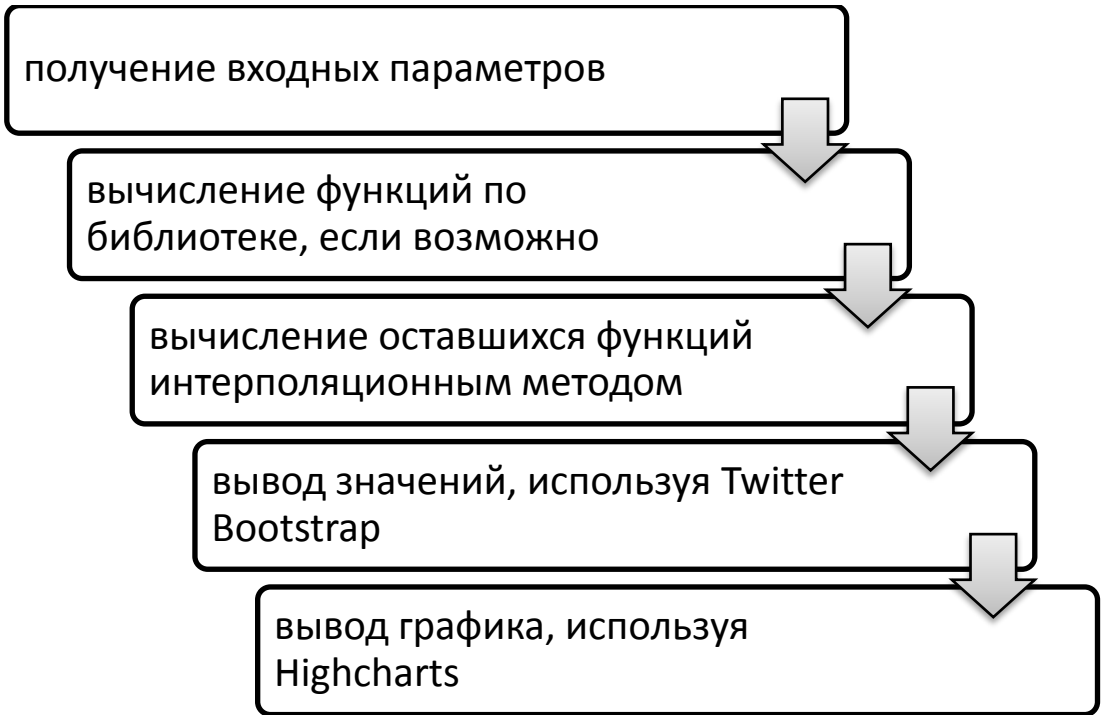


Рисунок 3.

В настоящее время программа производит расчет параметров только на линии насыщения (по давлению, по температуре). Важно отметить, что на линии насыщения параметры ищутся по одной величине, но одновременно для двух состояний: для воды и водяного пара. В дальнейшем планируется,что программа будет производить расчет по двум параметрам: давление, температура, энтальпия, энтропия, удельный объем и степень сухости.

Разработка программы производится таким образом, чтобы она была понятна, проста, доступна и практична в использовании как для специалистов в области теплотехники, так и для студентов, которые только начинают изучать дисциплины, связанные с теплотехническими расчетами.

УДК 536.8

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕКОЙ ДИАГНОСТИКИ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

Полищук А.С.,
научный руководитель канд. техн. наук Янов С.Р.
ФГАОУ ВПО Сибирский федеральный университет

В нынешних экономических условиях, когда большинство предприятий решают вопросы максимального повышения эффективности своего оборудования, особое внимание уделяется техническим решениям, позволяющим экономить топливо, повышать эффективность и долговечность работы оборудования. Одним из перспективных направлений является внедрение современных систем диагностики (рисунок 1).

Одной из причин большого числа поврежденийпо вине шлакованиякотельных агрегатов, работающих на твердом топливе,является отсутствие информации у эксплуатационного персонала об интенсивности шлакования или загрязнения каждой из поверхностей нагрева на текущий момент.

Очистка поверхностей нагрева паровых котлов от золовых отложений является сложной, многофакторной научно-технической задачей, зависящей от большого количества параметров, таких как вид сжигаемого топлива, конструкция и параметры котла. От правильного решения проблем очистки поверхностей нагрева паровых котлов от шлаковых и золовых отложений во многом зависят технико-экономические показатели котла, а также надежность работы энергоблока в целом.

В настоящее время существует несколько методов борьбы с интенсивным шлакованием и загрязнением поверхностей нагрева котла:

1. модернизация топочно-горелочных устройств, ширмовых и конвективных поверхностей нагрева;
2. режимные мероприятия;
3. внедрение системы очистки поверхностей нагрева;
4. комплексная техническая диагностика котельных агрегатов;

В настоящее время рациональным способом повышения надежности и эффективности работы котельного агрегата является оснащение паровых котлов системами технической диагностики основного и вспомогательного оборудования (рисунок 1). Внедрение комплекса технической диагностики позволит определить оптимальный режим работы котельного агрегата с обеспечением высокой надежности и экономичности всех его основных элементов в режиме реального времени.

Анализ опыта эксплуатации различных датчиков и систем диагностики экранов топочных камер, установленных на ТЭС России и зарубежных стран, показал, что в качестве наиболее надежных и представительных элементов системы диагностики могут использоваться, дополняя друг друга, следующие типы устройств:

1. температурные вставки (контроль локального воспринятого теплового потока);
2. оптико-телевизионный контроль топки на базе привода глубоковыдвижныхобдувочных аппаратов или переносных видеозондов (визуальный контроль состояния поверхности экранов и топочного пространства);
3. датчики контроля температуры газов в ядре факела и на выходе из топочной камеры (акустическая пирометрия, автоматические оптические пирометры).

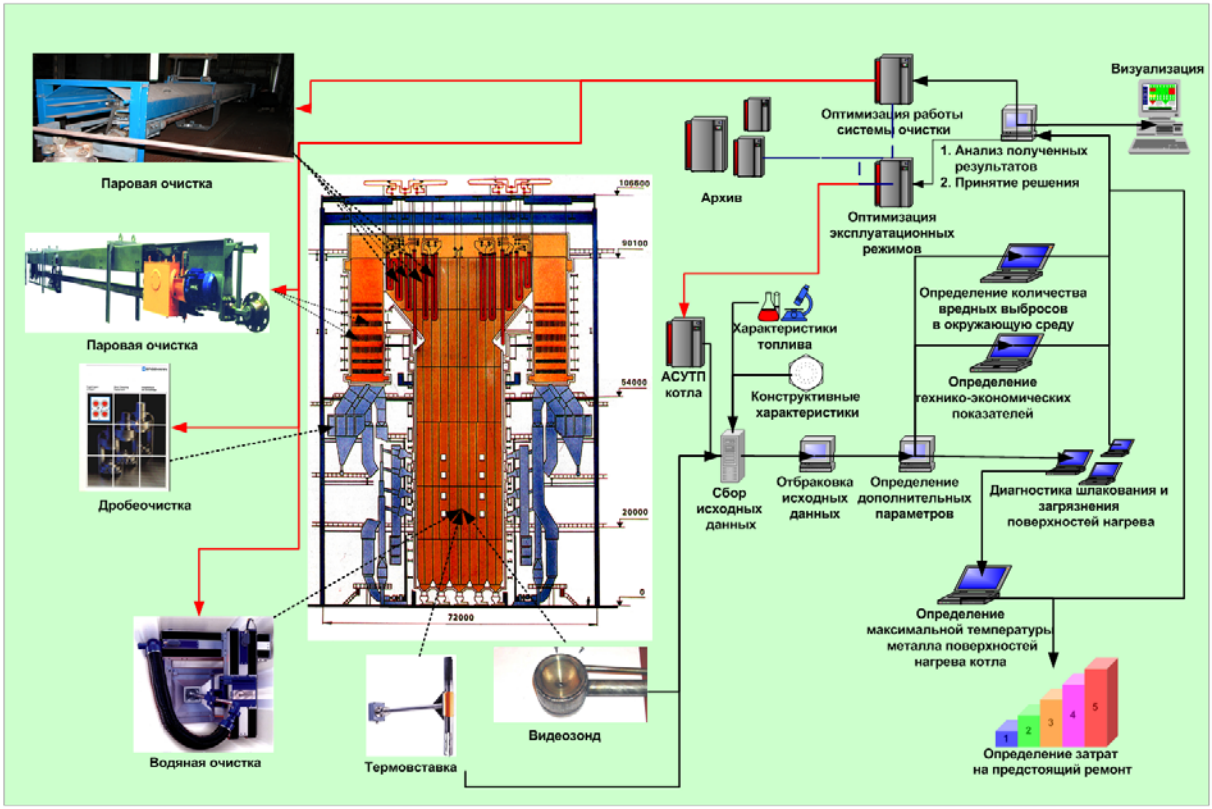


Рисунок 1. Схема комплексной диагностики котельного агрегата

В настоящее время на котлах П-67 Березовской ГРЭС установлены системы «CEOS» и «FACOS» немецкой фирмы «Clyde-BergemannGmbH», которые анализируют уровень загрязнения и состояние шлакования поверхностей нагрева, визуализируют в онлайновом режиме поступающую информацию и при необходимости активируют систему очистки поверхностей нагрева. Тем не менее, как показывает практика эксплуатации, в таких системах не учитывается рад факторов, которые в свою очередь могут повлиять на эффективность их работы и котельного агрегата в целом. При этом высокая стоимость зарубежных систем диагностики приводит к необходимости создания отечественных систем работающих в режиме реального времени, которые бы учитывали конструктивные особенности, как отдельной поверхности нагрева, так и их совокупности, эксплуатационные факторы и особенности работы вспомогательного оборудования.

С 2004 г. на Березовской ГРЭС загрязнение ширмовых и конвективных поверхностей нагрева определяется с помощью программы “Thermalefficiency” (TEF), разработанной совместно кафедрой ТЭС и СибВТИ. В процессе разработки и опытной эксплуатации данной программы были определены необходимые для успешного проведения расчетов требования к количеству и схеме размещения точек штатного контроля.

В основу данной программы положено уравнение теплового баланса между греющей и нагреваемой средой, при известных температурах рабочей среды:

$$Q_{\text{факт}} = \phi(H' - H'') - Q_{\text{доп}} = \frac{D_{\text{пе}}}{B_p}(h'' - h') - Q_{\text{л}} \quad (1)$$

где H', H'' - энтальпии газов до и после поверхности нагрева, кДж/кг;
$D_{\text{пе}}$ – расход рабочей среды, кг/с;

B_p – расчетный расход топлива, кг/с;

h', h'' - энтальпии рабочей среды до и после поверхности нагрева, кДж/кг;

$Q_{доп}$ – тепловосприятие дополнительных (прилегающих) поверхностей;

$Q_л$ – тепловосприятие поверхности нагрева излучением;

ϕ – коэффициент сохранения тепла.

Данный модуль определяет интенсивность шлакования и загрязнения поверхностей нагрева в режиме реального времени. В качестве характеризующей величины работы комплекса выбран коэффициент тепловой эффективности - ψ, как наиболее удобный и представительный показатель.

$$\psi = \frac{К_{факт}}{К} (2)$$

где$К_{факт}$ – фактический коэффициент теплопередачи реальной поверхности нагрева, кВт/(м^2·°С);

К – коэффициент теплопередачи для чистой поверхности (без учета коэффициента загрязнения), кВт/(м^2·°С).

Фактический коэффициент теплопередачи реальной поверхности нагрева определяется по формуле:

$$К_{факт} = \frac{Q_{факт} B_p}{F \Delta t} (3)$$

где F – площадь поверхности теплообмена, м^2;

Δt – среднелогарифмический температурный напор.

Основной задачей модуля является не оценка абсолютной величины коэффициента тепловой эффективности (ψ), а определение динамики изменения данного коэффициента (рисунок 2). В данной системе определяется отклонение ψ от нормированной величины и если Δψ больше допустимого значения (допустимое значения изменения величины ψ зависит от вида очистки и вида сжигаемого топлива), то система подает сигнал на включение аппарата очистки. Однако, перед включением аппаратов очистки, необходимо определить время последней очистки данной поверхности. В случае, если время последней обдувки превышает нормированную величину то, система подает команду на включения аппаратов очистки. Допустимый интервал времени между обдувками определяется из условия не допущения износа металла труб поверхности нагрева вследствие интенсивного воздействия аппаратов очистки.

Внедрение комплекса технической диагностики позволит сократить: число аварийных остановов; уменьшение затрат на ремонтное обслуживание; сокращение расхода на собственные нужды. Определение системой бесшлаковочного режима при любой заданной нагрузке позволяет сжигать твердое топлива как переменного, так и ухудшенного качества с минимальным понижением технико-экономических показателей.

Результатом дальнейшей работы является совершенствование и модернизация алгоритма и программы «TEF», определяющей эффективность теплообмена полурадиационных и конвективных поверхностей нагрева котельного агрегата в режиме реального времени.

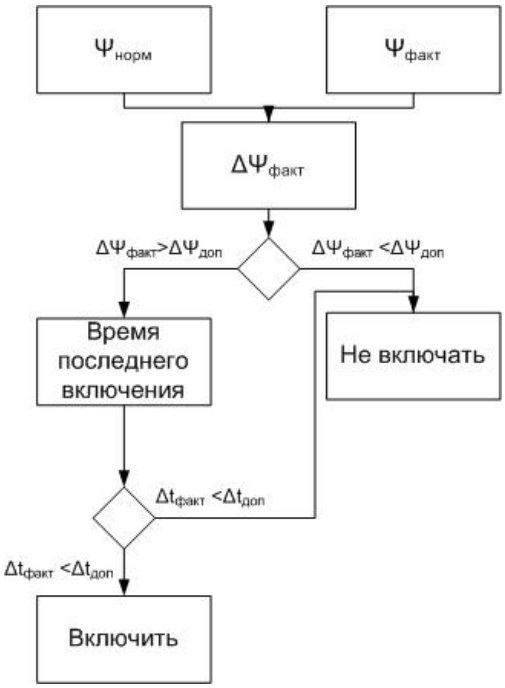


Рисунок 2. Алгоритм оптимизации системы очистки поверхностей нагрева

Список использованных источников

1. Гребеньков, П. Ю. Система диагностики шлакования и загрязнения поверхностей нагрева котельных агрегатов / П. Ю. Гребеньков, М.Н. Назаров, С.Р. Янов// Сб.: Всероссийской конференции по итогам Конкурса молодых специалистов организаций НПК ОАО РАО«ЕЭС России». с. Дивноморское: 2005. – С. 86–100.

2. Белов, С. Ю. Разработка и внедрение системы диагностики загрязнения поверхностей нагрева котла П-67 / С.Ю. Белов, В.В. Васильев, И.С. Белов // Электрические станции, 1998. № 4. С. 7-9.

3. Янов, С. Р. Диагностика загрязнения полурадиоционных и конвективных поверхностей нагрева /С. Р. Янов // Материалы Всероссийской конференции – конкурсного отбора инновационных проектов студентов и аспирантов по приоритетному направлению программы«Энергетика и энергосбережение».г. Томск: 2006. – С. 355–360.

4. Янов, С.Р. Разработка рекомендаций и мероприятий по обеспечению тепловой эффективности поверхностей нагрева пылеугольных паровых котлов: автореф.дис. … канд. техн. наук :05.14.14 / Янов Сергей Романович. – Красноярск, 2010. – 20 с.

УДК 621.793: 69.224.1: 66.041.64

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОЛЬЦЕВОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГРАНУЛИРОВАННОГО ЧУГУНА

С. С. Непомнящий, Е. С. Ходунова
научный руководитель канд. техн. наук Ю. И. Сторожев
Сибирский федеральный университет

На сегодняшний день в черной металлургии имеются различные технологии, обеспечивающие производство металлизованного продукта во вращающихся печах (SL-RN), шахтных печах (Midrex), кольцевых печах с вращающимся подом (ITmk3) [1-3]. Одним из преимуществ металлизации рудно-угольных материалов в кольцевой печи является возможность отделения гранул чугуна от основной массы шлака, что на 5-10% снижает затраты на последующую переработку чугуна.

Одно из требований технологии ITmk3 (Ironmaking Technology mark 3) – использование железорудных концентратов с содержанием общего железа $Fe_{общ}$ более 60% и обеспечение избыточного углерода в брикетах (окатышах) после полного восстановления в пределах 2,5-4,5%. При содержании остаточного углерода менее 1,5% температура плавления железа существенно не снизится из-за недостатка углерода для науглероживания. Температура в печи в этом случае должна быть максимальной, достигающей 1550 ^{o}C. Технологией определены гарантируемые показатели готовой продукции (гранулированный чугун), %: Fe>96; C 2…4.0; Si 0,2; P 0,05; S 0,04…0,10.

Этот процесс заложен в основу технологической установки для металлизации формованных рудно-угольных материалов (рис.1).

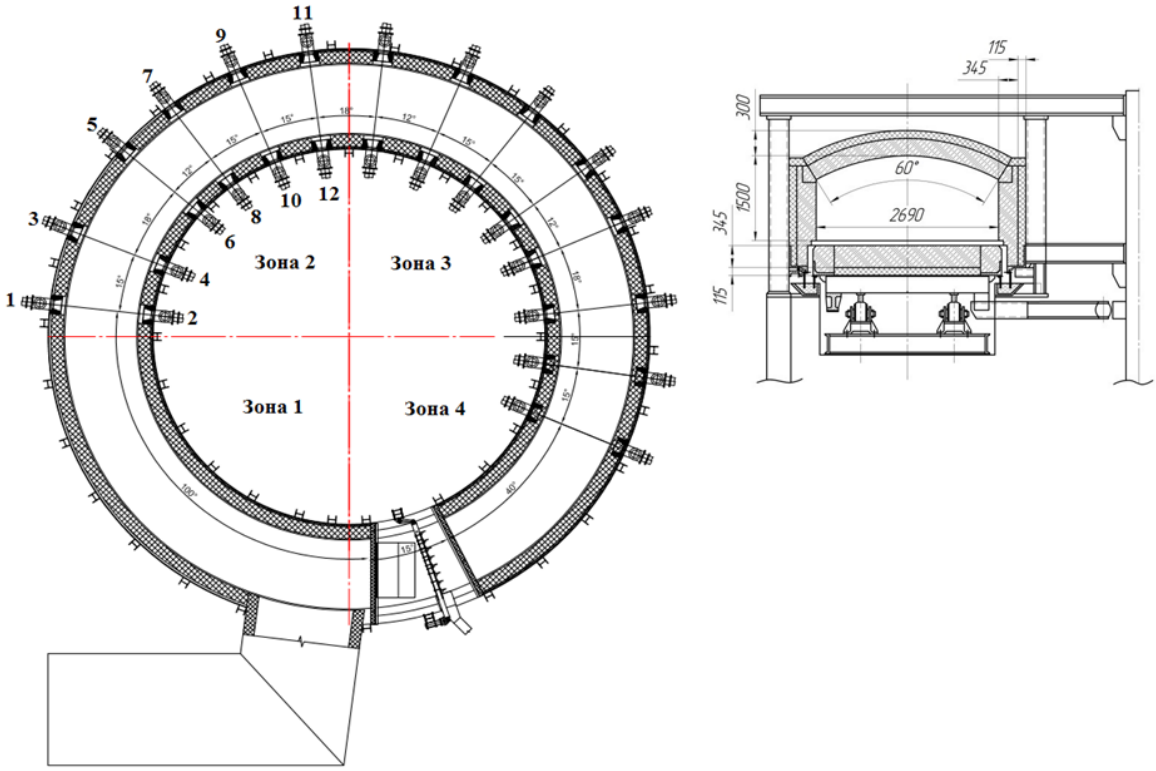


Рис. 1. Кольцевая печь с вращающимся подом

В расчете использованы следующие данные по загружаемым рудно-угольным брикетам овальной формы: масса – 20,6 г, длина – 35,5 мм, ширина – 27,7 мм, высота – 16,2 мм (рис.2).

Рис. 2. Внешний вид рудно-угольных брикетов

Для определения параметров работы кольцевой печи выполнен расчет ее производительности для 1, 2 и 3-х слойной загрузки брикетов (табл.1).

Таблица 1. Производительность и время пребывания материала в печи

Количество слоев	Время, мин/час	Загрузка, кг*	Производительность по необожженным брикетам, кг/час
1	16,62/0,223	52,42	10861
2	35/0,583	104,83	10321
3	61,68/1,028	157,25	8760

*Примечание: загрузка указана на 1-ом погонном метре длины печи.

По заданному температурному режиму нагрева брикетов 250 - 1440 - 1000 ºС рассчитано время пребывания материала в каждой из зон (рис.3). Расчет времени нагрева выполняли при граничных условиях третьего рода при усредненных в зонах температурах газа по методике расчета времени нагрева металла в методической печи [4]. Нагрев осуществляли сжиганием смеси генераторного газа и воздуха при подогреве ее до 400 ºС.

Для интенсификации процесса нагрева предложено в зоне разогрева установить перегородку высотой 0,6 м и шириной 2,5 м. Другие параметры необходимые для расчета не изменились. Полагаем, что при установке подвесной перегородки имеет место только локальное изменение скорости потока под ней, а не по всей длине зоны разогрева. Поэтому существенного изменения конвективной составляющей теплообмена не происходит. Ощутимо изменяется в сторону увеличения лишь степень развития кладки, что и учитываем в расчете времени нагрева.

На основании выполненных расчетов установлено уменьшение времени нагрева в зоне разогрева до трех минут. Время нагрева уменьшилось за счет увеличения степени развития кладки.

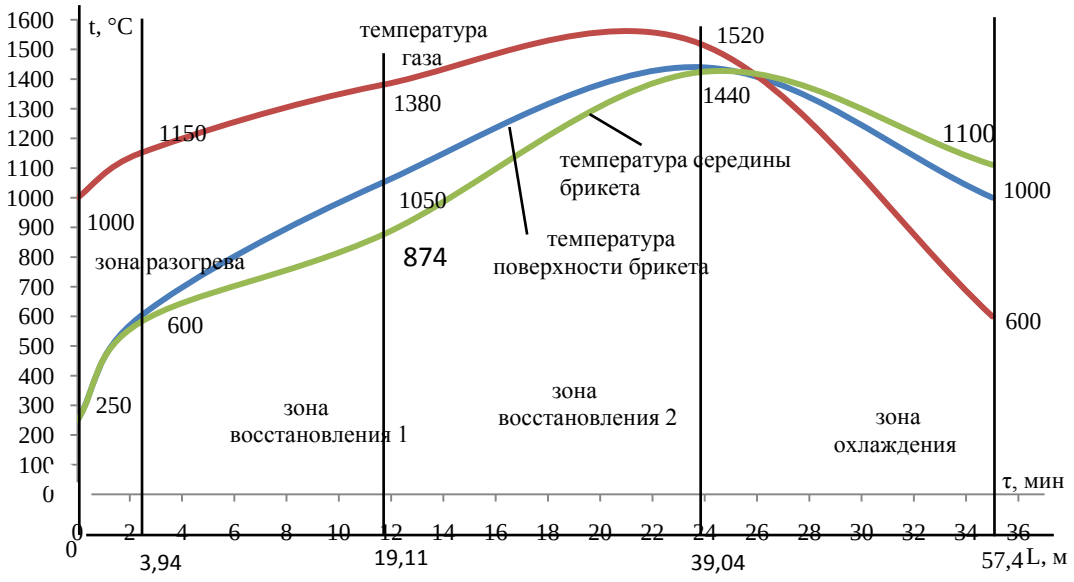


Рис. 3. Распределение температуры во времени по длине печи при 2-х слойной загрузке

Для интенсификации процесса охлаждения предложено установить аналогичную перегородку в зоне охлаждения в непосредственной близости от высокотемпературной зоны восстановления 2. Для определения оптимальных температурных параметров газовой среды и материала на выходе из зоны охлаждения выполнено несколько расчетов для различных температур газа и материала после перегородки.

На основании выполненных расчетов установлено, что перегородка в зоне охлаждения положительно влияет на снижение времени охлаждения, позволяя уменьшить его с 11,2 мин при отсутствии перегородки до 7,7 - 8,6 мин при наличии перегородки (на 23-31%) в зависимости от температуры газов в начале зоны 1200- 1300 ^{o}C при конечной температуре охлаждения брикетов 1000 ºC.

Список литературы

1. Горбачев В.А., Евстюгин С.Н., Копоть Н.Н. и др. Принципы выбора технологии прямого получения железа //Сталь. 2006. №6. С. 42-46.

2.Разаз Юнес, Опрышко И.А., Лобода П.И. Анализ технологий прямого восстановления оксидов металлов с применением печей с вращающимся подом // Вестник НТУУ "КПИ". 2011. № 61. С. 184–192.

3.Пат. 93802 РФ. Технологическая линия для производства металлизированного продукта / В.Г. Григорьев, П.Г. Паткин, С.В. Тепикин. 2010. Бюлл. № 13.

4.Мастрюков Б.С. Теория, конструкции и расчеты металлургических печей. Т.2. Расчеты металлургических печей/ Б.С. Мастрюков. - М.: Металургия, 1978. - 272 с.

УДК 662.933.12

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ЭКОЛОГО-ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО СЖИГАНИЯ УГЛЕЙ

Седельников Н. В.
научный руководитель док. тех. наук, профессор Дубровский В. А.
Сибирский федеральный университет

Аннотация

Целью настоящей работы является разработка автоматизированного комплекса, позволяющего осуществлять визуализацию, сбор необходимой информации для формирование команд исполнительным устройствам с целью поддержания оптимальных режимов работы универсальных горелочных устройств котельных агрегатов.

В соответствии с «Энергетической стратегией России на период до 2020 года» структура топливно-энергетического баланса страны на долгосрочную перспективу предусматривает значительное увеличение использования угля. Вместе с тем расширение потребления угольного топлива в нашей стране, прежде всего, обусловлено освоением углей Канско-Ачинского бассейна – крупнейшего буроугольного бассейна России.

Многолетний опыт использования канско-ачинских углей (КАУ) на тепловых электростанциях показал, что традиционные способы их подготовки и сжигания не в полной мере соответствуют современным требованиям обеспечения надежности, эколого-экономической эффективности работы котельных агрегатов. Возрастающая роль углей Канско-Ачинского бассейна в ТЭБ России на первый план выдвигает целый ряд вопросов, связанных с их эффективным энергетическим использованием. В первую очередь к ним следует отнести: шлакование и загрязнение поверхностей нагрева котлоагрегатов, обусловленные специфическим составом минеральной части канско-ачинских углей, в результате чего значительно уменьшается коэффициент использования установленной мощности тепловых электростанций; снижение содержания оксидов азота как наиболее вредных газовых выбросов в уходящих дымовых газах на ТЭС; замена мазута при растопке и подсветке факела топочных камер котельных агрегатов углями Канско-Ачинского бассейна, стоимость которых более чем на порядок ниже стоимости жидкого топлива - мазута.

В связи с этим возникает необходимость разработки высокоэффективной технологии энергетического использования КАУ на тепловых электростанциях (ТЭС), позволяющей обеспечить надежность, экономичность и экологическую безопасность работы котельного оборудования энергетических систем и комплексов, внедрение которой вносит значительный вклад в экономику России.

Решение проблемы повышения эффективности энергетического использования углей Канско-Ачинского бассейна осуществляется на основе научно обоснованной технологии сжигания с предварительной термической подготовкой углей, впервые разрабатываемой для реализации непосредственно в условиях ТЭС.

Инновационной составляющей данного проекта является разработка алгоритма управления работой универсальными горелочными устройствами, что позволяет создать автоматизированный комплекс по решению основных проблем эколого

энергоэффективного энергетического использования углей на современных тепловых электростанциях.

Внедрение разрабатываемых автоматизированных универсальных горелочных устройств позволит существенно повысить эффективность работы угольных энергоблоков ТЭС за счет впервые примененного комплексного решения энергетических проблем.

Базовой технологией является высокоэффективная технология сжигания углей на основе разработанных опытно-промышленных образцов эколого-энергосберегающих универсальных горелочных устройств, с предварительной термической подготовкой (газификацией) углей, впервые примененной непосредственно в условиях ТЭС.

В лаборатории «Эколого энергоэффективное сжигание углей» кафедры «Тепловые электрические станции» Политехнического института ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» разработана технология термической подготовки КАУ в универсальном энергоэффективном горелочном устройстве непосредственно в условиях тепловой электрической станции как для организации растопки топочных камер так и при работе котлов на пониженных нагрузках без применения дорогостоящего жидкого топлива-мазута [1-3].

В настоящее время на котле БКЗ-420 ст. №9Б Красноярской ГРЭС-2 проведены опытно-промышленные испытания универсального энергоэффективного горелочного устройства.

На рисунке 1 представлен эскиз универсального энергоэффективного горелочного устройства.

Универсальные горелочные устройства могут использоваться как в режиме растопки, так и в качестве основных горелок, при этом не требуется разводка топочных экранов т.к. они устанавливаются в существующие амбразуры топочных камер котельных агрегатов ТЭС, что значительно снижает затраты на проведение монтажных работ.

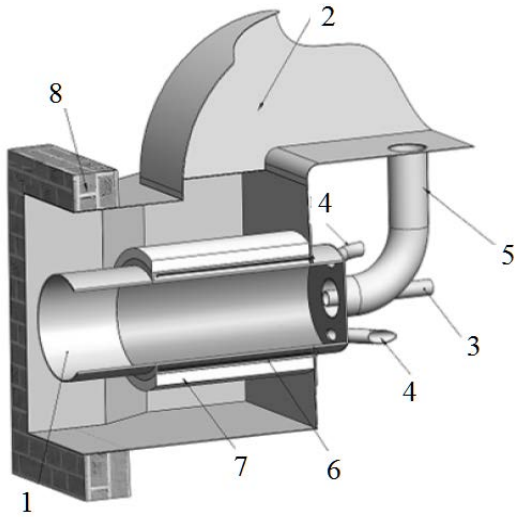


Рисунок 1. Эскиз универсального энергоэффективного горелочного устройства 1 – реакционная труба ; 2 – короб подвода вторичного воздуха; 3 – устройство подвода пыли высокой концентрации (ПВК); 4 – тангенциальный патрубок подачи первичного воздуха; 5 – патрубок осевой подачи первичного воздуха; 6 – система нагрева; 7 – тепловая изоляция; 8 – амбразура котла.

Универсальное энергоэффективное горелочное устройство состоит из реакционной трубы 1 и короба подачи вторичного воздуха 2. Патрубок пыли высокой концентрации (ПВК) 3 соединен трубопроводом с пылепитателем, оборудованным двигателем с частотным приводом, что позволяет плавно регулировать подачу пылеугольного потока в горелочное устройство.

Расход ПВК зависит от числа оборотов двигателя пылепитателя и изменяется от 150 об/мин до 1500 об/мин, что составляет от 0,139 кг/сек до 1,39 кг/сек. Первичный воздух подаётся в горелку тангенциально через воздухопроводы 4, расположенные на торцевой стенке горелочного устройства и трубопровод 5 установленный по оси горелки. Первичный воздух поступает в трубопровод 5 от короба вторичного воздуха 2. На трубопроводе 5 предусмотрена установка запорно-регулирующей аппаратуры позволяющей регулировать расход первичного воздуха в зависимости от подачи ПВК, что позволяет устанавливать необходимый режим газификации.

Пуск и работа горелки осуществляется путем нагрева стенки реакционной трубы системой электронагрева 6 до температуры 600–700˚С, с последующей подачей в горелку первичного воздуха по воздуховодам (4, 5) и ПВК через патрубок (3). Для регулирования расхода первичного воздуха предусмотрена установка запорно-регулирующей аппаратуры, что позволяет варьировать значение коэффициента избытка воздуха, изменяя глубину газификации потока угольной пыли.

За счет излучения от стенок муфеля происходит прогрев потока пыли высокой концентрации и выход летучих веществ из угля при коэффициенте избытка воздуха значительно меньших единицы с образованием смеси горючих газов и коксовых частиц. Температура в пространстве муфельной части горелочного устройства должна поддерживаться в пределах 850-950°С, чтобы обеспечить устойчивое воспламенение пылегазового потока на выходе из горелочного устройства при смешении со вторичным воздухом и предотвратить шлакование муфельной части.

В результате опытно - промышленных испытаний на Красноярской ГРЭС-2 универсальное горелочное устройство показало высокую эффективность, стабильность и надежность в работе, как при пуске котла из холодного состояния, так и в штатном режиме. Следует особо отметить, что подключение горелочного устройства в работу в режиме подсветки происходит без предварительного прогрева и применения мазута за счет тепла от обратного излучения из топочного объема.

Обоснование применения АСУ ТП

Современное состояние информационных технологий позволяет значительно расширить возможности автоматизации управления сложными технологическими процессами. Активное внедрение микропроцессорных средств автоматического управления позволяет не только применять прогрессивные способы построения систем, отказываясь от использования классического жесткого алгоритма регулирования (оптимальные и адаптивные системы), но и организовать интегрированную взаимосвязь различных уровней управления в рамках единой системы управления сложным объектом в целом. При этом наиболее существенные изменения претерпевает уровень оперативного управления, совершенствуются рабочие места операторов энергетического оборудования, возрастает информационная поддержка процессов принятия оперативных решений.

К сожалению, это не сопровождается перераспределением оперативных функций между оператором и ЭВМ. По-прежнему все оперативные действия

реализуются оператором исходя из его профессионального опыта и объёма доступной оперативной технологической информации. Применяемые процедуры расчёта используют только усреднённые значения накопленного за фиксированный период объёма технологической информации, полученной с датчиков.

В условиях рынка энергии внедрение информационных технологий (ИТ) в управлении эффективностью производственного процесса приобретает особенно большое значение, поскольку позволяет экономить значительные средства за счет оптимизации режима работы, а также выявления узлов и агрегатов, требующих ремонта или модернизации в целях повышения экономичности. Создание автоматизированного теплоэнергетического оборудования очень важная задача в условиях сложности комплектации персонала и ужесточения рыночных требований к эксплуатационным режимам генерирующего оборудования.

Общее описание АСУ ТП

Состав АСУТП

Любая АСУ ТП имеет следующие компоненты:

- оперативный персонал;
- организационное обеспечение;
- информационное обеспечение;
- техническое обеспечение;
- программное обеспечение;
- (математическое обеспечение).

Оперативный персонал состоит из технологов-операторов, осуществляющих контроль и управление объектом, и эксплуатационного персонала, обеспечивающего правильность функционирования всех технических и программных средств системы.

Организационное обеспечение - совокупность документов, устанавливающих взаимоотношения между работниками и правила функционирования оперативного персонала (инструкции по эксплуатации и др.).

Информационное обеспечение определяет способы, формы н объем информационного отображения состояния объекта управления.

Техническое обеспечение включает в себя:

- средства получения информации;
- средства формирования и передачи информации;
- средства локального регулирования и управления;
- средства вычислительной техники;
- исполнительные механизмы;
- средства передачи информации в смежные и вышестоящие АСУ.

Математическое обеспечение (МО), формально не входящее в состав АСУ ТП, является исходным материалом для программного обеспечения. Под МО понимается совокупность математических методов, моделей и алгоритмов, используемых при функционировании систем.

Функции АСУ ТП

1.Централизованный контроль и сигнализация АСУ ТП осуществляет:

– непрерывный контроль, графическую регистрацию и сигнализацию отклонений наиболее ответственных параметров;

– контроль остальных параметров (автоматический с помощью системы обегания и по вызову оператора);

– индикацию состояния (положения) запорной арматуры и механизмов;

– контроль состояния аппаратуры управления.

2. Регистрация аварийных ситуаций.

Эта функция заключается в фиксации и сохранении информации о событиях и значениях важнейших параметров в предаварийный период и в периоды развития и ликвидации аварии, а также в печати зафиксированной информации за заданный интервал времени в алфавитно-цифровой форме на бланках протоколов регистрации.

3. Расчет технико-экономических показателей (ТЭП)

Основные функции расчета и анализа ТЭП:

1. Первичная обработка информации и контроль ее достоверности;

2. Расчет и анализ ТЭП на оперативном и на отчетных интервалах (смена, сутки, неделя, месяц); интервале;

Недостатки находящихся в эксплуатации АСУ ТП

1.Отсутствие унификации технических средств. Вся система управления содержит ряд подсистем и спецсистем, выполняемых организациями различных ведомств на элементно-конструктивной базе общепромышленного применения. Каждая из систем реализуется на своей элементноконструктивной базе. Такое многообразие типов технических средств приводит к аппаратурной избыточности, увеличению затрат на запчасти, обслуживание, особенно в периоды пуска системы.

2.Унифицированный комплекс технических средств, размещается централизованно, связь между этой аппаратурой и датчиками, исполнительными механизмами осуществляется проводами, что приводит к большим затратам дефицитной кабельной продукции.

3.Недостаточный уровень обеспечения надежности и отказоустойчивости АСУ ТП и безопасности энергоблока.

Основными источниками повышения эффективности ТЭС за счет внедрения АСУТП являются:

– повышение экономичности работы оборудования, обусловленное улучшением качества поддержания технологических параметров в регулировочном диапазоне нагрузок, в пусковых режимах, а также сокращением продолжительности пусков и затрат топлива в пусковых режимах;

– контроль состояния технологического оборудования, приближающий проведение ремонтов и улучшающий его техническое обслуживание «по состоянию» учета наработки и учета причин простоя оборудования, анализа предаварийного состояния оборудования, передачи исходных данных для расчета ремонтов;

– продление ресурса работы оборудования, обусловленное уменьшением «выбегов» температур металла котельных поверхностей нагрева, особенно в пусковых режимах, снижением уровня термических напряжений в толстостенных элементах котлов в пускоостановочных режимах за счет более полной их автоматизации, ориентированной на оптимизацию;

– сокращение выбросов вредных веществ в атмосферу за счет оптимизации топочного режима путем автоматического поддержания в статике и динамике требуемого соответствия между расходами топлива и воздуха с контролем содержания O_2, CO и NOx в дымовых газах.

Преимущества внедрения АСУ ТП

Внедрение АСУ ТП позволяет повысить эффективность и комфортность работы персонала ТЭС, отразившиеся в следующем:

– расширение объема и наглядности представления информации;

– расширение возможностей просмотра и использования архивных данных, повышение удобства и комфортности работы оперативного персонала;

– расширение возможностей и повышение удобства наладки систем регулирования персоналом ТЭС;

– возможность объективно оценивать действия оперативного персонала со стороны администрации.

Результаты внедрения АСУТП представлены на рисунке 2.

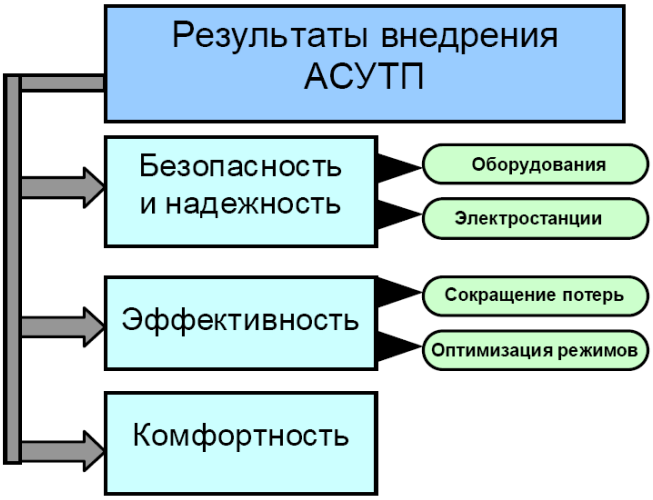


Рисунок 2. Результаты внедрения АСУТП

Автоматизированный комплекс эколого-энергоэффективного сжигания углей

С целью поддержания оптимальных режимов работы универсальных горелочных устройств котельных агрегатов возникла необходимость разработки автоматизированного комплекса на основе универсальных горелочных устройств позволяющего осуществлять визуализацию, сбор потока необходимой информации для формирования команд исполнительным устройствам.

Автоматизированный комплекс (рис. 3) эколого-энергоэффективного сжигания углей работает следующим образом.

Программируемый контроллер в соответствии с заданным алгоритмом подаёт команды исполнительным устройствам: - подает команду шкафу управлением нагревом включить нагревательные устройства для прогрева муфельной части горелочного устройства. Датчики температуры фиксируют скорость нагрева и текущую

температуру, при достижении заданной температуры (650 ^{o}C…750 ^{o}C) шкаф управлением нагрева автоматически поддерживает заданную температуру и подает сигнал контроллеру. Контроллер подает сигнал клапану подачи воздуха на открытие, клапан открывается и по команде с задержкой в несколько секунд включается частотный преобразователь управляющий работой электродвигателя питателя ППЛ-5, в горелочное устройство начинает поступать угольная пыль, контроллер задает программу работы частотного привода от минимального значения подачи угольной пыли до рабочих значений. При этом по сигналам датчиков параметров газовой среды и датчиков температуры регулируется объём подачи первичного воздуха и угольной пыли обеспечивая оптимальные их соотношения, параметры термоподготовки и работы котельного агрегата.

Оценка рынков сбыта конечного продукта

Отраслью народного хозяйства в которой возможно применение автоматизированного комплекса эколого-энергоэффективного сжигания углей является энергетика. Основными рынками сбыта являются конечные потребители в первую очередь ТЭС Красноярского и Приморского края, Кемеровской и Иркутской областей, потребность которых в универсальных горелочных устройствах составляет более 400 автоматизированных комплексов**.**

Рисунок 3. Технологическая схема автоматизированного комплекса эколого-энергоэффективного сжигания углей

Анализ конкурентоспособности

Основными направлениями технологического и рыночного развития энергетической отрасли являются:

– разработка новых конструкций топочных камер и горелочных устройств;
– снижение оксидов азота за счет применения ступенчатого сжигания углей

– использование дорогостоящих химических методов очистки уходящих дымовых газов;

– применение плазменного сжигания углей;

– применение топочных устройств с кипящим слоем.

Аналоги, как правило, посвящены решению одного какого то вопроса по проблеме энергоэффективного сжигания углей - либо снижению оксидов азота, либо исключению применения жидкого топлива-мазута. Преимущество предлагаемого подхода в том, что он позволяет осуществить комплексный подход к решению указанной проблемы с применением менее затратной, более надежной и высокоэффективной в эксплуатации технологии сжигания углей.

Таблица 1. Преимущества перед аналогами в РФ и за рубежом

Технико-экономические показатели (наименование и единицы измерения)	**Наименования аналогов инновационной продукции**		**Наименование инновационной продукции**	**В чем проявляются новые качества предлагаемого продукта по сравнению с аналогами.**
руб./КВт ч	Плазменные технологии	Ступенчатое сжигание	Автоматизированный комплекс эколого-энергоэффективн-ого сжигания углей	Комплексный подход к решению проблем сжигания угля
Принципиально новые качественные возможности	Растопка котлов без применения мазута	Уменьше-ние оксидов азота	Растопка котлов без применения мазута, уменьшение оксидов азота, экономиться топливо при выработке 1 квт. энергии (исключение шлакования поверхностей нагрева, повышение установленной мощности котельного агрегата	Аналоги, как правило, посвящены решению одного какого то одного вопроса по проблеме энергоэффективного сжигания углей. Автоматизированный комплекс позволяет в комплексе решить проблемы энергоэффективного сжигания углей непосредственно в условиях ТЭС с применением менее затратной, более надежной и высокоэффективной в эксплуатации технологии.

Выводы

Уникальность продукта для потребителя заключается в том, что в результате эксплуатации котельных агрегатов, оснащенных автоматизированным комплексом одновременно решается целый ряд проблем:

– полностью исключается использование дорогостоящего жидкого топлива-мазута;

– решаются вопросы экологии за счет снижения в 2-3 раза оксидов азота в уходящих дымовых газах ТЭС;

– повышается коэффициент использования установленной мощности энергоблоков ТЭС за счет снижения шлакования поверхностей нагрева котлов;

– появляется реальная возможность вовлечения в топливно-энергетический баланс России огромных запасов окисленных углей, идущих при добыче угля в отвал;

– исключается подсветка мазутом при работе котельного агрегата на пониженных нагрузках;

– повышается экономичность работы оборудования, обусловленная улучшением качества поддержания технологических параметров в регулировочном диапазоне нагрузок;

– осуществляется контроль состояния технологического оборудования, улучшающий его техническое обслуживание.

– увеличивается ресурс работы оборудования за счет сокращения аварийных остановов и минимизация последствий аварий путем применения расширенного контроля и диагностики технического состояния оборудования.

Список литературы

1. Пат. 95072 Российская Федерация, МПК F 23 D 1/06. Горелочное устройство/Дубровский В. А., Евтихов Ж.Л., Потылицын М. Ю.;опубл. 10.06.2010. 8с.

2. Пат. 94313 Российская Федерация, МПК F23K1/00. Система пылеприготовления котла/Дубровский В. А., Михайленко С. А., Зубова М. В., Евтихов Ж. Л., Потылицын М.Ю., Татаринов Н. А., Лыспак А. И.

3. Пат. 93939 Российская Федерация, МПК F23K1/00. Система подготовки твердого топлива к сжиганию Дубровский В. А., Михайленко С. А., Зубова М. В., Евтихов Ж. Л., Потылицын М.Ю., Татаринов Н. А., Лыспак А. И..

УДК 662.933.12

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОДАВЛЕНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА НА ТЭС

Семенов Д.М.
научный руководитель док. тех.наук, профессор Дубровский В. А
Сибирский федеральный университет

Аннотация

Выполнен анализ наиболее перспективных технологических методов подавления оксидов азота. Предложен вариант высокоэффективной технологии подавления оксидов азота с применением внутритопочной термической подготовки углей на современных ТЭС.

Среди газовых выбросов при сжигании топлива на тепловых электростанциях оксиды азота являются наиболее вредными отравляющими веществами.

Источниками образования оксидов азота при сжигании органического топлива являются азот воздуха и азотсодержащие компоненты топлива.

Оксиды азота NO_x, представляют собой сумму оксида NO, диоксида NO_2, гемиоксида NO_2. Доля гемиоксида в общем выбросе не велика. Основную долю NO_x составляет оксид азота NO, который состоит, в основном, из термических $NO_{отерм}$ и топливных $NO_{топл}$.

Термические оксиды азота образуются в результате реакции окисления азота из воздуха свободным кислородом в процессе горения. Основное количество NO_x образуется в топке при температуре свыше 1500°С.

Основными факторами влияющими на количество образовавшихся в процессе горения термических оксидов азота, являются: максимальная температура в топке, концентрация атомарного кислорода и время пребывания продуктов сгорания в зоне генерации термических оксидов азота.

Следует отметить, что концентрация $NO_{терм}$ линейно увеличивается при увеличении концентрации свободного кислорода и экспоненциально при увеличении температуры.

Топливные NO_x образуются из азотосодержащих соединений топлива при их окислении атомарным кислородом. Реакция их образования протекает значительно раньше чем термических оксидов азота. Это обусловлено тем, что их образование начинается в момент горения летучих выделившихся из частиц угля и не имеет необходимости в высокой температуре, они образуются уже при 600 – 700°С.

Интенсивность воспламенения топлива и скорость его смешения с вторичным воздухом в значительной степени определяют образование топливных оксидов азота в факеле.

Рассмотрим основные технологические способы снижения оксидов азота, применяющиеся на современных тепловых электростанциях.

Подача воды, пара в зону горения

Известно, что водяные пары влияют на скорость распространения пламени в углеводородных пламенях, следовательно, они могут оказывать влияние на кинетику образования оксида азота и даже при подаче в ядро зоны горения в малом количестве заметно влиять на выход оксидов.

Впрыск влаги или пара в топку как средство снижения выбросов NO_x отличается простотой, лёгкостью регулирования и низкими капитальными затратами. Он позволяет

снизить выбросы NO_x на 20 – 30%, но требует затрат теплоты на парообразование и вызывает увеличение потерь с уходящими газами. Следует отметить, что эффективность подавления оксидов азота очень сильно зависит от способа подачи воды в зону горения.

Рециркуляция дымовых газов

Одним из наиболее распространенных методов снижения количества образующихся оксидов азота является рециркуляция продуктов сгорания в зону горения.

При с сжигании твердого топлива рециркуляция продуктов сгорания в качестве природоохранного мероприятия применяется довольно редко ввиду малой эффективности. Исключение составляет ряд теплонапряженных топок с ЖШУ. Это связано с тем, что заметное образование термических оксидов азота при сжигании твердых топлив возможно только в топках с ЖШУ.

Двухступенчатое сжигание

Эффективным средством подавления оксидов азота, особенно на пылеугольных котлах, является создание локальных зон с восстановительной средой (т.е. с недостатком свободного кислорода). Технически этот способ сжигания легко реализовать, если через горелки вместе с топливом подавать только часть воздуха, а остальной воздух, необходимый для полного сгорания топлива, подавать выше ядра горения с помощью дополнительных воздушных сопл. Организовать восстановительную зону горения можно также путем перераспределения топлива между нижними и верхними ярусами горелок.

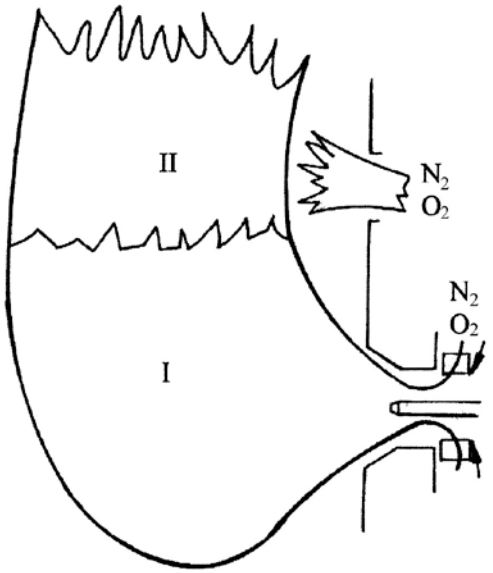


Рис.3. Схема факела при двухстадийном сжигании топлива: I, II – зоны горения

Оба мероприятия реализуют при двухступенчатом сжигании топлива. При этом после воспламенения и сгорания летучих (или части газообразного топлива) в факеле резко снижается концентрация кислорода, в результате чего тормозятся окислительные реакции с образованием NO и интенсифицируются реакции, приводящие к переходу азотосодержащих радикалов NH_i и CN в молекулярный N_2. При наличии в определенных зонах факела газов восстановителей CO, H_2, CH происходит восстановление уже образовавшегося оксида азота до N_2. Все это приводит к снижению концентрации NO по ходу факела до того момента, когда в факел вводится струя третичного воздуха, и коэффициент избытка воздуха становиться достаточным для полного сжигания топлива.

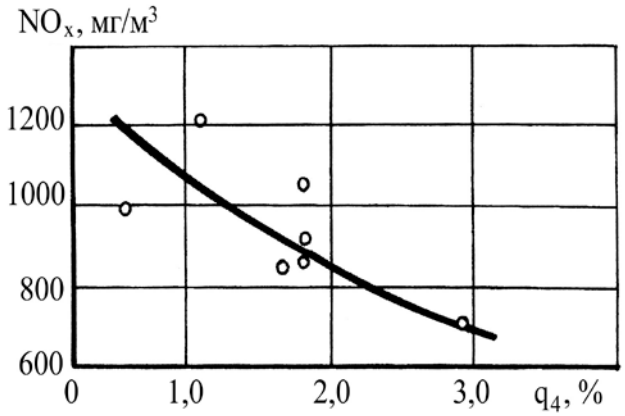


Рис .4. Зависимость выбросов NO_x из котла ТП-109 от механического недожога

Простейшая схема двухступенчатого сжигания применительно к промышленным и энергетическим котлам (рис.3) состоит в работе с коэффициентом избытка воздуха в горелках, меньшим стехиометрического, при наличии специальных воздушных сопел, расположенных выше верхнего яруса горелок. Главным недостатком этого способа сжигания является растягивание процесса горения, что приводит к увеличению температуры газов на выходе из топки T''_m, а также к снижению к.п.д. котла за счет повышения потерь тепла с механическим недожогом q_4. Существует обратная зависимость между q_4 и значением NO_x (рис. 4).

Трехступенчатое сжигание

В США и Японии в конце 70-х годов прошлого столетия было положено начало освоению новой технологии сжигания твердых топлив под названием "reburning process" (повторное сжигание), направленной на подавление оксидов азота. Эта технология в России известна как метод трехступенчатого сжигания. Классический "reburning process" предусматривает подачу в основные горелки 80–90 % топлива с обычно применяемым избытком воздуха, обеспечивающим эффективное горение твердого топлива. Остальное топливо 10–20 % (природный газ или другое высокореакционное топливо) подается в топку с большим недостатком воздуха, чтобы после его смешения с продуктами сгорания основной зоны горения коэффициент избытка воздуха составлял не более 0,9–0,95. Выше зоны восстановления располагается зона догорания, куда подается третичный воздух.Промышленное внедрение этой технологии подтвердило возможность значительного снижения оксидов азота в дымовых газах.

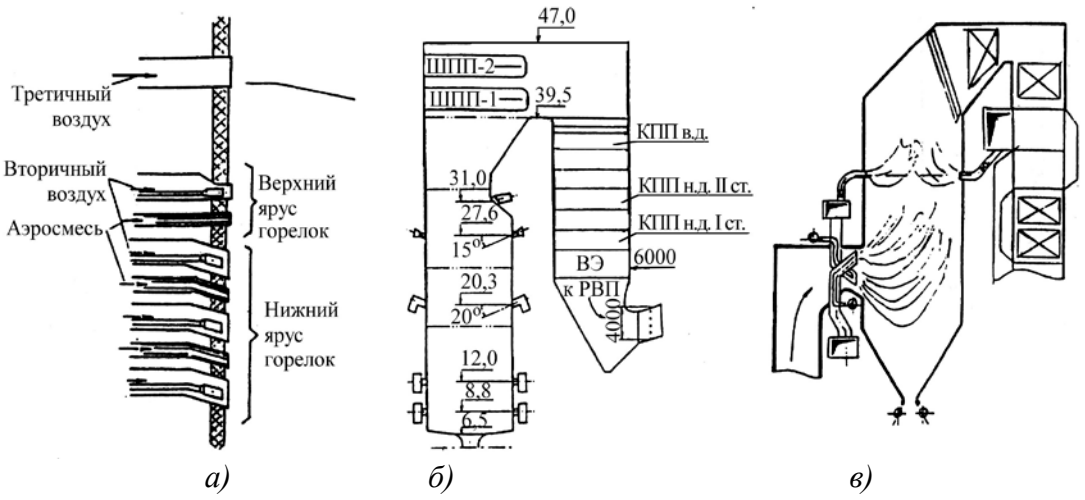


Рис. 5. Организация трехступенчатого сжигания по упрощенной (а и б) и классической (в) схемам с установкой дополнительных горелок: а – блок 150 МВт Добротворской

ГРЭС; б – блок 300 МВт Ладыжинской ГРЭС; в – котел ТП-230 Ступинской ТЭЦ-17 (ОАО «Мосэнерго»)

Однако, как показал опыт эксплуатации котельных агрегатов, если в восстановительную зону подается не природных газ, а уголь, сжигаемый в основной зоне горения, то экономичность работы котельных агрегатов резко снижается, особенно при использовании твердых топлив с малым выходом летучих веществ. Это происходит из-за ухудшения процесса выгорания топлива. В этом случае процесс горения затягивается, повышается температура газов на выходе из топочной камеры. При этом интенсифицируется процесс загрязнения поверхностей нагрева, увеличивается механический недожог.Таким образом, всякое отклонение от классической схемы трехступенчатого сжигания, особенно при использовании низкореакционных углей, приводит к резкому снижению экономичности работы котельных агрегатов.

Недостатком этого способа сжигания углей является обязательное применение газообразного топлива в зоне восстановления, а замена природного газа на высокореакционные канско-ачинские угли приводит к уменьшению к.п.д. котла за счет шлакования и недожега топлива. А это приводит к необходимости проектирования специальных топочных камер большой высоты.

Однако самый главный недостаток этой технологии, по нашему мнению – это то, что на первой стадии сжигания образуется основное количество оксидов азота, которые в последующем необходимо уменьшать. Спрашивается, какой смысл сначала получать оксиды азота, а затем их связывать? По мнению многих исследователей для более глубокого связывания оксидов азота необходимо чтобы пылеугольный факел как можно дольше находился в восстановительной зоне [2]. Другими словами, следует максимально растянуть процесс воспламенения топлива, но при этом требуется обеспечить экономичность работы котла за счет глубокого выгорания топлива и уменьшения шлакования и загрязнения поверхностей нагрева.

Концентрическое сжигание

Принципиальным отличием данного метода от других – это отсутствие необходимости установки дополнительного яруса горелок. В этой схеме восстановительная зона формируется в центральной части топки, это обеспечивает создание ступенчатого сжигание по горизонтали. Данное решение позволяет избавиться от таких побочных явлений, как шлакование топочных экранов или их высокотемпературная коррозия.

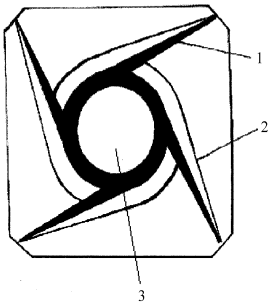


Рис. 6. Принципиальная схема концентрического сжигания:
1 – поток первичного воздуха с угольной пылью; 2 – вторичный воздух; 3 – зона, обогащенная топливом

В России концентрическая схема выполнена на Иркутской ТЭЦ №9.После реконструкции котла были проведены две серии испытаний, результаты которых показывают, что при максимальных нагрузках, с которыми работает котёл, концентрация NO_x снизилась примерно от 1100 до 7000 мг/м^3 (в пересчёте на O_2=6 %), т.е. на 36 %.

Эколого энергоэффективные топочные камеры с внутритопочной термоподготовкой

По мнению многих исследователей для более глубокого связывания оксидов азота необходимо чтобы пылеугольный факел как можно дольше находился в восстановительной зоне. Другими словами, следует максимально растянуть процесс воспламенения топлива, но при этом требуется обеспечить экономичность работы котла за счет глубокого выгорания топлива и уменьшения шлакования и загрязнения поверхностей нагрева.

Таким образом, перед энергетиками была поставлена задача разработать эффективный способ сжигания углей, обеспечивающий:

– глубокое связывания оксидов азота;

– полное выгорание топлива;

– снижение шлакования и загрязнения поверхностей нагрева.

Для существенного увеличения времени пребывания топливных частиц в восстановительной среде и обеспечения более глубокого снижения образования оксидов азота и шлакования топки с обеспечением полного выгорания топлива сотрудниками лаборатории «Эколого энергоэффективное сжигание углей» кафедры ТЭС ПИ СФУ предлагается совместить внутритопочную термическую подготовку топлива с концентрическим сжиганием, который зарекомендовал себя как один из эффективных способов энергетического использования углей.

В этой связи была разработана конструкция топочной камеры котла, оборудованная камерами термической подготовки, представляющие собой трехгранные призмы, образованные двухсветными экранами, которые отгораживают углы топочной камеры. В угловых камерах термоподготовки происходит вертикальная циркуляция пыли с одновременной деструкцией органической части топлива за счет тепла горячих дымовых газов, поступающих из верхней части топки.

Термически подготовленная в среде дымовых газов угольная пыль в нижней части угловых камер термоподготовки подхватывается двумя потоками вторичного воздуха. Поток вторичного воздуха через верхний ряд сопел подхватывает основную часть пылеугольного потока и подает его по касательной к меньшей окружности основной камеры сжигания.

Другая часть вторичного воздуха подается через нижние сопла по касательной к большой окружности в центральной части камеры горения, образуя поток с малой концентрацией топлива. Основная часть топлива будет сжигаться в центральной части топки при малых избытках воздуха. При этом будет организовано концентрическое сжигание топлива.

Организация концентрического сжигания как второй ступени после внутритопочных камер термоподготовки значительно увеличивает общее время пребывания частиц топлива в восстановительной среде. При этом остается значительный объем топки, в которой за счет подачи третичного воздуха полностью завершается процесс горения коксовой основы топлива.

Предлагаемые конструкции топочной камеры с внутритопочной термоподготовкой могут быть выполнены путем небольшой реконструкции

существующих четырехгранных топок. Система пылеприготовления остается практически без изменений.

Конструкция топки котла содержит настенные экраны 1, образующие многогранный газоход, разделенный двусветными экранами 2 на центральную 3 и периферийную камеры 4 сгорания, сообщающиеся верхними и нижними перепускными окнами 5 и 6. Двухсветные экраны 2 установлены с примыканием к смежным настенным экранам 1, образующим углы газохода, на которых установлены горелки 7 и воздушные сопла 8, направленные соответственно внутрь периферийных камер 4 сгорания и центральной камеры.Каждая периферийная камера сгорания снабжена подом, выполненным из двух скатов 9 и 10, установленных под углом друг к другу и к горизонту. Верхние торцы скатов соединены со смежными настенными экранами. Скаты 9 и 10 образованы выступами смежных настенных экранов 1 внутрь периферийных камер 4 сгорания, при этом указанные нижние перепускные окна 6 образованы между вершинами 11 выступов, разведенными на угол раскрытия факела воздушного сопла 8, установленного под вершинами 11 выступов. На стенах топки установлены сопла воздушного дутья 12, 13 на уровне нижних и верхних перепускных окон 5 и 6.

Указанная конструкция топочной камеры является одним из реальных предложений по внедрению внутритопочной термоподготовки на базе котлов Е-500. При этом появляется реальная возможность организовать термоподготовку и сжигание угля таким образом, чтобы максимально снизить образование оксидов азота при минимальном шлаковании и загрязнении поверхностей нагрева и максимальном КПД котла за счет глубокого выгорания топлива.

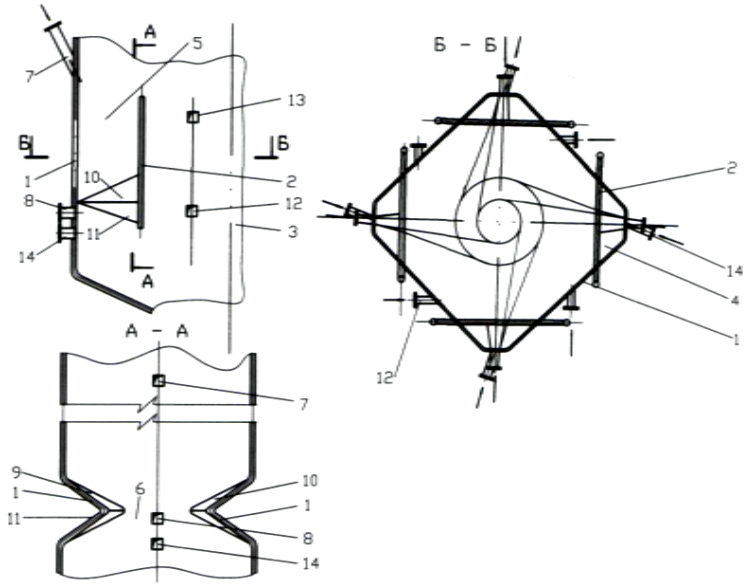


Рисунок 7. Принципиальная схема термической подготовки угольной пыли в угловых камерах топки котла: 1 – настенные экраны; 2 – двухсветные газоплотные экраны; 3 – топочная камера; 4 – камеры термоподготовки; 5, 6 – верхние и нижние перепускные окна; 7 – горелочные устройства; 8 – верхние сопла вторичного воздуха; 9, 10 – скаты пода камеры термоподготовки; 11 – вершины выступов пода; 12, 13 – сопла третичного дутья; 14 – нижние воздушные сопла.

С целью проверки эффективности работы предлагаемого технического решения, а также для получения данных о структуре пылеугольного потока, необходимых при огневом моделировании было выполнено математическое моделирование эколого энергоэффективной топочной камеры с внутритопочной термоподготовкой потока угольной пыли в угловых камерах.

На рисунке 8 представлена расчетная сетка топки котла Е-500-140 с угловой камерой.

Численные исследования аэродинамики выполнили в два этапа. На первом этапе моделировалась картина течения воздушных струй при измененной конфигурации топочной камеры и профиля горелок вторичного дутья. На втором – осуществлялась проверка работоспособности и надежности аэродинамической схемы предлагаемой системы при наличии угольных частиц различного размера и плотности.

На рис. 9 приведены картины течения и взаимодействия струй при расчете структуры скоростей без угольных частиц. Все изображения представлены в масштабе, а длина стрелочки, обозначающей вектор скорости, соответствует величине его модуля. Если показано только окончание вектора, то это означает, что его длина вне пределов разрешимости и поэтому указывается только направление. Из рис. 9 г, д видим, что в горизонтальных сечениях образуется устойчивый вихрь, заполняющий топочную камеру и распространяющий до выходного окна (до ширм).

Так как топочная камера в области пылеподогревателей имеет восьмигранную форму, близкую к цилиндрической, то, в отличие от типовой топочной камеры прямоугольной формы, происходит более полное заполнение топочного пространства, характеризующееся отсутствием застойных зон и прямого наброса факела на стены.

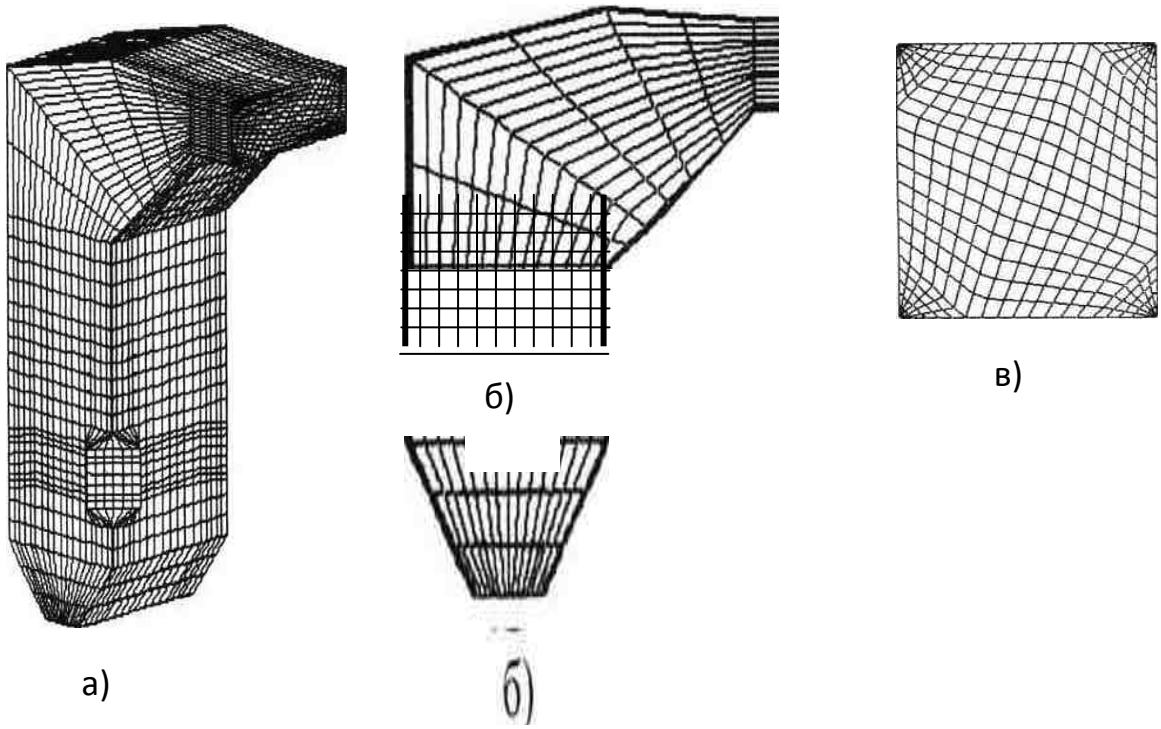


Рисунок 8. Расчетная сетка топки котла Е-500-140 с угловой камерой:
а – общий вид; б – вертикальное сечение; в – горизонтальное сечение

В вертикальных сечениях (рис. 9 а, б, в) наблюдается подъемное движение с прогибом в центре.

На рис. 9 а, е представлена схема течения в зонах предварительной термической подготовки топлива. Получено равномерное заполнение потоком по сечению при стабильном характере профиля скорости вдоль всей высоты канала. В верхней части отсеков пылеподогревателя наблюдается устойчивая эжекция топочных газов в зону термообработки (рис. 9 а).

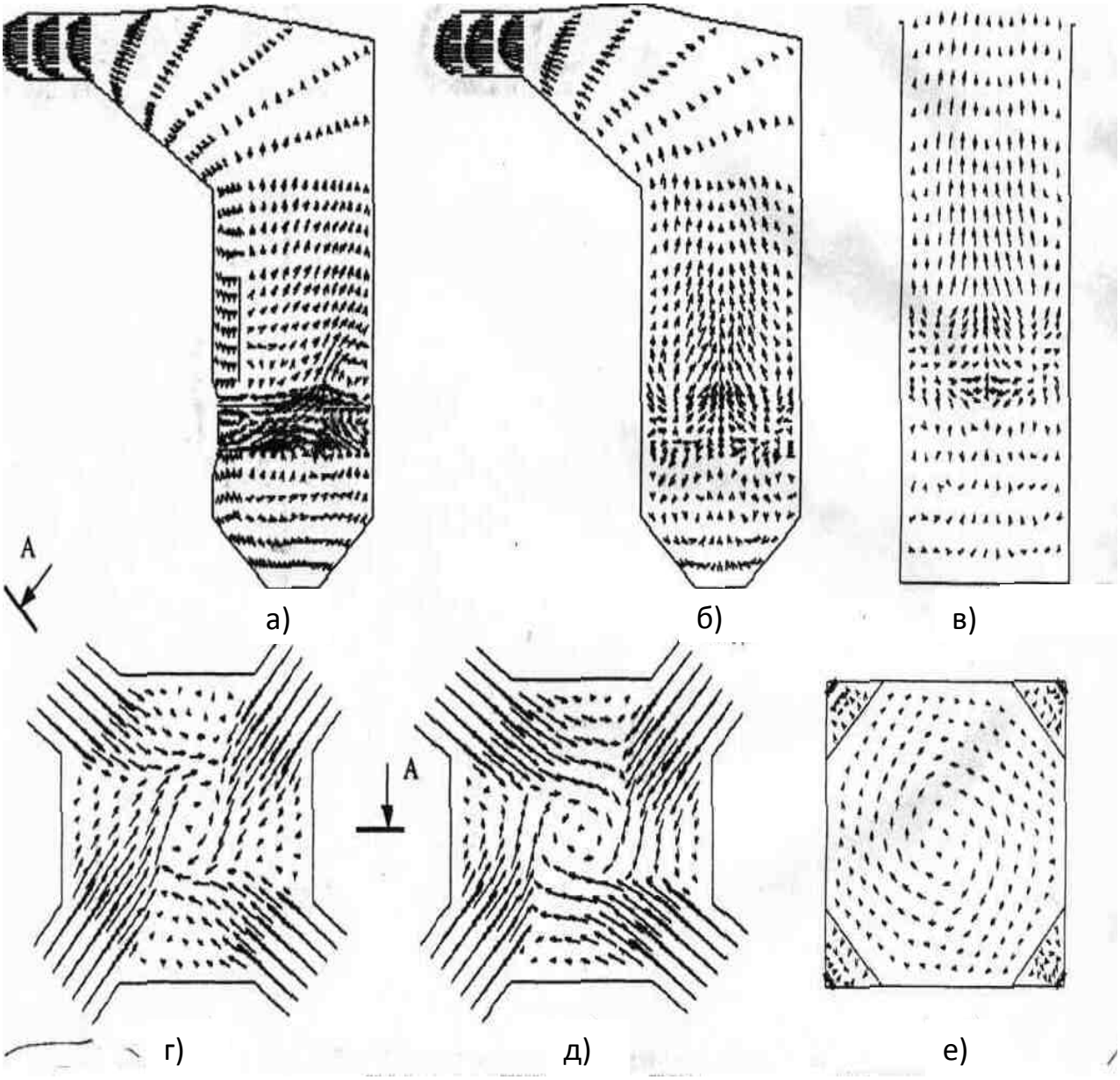


Рисунок 9. Картины течения в различных сечениях топочной камеры: а – вертикальное сечение через пылеподогреватель; б – вертикальное продольное сечение по центру;
в – вертикальное поперечное сечение по центру; г – горизонтальное сечение на уровне первого яруса горелок; д – горизонтальное сечение на уровне второго яруса горелок;
е – горизонтальное сечение на середине расположения пылеподогревателя

Как показали численные исследования угольные частицы с размером менее 500 мкм подчиняются аэродинамической структуре газового вихря, а общий вектор

скорости направлен в сторону выходного окна, что вполне согласуется с траекторией таких частиц в существующей схеме сжигания.

Частицы с размером 500 мкм и выше выпадают из газового потока и сепарируются в нижнюю часть топки, что может вызвать ужесточение тонины помола.

Выводы

1. Численный эксперимент показал, что предложенная конструкция топочной камеры котельного агрегата с внутритопочной термической подготовкой позволит организовать эффективную аэродинамику топки и обеспечить более равномерное заполнение объема топочной камеры продуктами горения, тем самым появляется реальная возможность ликвидировать образование локальных высоких лучистых тепловых потоков. Это приведет к дополнительному уменьшению концентрации NO_x за счет снижения образования термических оксидов азота и более полному выгоранию потока угольной пыли; равномерной и глубокой термической обработке минеральной части, что значительно снизит шлакование экранных труб и уменьшит загрязнение конвективных поверхностей нагрева котельного агрегата.

2.Применение нового способа многостадийного сжигания, включающего в себя термическую подготовку с последующей организацией концентрического сжигания, позволит значительно снизить образование оксидов азота и существенно повысить надежность и экономичность работы котельных агрегатов современных тепловых электростанций.

Список литературы

1. Дубровский, В.А. Повышение эффективности энергетического использования углей канско-ачинского бассейна: Монография / В.А. Дубровский. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. 184 с.

2. NO_x (оксиды азота) [Электронный ресурс].-Википедия. Свободная энциклопедия. -Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/NOx_(окисиды_азота)

3. Дубровский, В.А. Природоохранные технологии на ТЭС: Монография / В.А. Дубровский. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2010. 280 с.

4. Котлер, В. Р. Исследование концентрической системы сжигания с низкими выбросами оксидов азота / В. Р. Котлер, А. В. Еремеев // Энергохозяйство за рубежом. – 1992. – № 3. – С. 7–10.

5. Патент № 2113655(РФ) МКИ F25 C5/08. Топка котла / В. А. Дубровский, Ж. Л. Евтихов, И. С. Деринг, Е. А. Бойко, С. Г. Козлов, М. С. Пронин, А. А. Дектерев, А. М. Ковалевский. Бюл. № 17.

6. Тумановский, А. Г. Анализ возможностей широкого внедрения метода трехступенчатого сжигания на угольных электростанциях в России и СНГ. Применение метода трехступенчатого сжигания для подавления NO_x на твердотопливных котлах в Европе и СНГ / А. Г. Тумановский, В. Р. Котлер, Д. Е. Серков // Докл. науч.-практ. семинара; ВТИ. – Иркутск, 2000. – С. 3–15.

УДК 662.933.12

АНАЛИЗ РАБОТЫ СИСТЕМ ТЕХИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ КРАСНОЯРСКОЙ ТЭЦ – 2 И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ВОДЫ

Сысоев А.В., Изингирова Е.А.
научный руководитель доцент Цыганок А.П.
Сибирский федеральный университет

Аннотация

Целью настоящей работы является разработка мероприятий по улучшению работы существующей схемы водоснабжения и устранение ограничений установленной мощности станции по причине недостаточной производительности технического водоснабжения.

Система охлаждения красноярской ТЭЦ-2 прямоточная, с забором и сбросом воды в реку Енисей. Водозаборное сооружение ковшевого типа с низовым забором воды расположен на острове Отдыха. В ковше расположена береговая насосная станция (БНС) для подачи технической воды на ТЭЦ-2. В насосной станции установлено 4 вертикальных центробежных насоса с производительностью 5000/6120 $м^3$/ч.

От насосной станции воды проходит камеру переключений и по 2 ниткам стальных напорных водоводов идет на ТЭЦ-2. Длина трассы от камеры переключений до ряда А главного корпуса составляет 4.9км. Прокладка подземная, проходит в сложных городских условиях с 17 отводами с углами от 5 до 90 градусов. Измерение расхода охлаждающей воды забираемой из реки Енисей производится штатными расходомерами, установленными на обоих напорных водоводах сразу за БНС.

Турбины Т-110/120-130 имеют два конденсатора ступеней №1,2,3 с поверхностью охлаждения 6000$м^2$ и номинальным расходом охлаждающей воды 16000 $м^3$/ч. Конденсатор турбины ПТ-135/165-130/15 ступень №4 с поверхностью охлаждения 6000$м^2$ и номинальным расходом охлаждающей воды 12400 $м^3$/ч.

Охлаждение вспомогательного оборудования (маслоохладителей турбоагрегатов, питательных насосов) осуществляется из напорных водоводов. Вода для подпитки теплосети и собственные нужды ТЭЦ забирается подогретой после конденсаторов турбин.

Максимальные расходы пара в конденсаторы турбин в зависимости от тепловых нагрузок при среднестатистической температуре наружного воздуха:

–Зимний период:

1. ТА ст.№1 – 20т/ч
2. ТА ст.№2 – 20т/ч
3. ТА ст.№3 – 20т/ч
4. ТА ст.№4 – 107т/ч

Итого – 167 т/ч

–Весенне-осенний период:

1. ТА ст.№1 – 325т/ч
2. ТА ст.№2 – 325т/ч
3. ТА ст.№3 – 325т/ч
4. ТА ст.№4 - 325т/ч

Итого – 1300 т/ч

–Летний период:

1. ТА ст.№1 – 325т/ч
2. ТА ст.№2 – 325т/ч
3. ТА ст.№3 – 229т/ч
4. ТА ст.№4 – 331т/ч

Итого – 1210 т/ч

Фактические максимальные расходы воды по данным ТЭЦ-2 составляют на конденсаторы турбин ст.№2,3 – 6200 $м^3$/ч, на конденсатор турбины ст.№4 – 4800 $м^3$/ч. На конденсаторы турбины №1 охлаждающая вода может подаваться в двух режимах:

–непосредственно от магистральных напорных цирквводоводов;

–от сбросных магистральных водоводов после конденсаторов 2-4 турбин в зависимости от режима работы и выдачи электрической мощности.

В системе охлаждения ТЭЦ-2 имеется недостаток охлаждающей воды, который выливается в ограничение установленной мощности в отдельные периоды года.

В результате испытаний установлено, что максимальная мощность электростанции в конденсационном режиме в летний период составляет 330МВт при обеспечении расхода подпитки в теплосети в пределах 3000-3500 $м^3$/ч и суммарным расходом охлаждающей воды 18600 $м^3$/ч.

Прямоточная система технического водоснабжения красноярской ТЭЦ-2 запроектирована изначально на работу только 3 турбоагрегатов в конденсационном режиме. Это основная причина ограничения установленной мощности.

Устранение имеющихся ограничений установленной мощности станции по причине недостаточной производительности системы технического водоснабжения и расширение ТЭЦ-2 с установкой турбоагрегата Т-120/130-130 ст.№5 может быть осуществлено 2 способами:

1. замена циркуляционных насосов на БНС, напорных и сбросных цирквводоводов;
2. строительство еще одной системы охлаждения, в которой охладителем могут быть брызгательный бассейн, пруд охладитель или градирня.

Первый вариант требует замены всех основных элементов системы охлаждения. Циркуляционные насосы в количестве 4 шт. так же не имеют резерва. Такая работа сопряжена с большими сложностями из-за застроенности городской территории по трассам водоводов, что потребует сложных работ по ограждению траншей. Смена водоводов потребует значительного времени существенно превышающего 1 год.

Весь этот период ТЭЦ режим работы системы охлаждения значительно нарушает нормативы, регламентирующие надежность электростанции. По совокупности изложенного, рассмотренный вариант недопустим.

Сопоставление надежности систем охлаждения показывает однозначно более высокую надежность систем с башенными градирнями, по сравнению с вентиляторными, за счет отсутствия в ней многочисленных вращающихся механизмов и электрических схем.

При расширении станции с установкой турбины Т-120/130-130 ст.№5 предлагается вариант комбинированной системы охлаждения, состоящий из существующей прямоточной системы, работающий совместно с башенной испарительной градирней (рис. 1).

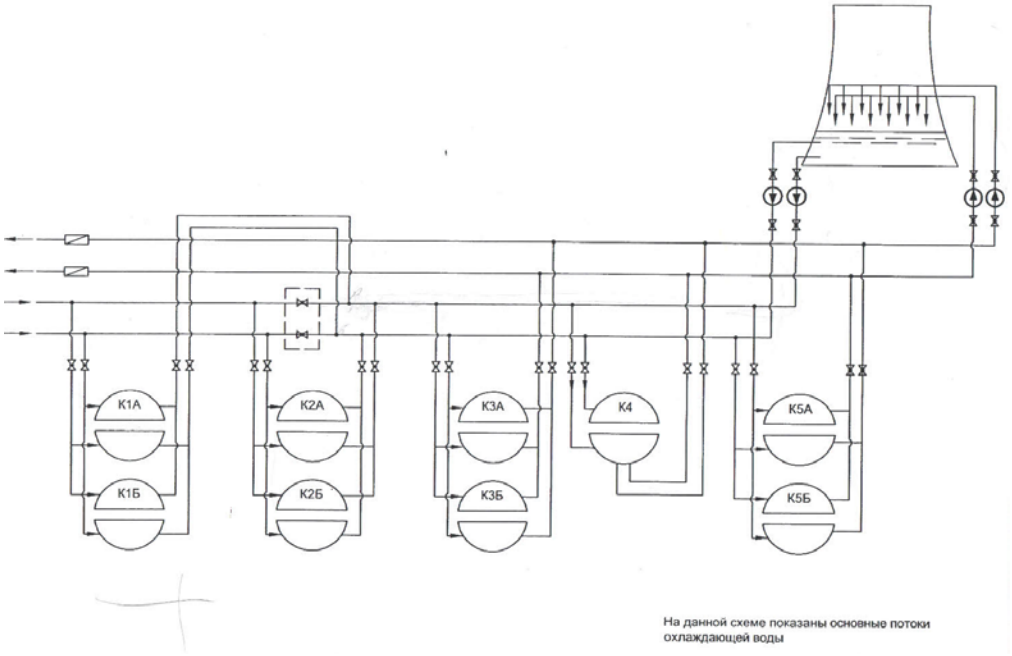


Рисунок 1. Схема циркуляционных водоводов системы охлаждения конденсаторов турбин на площадке Красноярской ТЭЦ-2

Охлаждающая вода из р. Енисей поступает на конденсаторы двух турбин включенный в прямоточный режим обособлено от градирни и образующих первую ступень охлаждения. Необходимость такого решения вытекает из невозможности получить с помощью градирни температуру воды того же уровня, что у речной воды. Вторая ступень охлаждения состоит из конденсаторов турбин №3,4,5 , объединенных в систему охлаждения с испарительной башенной градирней площадью орошения 2300м^2. Сброс охлаждающей воды после первой ступени охлаждения образует транзитный поток через вторую ступень охлаждения и создает около половины расхода охлаждающей воды второй ступени. Такая схема обеспечивает в конденсаторах первой ступени охлаждения глубокий вакуум, характерный для холодной речной воды, а в конденсаторах второй ступени температурный режим охлаждающей воды.

Схема дает возможность эксплуатировать градирню в зимний период, либо выводить её из работы. Подача воды на градирню предусматривается двумя нерегулируемыми насосами. Сочетание различного количества работающих насосов на береговом водозаборе р. Енисей с работой одного или двух насосов, подающих воду на градирню, обеспечивает широкий диапазон регулирования температурного режима системы охлаждения во все сезоны года. Градирня позволяет вести пропуск охлаждающей воды через бассейн, минуя ороситель. В этом случае система охлаждения ТЭЦ работает в прямоточном режиме, а градирня выключена.

Ограничение мощности возникает из-за повышения давления в конденсаторе выше 0.12 бар или при повышении температуры охлаждающей воды выше 33°С.

В расчетах принято ограничение мощности турбин при следующих условиях:

–давление в конденсаторе более 0.12 бар;

–температура охлаждающей воды на входе не более 33°С.

Параллельно второму блоку конденсаторов включен дополнительный охладитель башенная градирня с площадью орошения 2300м^2 (рис. 2).

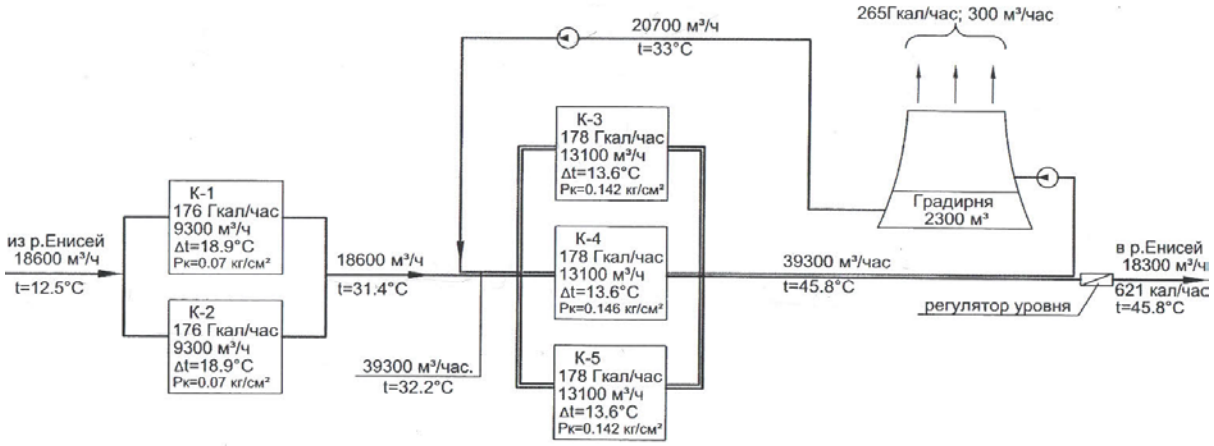


Рисунок 2. принципиальная схема охлаждения ТЭЦ, пять энергоблоков, летний период, максимальная конденсационная мощность

Входная температура охлаждающей воды второго блока определяется смешением выходной воды первого блока конденсаторов с водой после градирни и равна $t_{см}$=32°C. Исходя из условий смешения воды в циркуляционных водоводах, вода с температурой 32°C будет поступать в конденсаторы четвертой турбины. В конденсаторы турбины 3 будет поступать вода с температурой 31°C, а в конденсатор турбины 5 вода с температурой 33°C. Расход воды через конденсаторы турбин второго блока одинаковы и равны 39300 м^3/час.

Вывод

При увеличении установленной мощности красноярской ТЭЦ до 585 МВт, при расширении станции с установкой турбины Т-120/130-130 ст.№5, предлагается вариант комбинированной системы охлаждения конденсаторов турбин, состоящий из существующей прямоточной системы технического водоснабжения, работающей совместно с башенной градирней площадью орошения 2300м^2.

УДК 630*181:614.841.2

ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Ю.О. Усатая

научный руководитель канд. техн. наук Понамарев Е.И.

Сибирский федеральный университет

АННОТАЦИЯ

Обсуждаются результаты дистанционного мониторинга пожаров в азиатской части РФ за период 2012-2013 гг. Выявлены пределы вариации мощности теплоизлучения от пожаров на основе дистанционных измерений. Расчет показателя влагосодержания за весь период дистанционного мониторинга лесных пожаров в азиатской части РФ 2012 -2013 гг.

В Лесном фонде РФ более 51% лесов отнесено под спутниковые методы мониторинга лесных пожаров [1, 2],которые активно развиваются и применяются на практике на протяжении двадцати лет. В середине 2000-х годов спутниковые данные включены в систему учета лесных пожаров ИСДМ – Рослесхоз [2. 3] и в систему «Каскад» МЧС РФ [4]. Начиная с 1996 года, в исследовательских целях формируется банк данных о лесах и пожарах (рис 1), фиксируется спутниковыми методами, в Институте леса им. В.Н Сукачева СО РАН [2, 5, 6].

В данной работе обсуждаются результаты дистанционного мониторинга пожаров,включая:1) оценку энергетических параметров пожаров на различных стадиях; 2) расчет показателя влагосодержания.

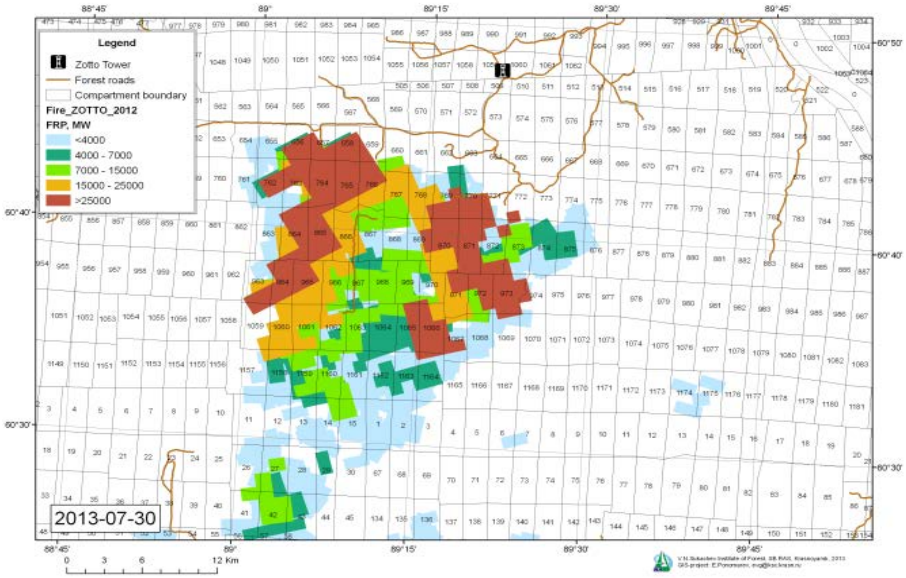


Рис. 1. Пример распространения пожаров в Сибири в 2012 г. на основе показателя FRP. Диаграммами представлены максимальные и средние значения FRP (МВт) по лесным районам Сибири.

1. Многолетняя база данных ГИС о пожарах позволяет рассмотреть временные и пространственные вариации пожаров растительности (рис. 1). Данные результаты помогают исследовать характерные особенности развития пожаров в различных условиях и зонах. Наш результат основан на исследовании данных за (2012-2013 гг.),

что важно для понимания динамики пожарных режимов, складывающихся в современных климатических условиях.

Энергетическая характеристика полигонов пожаров - важная и информированная часть данных о пожарах. Для базы данных пожаров в Сибири впервые получены оценки вариации интегральной мощности теплоизлучения от пожаров на основе методики определения показателя FRP (Fire Radiative Power) по данным Terra/Modis в среднем инфракрасном (λ~ 4 мкм) диапазоне [8].Построены временные ряды, отражающие суточную, а также долгопериодическую динамику изменения показателя FRP в течение времени развития пожара на основе более чем 4000 записей о термически активных зонах в Сибири за (2012 – 2013 гг.).

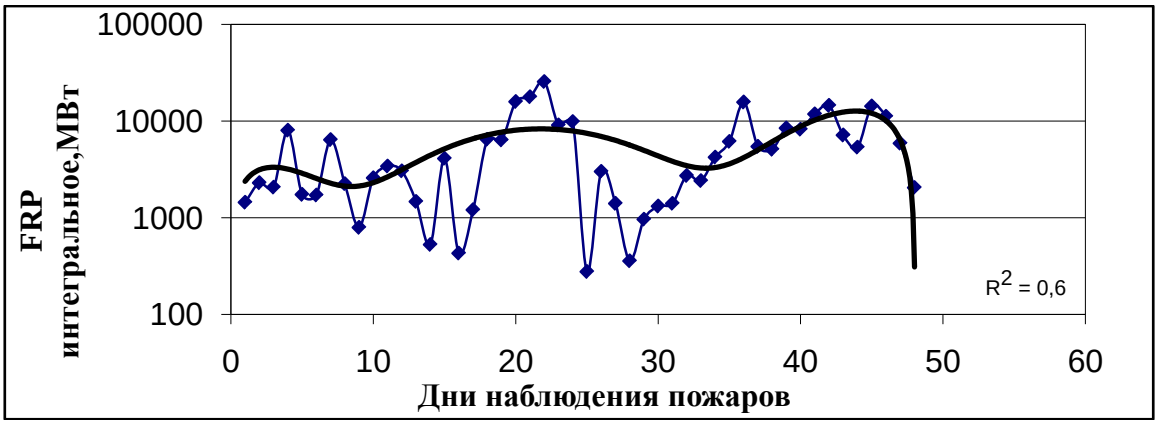


Рис.2.Максимальные значения FRP в дни наблюдения пожаров в лиственничной зоне за 2012 год.

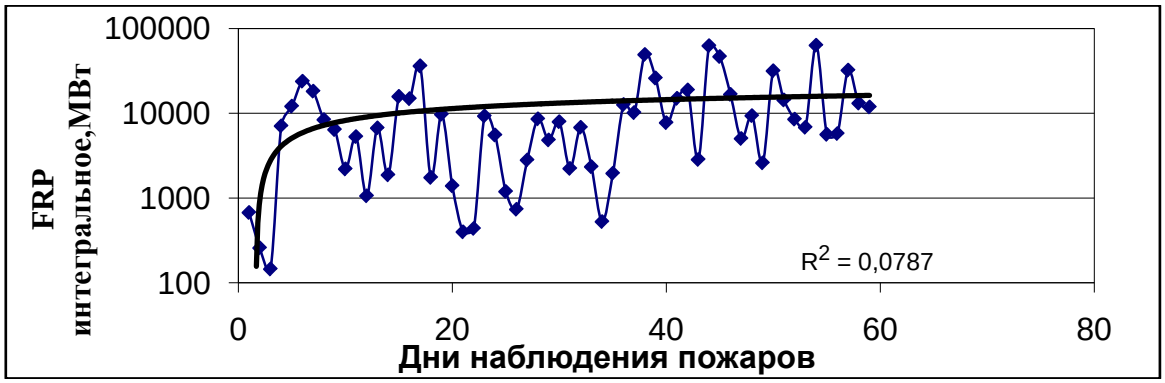


Рис.3. Максимальные значения FRP в дни наблюдения пожаров в сосновой зоне зоне за 2012 год.

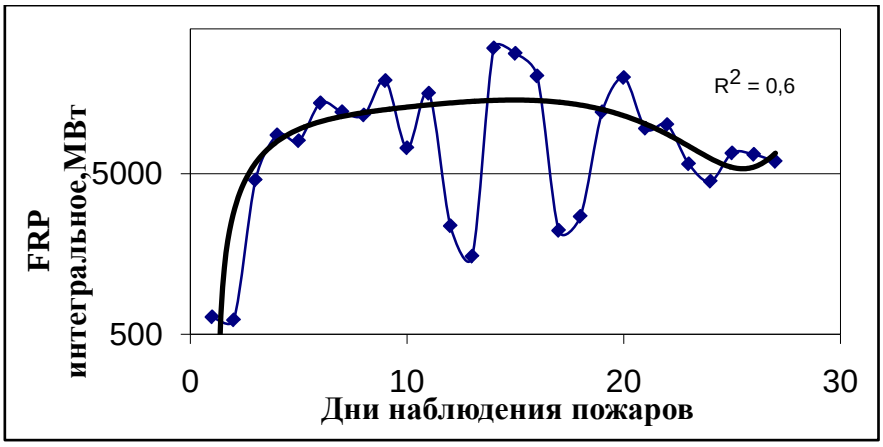


Рис.4. Максимальные значения FRP в дни наблюдения пожаров в лиственичной зоне за 2013 год.

Максимальная с учетом суточной и долгопериодической динамики интегральная мощность теплоизлучения от пожаров зафиксирована на уровне 10000-100000 Мвт.

Так же рассчитан еще ряд данных среднего и минимального FRP за каждый день в сосновых и лиственничных лесах за 2012 год и в лиственничных за 2013 гг.

2. Природная пожарная опасность в лесу по условиям погоды, по которой можно судить о возникновении и распространениях низовых пожаров в насаждениях различных типов леса, может быть определена по формуле 1, расчетным путем по известным величинам метеорологических факторов [7].

$\text{ПВ} - 1 = (\text{Т воз} * \text{Твоз} - \text{Т точки росы})$;

$\text{ПВ} - 1$- показатель влагосодержания напочвенного покрова;

Т воз- температура воздуха;

Т точки росы- температура точки росы.

Далее расчет $\text{ПВ} - 1$ следующего дня был воспроизведен по формуле 2. Значения для учета коэффициента учета осадков ξ, представлены в таблице 1.

$\text{ПВ} - 1\text{сл. дня} = \big(\xi\ \text{ПВ пред. дня} * \text{ПВ} - 1\text{пред. дня} + \text{Твоз} * (\text{Т воз} - \text{Т точки росы})\big)$;

$\text{ПВ} - 1$- показатель влагосодержания напочвенного покрова;

Т воз- температура воздуха;

Т точки росы- температура точки росы

ξ- коэффициент учета осадков.

Коэффициент учета осадков ξ равен 1.

Суточная сумма осадков	Коэффициент учета осадков
~ 19	0
> 10	0.5
> 5	0.3

Таблица 1.Предназначена для учета коэффициента осадков ξ.

По расчетным данным был построен график ПВ-1 от максимального значения FRP в сосновых лесах (рис.5).

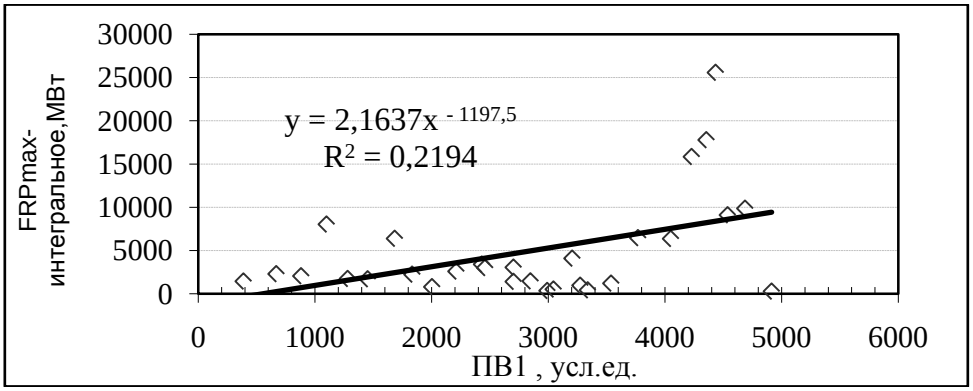


Рис 5.Максимальное значение FRP от ПВ-1. В сосняках, зафиксированных на станции Богучаны в 2012 году.

Построен график ПВ-1 от периода пожара по дням (рис.6.). Где видны границы максимального горения леса. Следовательно, в этот период дней выпало наименьшее кол-во осадков. А значит, был сухой период времени, что способствует максимальному горению.

Рис 6. ПВ-1 от периода пожара в днях. В сосняках зафиксированных на станции Богучаны.

Был рассчитан еще ряд данных в лиственничных зонах, зафиксированных на станции Якутия за 2012 год. А так же лиственничная зона на станции Тура за 2013

год. По полученным данным можно сказать, что эти года были самые засушливые, и самые максимальные возгорания в летний период времени.

Список литературы

1.Андреев Ю.А., Брюханов А.В. Профилактика, мониторинг и борьба с природными пожарами (на примере Алтае- Саянского экорегиона): справочное пособие. Красноярск, 2011.272 с.

2.Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Щетницкий В.Е. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (состояние и перспективы развития) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. М.,2008, 5, т.II . С. 419-429.

3.Барталев С.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Стыценко Ф.В., Флитман Е.В. Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+ // Дистанционное Зондирование земли из космоса. М., 2012,т.9,2. С. 9-26.

4.Кудрин А.Ю., Резников В.М. Аэрокосмическая система мониторинга пожарной обстановки // Технологии гражданской безопасности, 2006, 4(10). – С.36-49.

5.Пономарев Е.И., Шевцов Е.Г. Характеристики категорий пожаров растительности в Сибири по данным спутниковых и других наблюдений // Исслед. Земли из космоса,2013,5.С.45-54.

6.Сухинин А.И. Система космического мониторинга лесных пожаров в Красноярском крае //Сиб.экол.журнал,1996, т.3,1.- С.85 – 92.

7. Вонский С.М. Оценки условий и параметров развития лесных пожаров //Метод определения пожарной опасности в лесу,1985, С. 3-4.

8. Kaufman, Y.J., Kleidman R.G., King M.D. SCAR-B fires in the tropics: Propertises and remote sensing from EOS-MODIs // Journal of Geophisical Resarch, 1998, 103, D24: 31955-31968.