СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

ГОД ОБРАЗОВАНИЯ В СОДРУЖЕСТВЕ НЕЗАВИСИМЫХ ГОСУДАРСТВ

ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ-2016

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ,
АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ **«ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ-2016»**, ПОСВЯЩЁННОЙ ГОДУ ОБРАЗОВАНИЯ В СОДРУЖЕСТВЕ НЕЗАВИСИМЫХ ГОСУДАРСТВ

КРАСНОЯРСК, СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
15-25 АПРЕЛЯ 2016 Г.

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

Сборник материалов Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Проспект Свободный-2016», посвящённой Году образования в Содружестве Независимых Государств

Красноярск, Сибирский федеральный университет, 15-25 апреля 2016 г.

Красноярск, 2016

«Теплоэнергетика и теплотехника»

УДК 62-173

СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ШЛАКОВАНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА ПК – 38 НАЗАРОВСКОЙ ГРЭС

Вертаев И.А., Колесов Д.С.
научный руководитель д-р техн.наук, проф. Бойко Е.А.
Сибирский федеральный университет

Экономичность и надежность работы современных энергетических паровых котлов, работающих на твердом органическом топливе во многом определяется интенсивностью протекания процессов шлакования различных поверхностей нагрева. Негативное воздействие загрязнений приводит к снижению коэффициента полезного действия котельного агрегата и его установленной мощности, уменьшению срока межремонтного периода и увеличению затрат на очистку поверхностей нагрева.

Изучение опыта эксплуатации и ремонтов котла ПК-38 НГРЭС показывает, что 30-40% отказов энергоблоков приходится на долю котлов и котельно-вспомогательного оборудования. В свою очередь главной причиной отказов котлов являются повреждения поверхностей нагрева, из-за которых происходит примерно 50% внеплановых остановов. В год станция работает 8760 часов. Отопительный период в г.Назарово составляет 6036 часов. Из-за отказов оборудования в отопительном периоде ряд энергоблоков станции работает всего 4000 часов. Отсюда следует вывод, что НГРЭС в год теряет порядка 70000 тыс.Гкал тепла и 450000 тыс.кВтч электроэнергии. Потери тепла и электроэнергии оцениваются в десятки миллионов рублей.

Паровой котел ПК-38 прямоточный, П-образной компоновки, с жидким шлакоудалением, рассчитан на сжигание угля Назаровского разреза. На фронтальной части котла установлены четыре прямоточные горелки, для растопки служат четыре мазутные форсунки. В котле ПК-38 используется водяной экономайзер некипящего типа, двухпоточный с расположением коллекторов с правой и левой стороны котла. По ходу газов экономайзер разделен на три пакета. НРЧ изготовлена в виде двухзаходной ленты (*по 30 труб в каждом заходе*). СРЧ является радиационным пароперегревателем первичного пара и выполнена в виде двухзаходной ленты (*по 36 труб в каждом заходе*). ВРЧ состоит из 97 параллельно включенных змеевиков. На выходе из топки в горизонтальный газоход на задней стене топки выполнен аэродинамический выступ, который распределяет газовый поток по всей высоте горизонтального газохода. ШВД расположен в тракте за СРЧ и состоит из 14 ширм в каждой из которых по 27 труб. Промежуточный пароперегреватель низкого давления (*ШНД*) состоит из 22 ширм по 12 труб в каждой ширме. КПП прямоточный, выполнен одноступенчатым по ходу пара и однопакетным по ходу газов. Он состоит из 49 двойных трехниточных змеевиков. ПЗ представляет собой один противоточный пакет и содержит 106 двухниточных змеевиков. ПП-1 находится в конвективной шахте между ВЗП-2 и ПЗ. Пароперегреватель является двухпоточным по пару, по ходу газов ПП-1 разделен на 2 пакета , каждый пакет состоит из 42 четырехниточных змеевиков . Регулирование выходной температуры пара осуществляется двумя впрысками, а промежуточного пара аварийным впрыском. Двухступенчатый, двухпоточный ВЗП-2 состоит из шести кубов, набранных в один ярус. Температура воздуха на выходе из ВЗП-2 составляет 418-452 градуса.

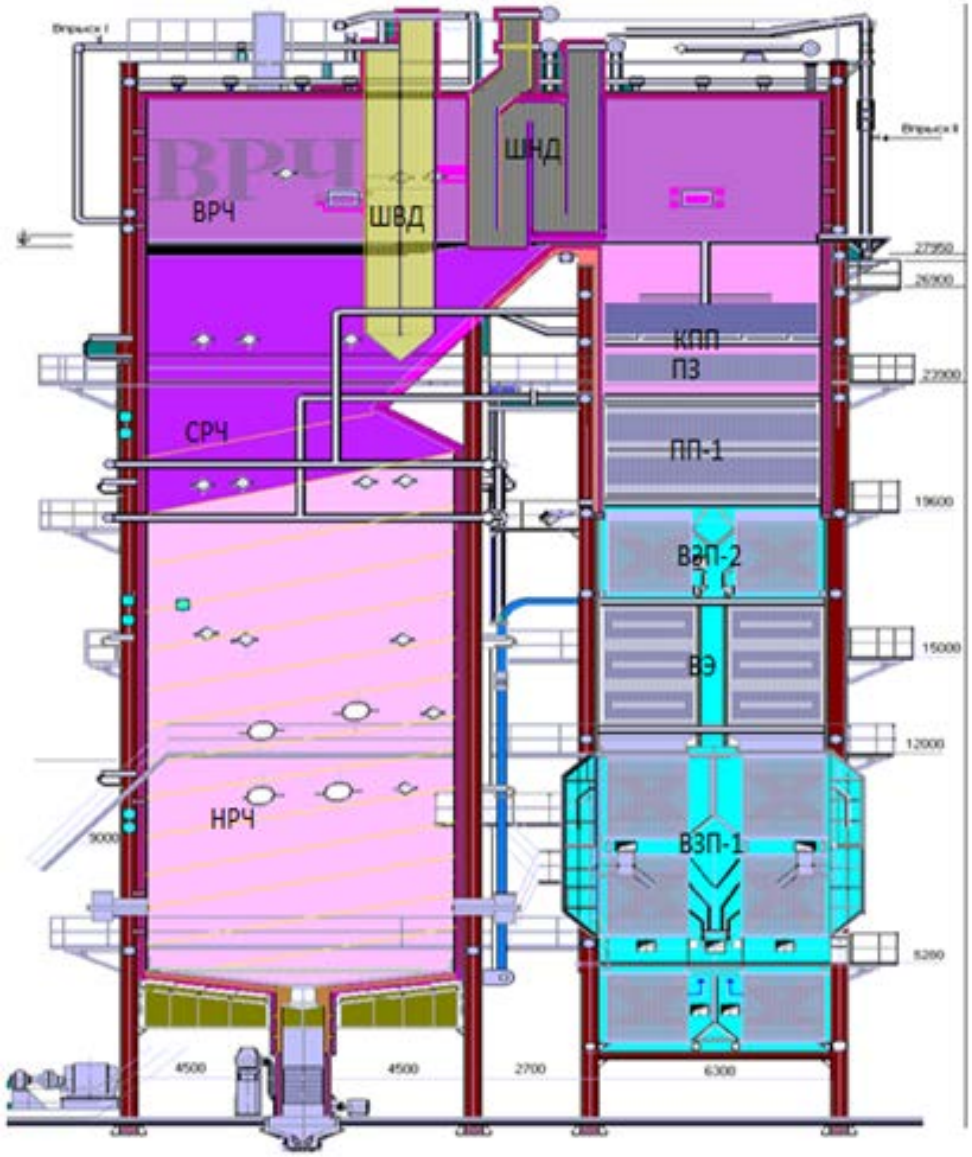


Рис. 1 - Схема котла ПК-38: НРЧ – нижняя радиационная часть; СРЧ – средняя радиационная часть; ВРЧ – верхняя радиационная часть; ШВД – ширмовый пароперегреватель высокого давления; ШНД – ширмовый пароперегреватель низкого давления; КПП-конвективный пароперегреватель; ПЗ – переходная зона; ПП-1 – промежуточный пароперегреватель первой ступни; ВЗП-1, ВЗП-2 – воздухоподогреватели первой и второй ступени.

Выполненный анализ повреждений показывает: для труб ВРЧ котлов характерен выход из строя из-за термо-механической усталости при превышении расчетного ресурса (100 тыс. ч), средняя наработка на отказ составляет 197469 ч. Основной причиной повреждений труб ШПП (ШВД), КПП, как и ВРЧ, является термомеханическая усталость при превышении ресурса. Средняя наработка на отказ для КПП составляет 179026 ч, а для ШПП зафиксирован единственный случай повреждения при наработке 166514 ч. Повреждения труб ШВП (преимущественно ШНД) связаны с работой при длительном перегреве в сочетании с износом тыльных труб паром пушечной обдувки; средняя наработка на отказ составляет 77888 ч. Исходя из результатов анализа, можно сделать вывод о том, что наиболее напряженная ситуация складывается с ширмами ШВП (ШНД), работающих в условиях интенсивной пушечной обдувки.

Интенсивное загрязнение поверхностей нагрева оказывает влияние на снижение номинальной нагрузки, коэффициента полезного действия котельного агрегата, уменьшение срока межремонтного периода и увеличение затрат на расшлаковку поверхностей нагрева.

Внедрение системы технической диагностики поверхностей нагрева 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 с минимальным понижением технико-экономических показателей.

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

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

где H', H'' - энтальпии газов до и после поверхности нагрева, кДж/кг;

$D_{пе}$ – 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.

В качестве характеризующей величины работы системы выбран коэффициент тепловой эффективности - ψ, как наиболее удобный и представительный показатель.

$$\psi = \frac{K_{факт}}{K} \quad (2)$$

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

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

Основной задачей системы является не оценка абсолютной величины коэффициента тепловой эффективности (ψ), а определение динамики изменения данного коэффициента (рисунок 2).Данный алгоритм определяет отклонение $\Delta\psi$ от нормированной величины. Если $\Delta\psi$ больше допустимого значения, 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. Также значения данных параметров будут отображены на блоке управления, тем самым это позволит машинисту следить и выполнять действия по своим решениям.

Ожидаемый результат внедрения системы:

1. Усовершенствование режима эксплуатации обдувочных аппаратов.
2. Увеличение срока служб поверхностей нагрева.
3. Увеличение максимальной нагрузки котлоагрегата до 270 т/ч.
4. Возможность оценить эффективность теплообмена котлоагрегата в режиме реального времени.

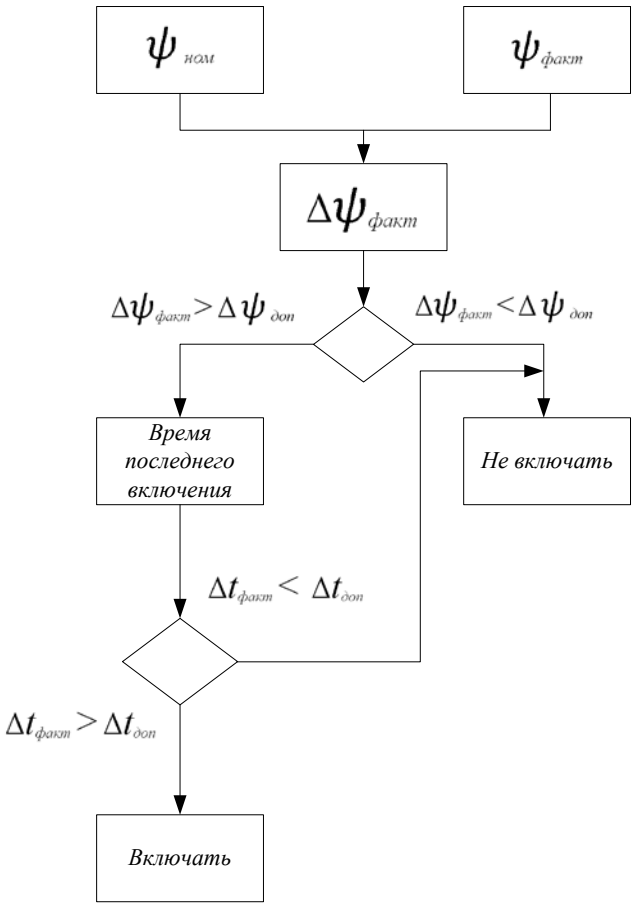


Рис.2 - Алгоритм оптимизации системы очистки поверхностей нагрева

Список литературы

1. Назаровская ГРЭС [электронный ресурс] Режим доступа: http://www.rosteplo.ru

2. Бойко, Е. А. Реакционная способность энергетических углей [Электронный ресурс] : монография / Е. А. Бойко. - Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2011. - 608с.

3. Янов, С. Р. Диагностика шлакования и загрязнения поверхностей нагрева энергетических котлов / В. В. Белый, С. В. Порозов, В. Н. Борисов, С. Р_Янов и др. // Сб.: ГУ-ой Международной научно-технической конференции «Достижения и перспективы развития энергетики Сибири», г. Красноярск: 2005. С. 277-285.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

УДК 66.021.3/4

УВЕЛИЧЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФАЗ В СТРУЙНО-БАРБОТАЖНОМ КОНТАКТНОМ УСТРОЙСТВЕ

Веселов Е.В.
научный руководитель канд. техн. наук Дмитриева О.С.
Казанский государственный энергетический университет

В настоящее время проблема повышения энергоэффективности является одной из наиболее актуальных задач для обеспечения устойчивого инновационного развития экономики России. Согласно статистическим данным Международного экономического агентства (International Energy Agency), главным потребителем энергии в Российской экономике является промышленный сектор [1]. Сравнение России с другими странами по показателю энергоемкости предприятий топливно-энергетического комплекса показывает огромные резервы повышения эффективности использования энергии. Энергоемкость химических, нефтехимических и нефтегазоперерабатывающих производств существенно превосходит аналогичные показатели развитых стран (в основном на 20-60% [2]). В связи с этим снижение энергоемкости промышленных установок предприятий ТЭК является актуальной задачей, решение которой позволит повысить степень энергетической безопасности страны, повысить конкурентоспособность отечественных предприятий и снизить негативное воздействие на окружающую среду [3].

Одним из наиболее эффективных способов энергосбережения является модернизация существующих тепломассообменных аппаратов, которая заключается в использовании современных высокоэффективных контактных устройств. В настоящее время в колонных аппаратах с газо (паро)- жидкостными средами используются контактные устройства как зарубежных, так и отечественных фирм.

Авторами разработано струйно-барботажное контактное устройство для тепломассообменных аппаратов [4], показанное на рисунке 1.

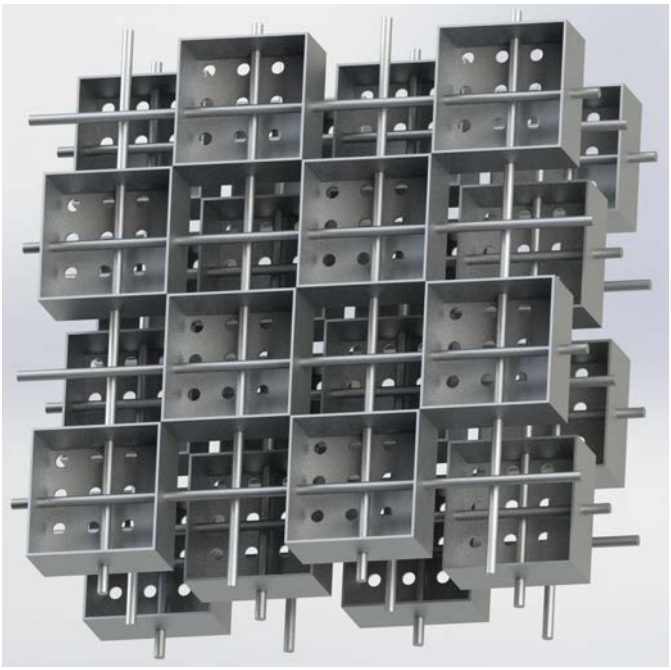


Рис.1 – Струйно-барботажное контактное устройство, вид сверху

Жидкость через отверстия в днище устройства диспергируется в виде струй на расположенную ниже ступень. При этом на ступени поддерживается уровень жидкости за счет наличия вертикальных стенок. Ступень сформирована из коробчатых форм, расположенных горизонтально в шахматном порядке. Причем ниже расположенная ступень имеет смещение коробчатых форм, образуя шахматное их расположение по вертикали. По этой причине, газ, поступающий снизу под ступень, приобретает зигзагообразный характер движения.

При движении струй жидкости происходит их распад с образованием множества капель. Последние, соударяясь о поверхность жидкости, находящейся внутри коробчатых форм, разлетаются в разные стороны брызгами. Таким образом, создается развитая постоянно обновляющаяся поверхность контакта фаз, которая определяется наличием относительно небольших газовых пузырей в слое жидкости и вылетающими каплями с поверхности. Кроме того, восходящий поток газа контактирует с падающими струями или каплями жидкости, при этом образуется вторая зона контакта газа и жидкости. Принимая расстояние между коробчатыми формами на одном уровне, равными их ширине, обеспечивается равнопроточность для прохода газа, что приводит к снижению гидравлического сопротивления предлагаемого струйно-барботажного контактного устройства. Для обеспечения максимальной эффективности тепломассообменных процессов коробчатые формы в поперечном сечении имеют форму квадрата. Таким образом, организация оригинального взаимодействия между газом и жидкостью позволяет интенсифицировать тепло- и массообменные процессы как в жидкой, так и в газовой фазах при относительно простом аппаратурном оформлении.

Цель исследований – определение оптимальных параметров конструкции устройства, т.к. наличие слоя жидкости в коробчатых формах оказывает существенное влияние на работу всей ступени. Для этого в программном комплексе ANSYS моделировались однофазные истечения струй через различные отверстия, выполненные в днище контактных элементов размерами 20×20×15 мм, а двухфазные потоки моделировались на примере системы воздух–вода на контактных элементах размерами 60×60 мм, в днище которых были выполнены 9 отверстий диаметром 4 мм, расположенные по вершинам квадратов коридорного типа, при этом шаг между отверстиями – 15 мм.

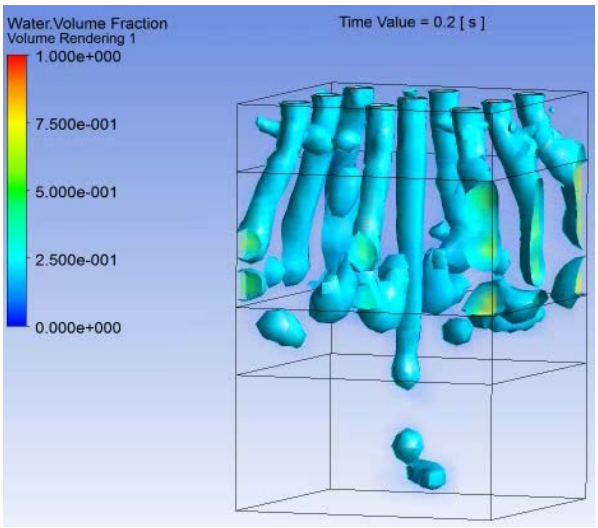


Рис. 2 – Гидрогазодинамика струйно-барботажных контактных элементов при среднерасходной скорости газа 1,5 м/с, расчетное время 0,2 с

Исследования показали (рис. 2), что в центральной части контактного элемента заметного искривления струй не наблюдается. Это связано с тем, что в этой зоне контактного устройства локальные скорости газа близки к нулевым значениям. Отсутствует унос жидкой фазы, а низкое гидравлическое сопротивление позволяет использовать их в аппаратах, работающих под вакуумом и с околоатмосферными давлениями с невысокими энергетическими затратами. Можно достичь максимальной площади поверхности пузырей при выполнении конструкций коробчатых форм с шириной равной 50-100 мм и при равенстве уровня жидкости в них с высотой вертикальной стенки, при этом наблюдается перелив жидкости с верхней ступени на нижнюю.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-60081 мол_а_дк.

Список литературы

1. Яковлев А.С., Барышева Г.А. Энергоэффективность и энергосбережение в России на фоне опыта зарубежных стран. Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321. № 6. С. 25-30.

2. Ясавеев Х.Н., Лаптев А.Г., Фарахов М.И. Модернизация установок переработки углеводородных смесей. Казань: ФЭН, 2004. 307 с.

3. Галеева А.Р., Газизова О.В. Энергоэффективность – основа устойчивого развития экономики страны. Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 8. С. 372-376.

4. Дмитриев А.В., Дмитриева О.С., Мадышев И.Н., Сагдеева Г.С., Николаев А.Н. Патент 156379 РФ, МПК B01D 3/20. Струйно-барботажное контактное устройство для тепломассообменных процессов, № 2015119123/05; заявл. 30.04.2015; опубл. 10.11.2015, Бюл. № 31. 2 с.

УДК 662.933.14

ВНУТРИТОПОЧНАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА УГЛЕЙ– ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА НА СОВРЕМЕННЫХ ТЭС

Запрудский С.Г., Рогов Е.В.
научный руководитель д-р тех.наук, проф. Дубровский В. А
Сибирский федеральный университет

Известно, что из современных технологических способов уменьшения концентрации оксидов азота в дымовых газах на котлах, сжигающих твердое топливо, одним из самых малозатратных и достаточно эффективных является организация ступенчатого сжигания.

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 [1]. 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.

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.

Таким образом, перед энергетиками была поставлена задача организовать способ сжигания углей, сочетающий в себе:

– глубокое связывание оксидов азота;
– полное выгорания топлива;
– снижение шлакования и загрязнения поверхностей нагрева котлов.

Реализовать все эти противоречивые требования в одном топочном устройстве возможно только в результате организации многостадийного сжигания.

Практической реализацией такого способа сжигания явились технологические схемы и устройства по предварительной термической подготовке углей, разработанные в лаборатории кафедры ТЭС «Термическая подготовка канско-ачинских углей» Политехнического института Сибирского федерального университета. Наибольшего внимания, на наш взгляд, заслуживает техническое предложение, основанное на внутритопочной термической подготовке, защищенное патентом на изобретение [3] и представленное на рис. 1.

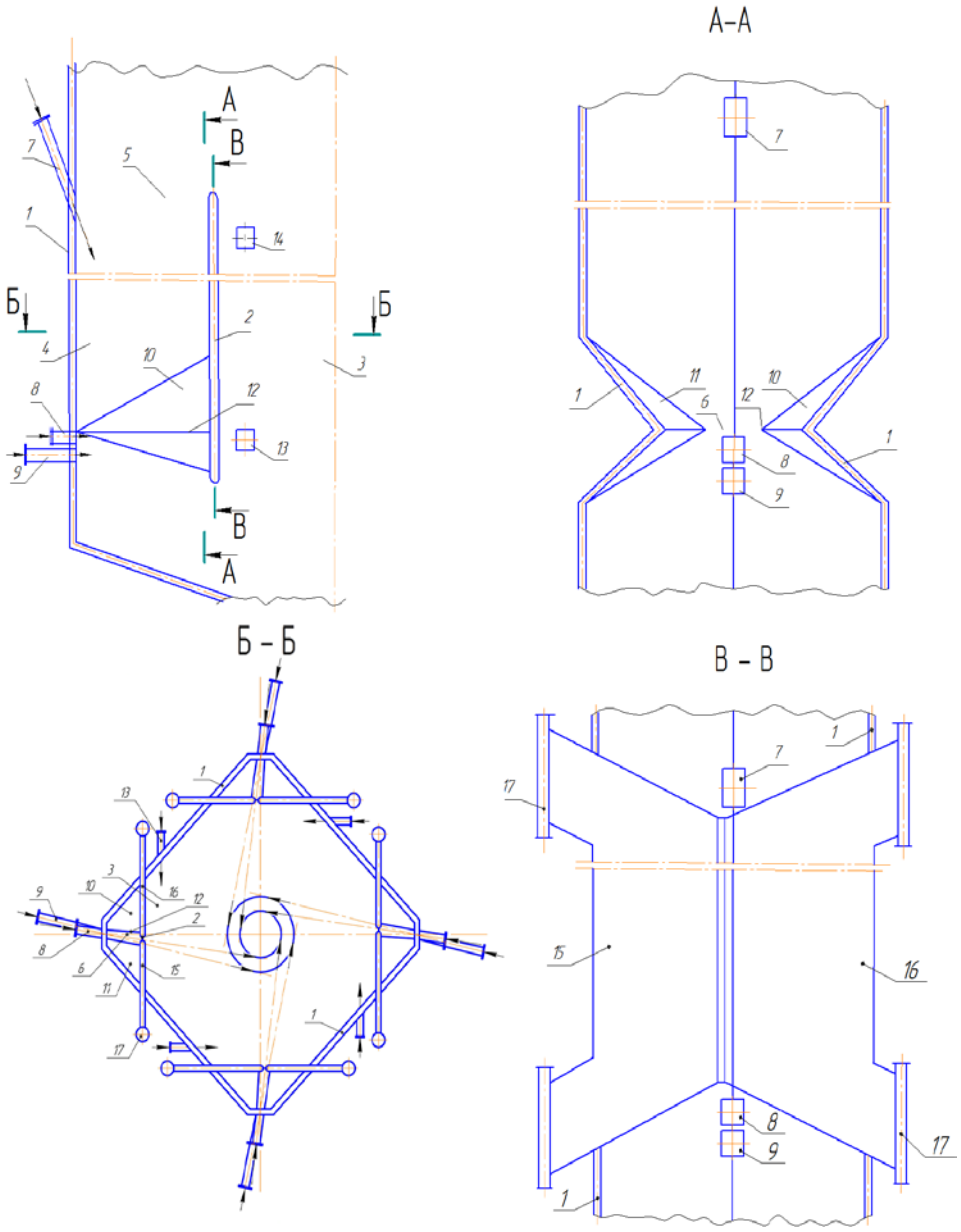


Рис.1 - Топочное устройство с камерами термоподготовки:1 – настенные экраны; 2 – двухсветные экраны; 3, 4 – центральная и периферийная камеры сгорания; 5, 6 – верхние и нижние перепускные окна; 7 – горелки; 8, 9 – воздушные сопла; 10, 11 – скаты; 12 – выступы; 13 – тангенциальные горелки; 14 – воздушные сопла; 15, 16 – вертикальные ширмы; 17 – коллекторы

Первой ступенью сжигания будут служить камеры термической подготовки 4, расположенные в угловых отсеках топки, в которых происходит выделение летучих с частичным выгоранием угольной пыли при коэффициенте избытка воздуха меньше единицы. Установка двух ярусов воздушных сопел под перепускными окнами 6 исключает провал топлива.

Установка вертикальных ширм 15 и 16 двухсветных экранов 2 не требует значительных материальных затрат, так как ширмы заводятся внутрь топки путем разводки или вырезки соответствующих труб настенных экранов 1.

Для существенного увеличения времени пребывания топливных частиц в восстановительной среде и обеспечения более глубокого снижения образования оксидов азота и шлакования топки нами предлагается совместить внутритопочную термическую подготовку топлива с концентрическим сжиганием, который зарекомендовал себя как один из эффективных способов энергетического использования углей [4]. В этом случае часть вторичного воздуха подается через нижние сопла по касательной к большой окружности в центральной части камеры горения. Другая часть вторичного воздуха подается выше, через второй ряд сопел, по касательной к меньшей окружности. При этом основная часть топлива будет сжигаться в центральной части топки. Организация концентрического сжигания увеличивает 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.

Ожидаемыми показателями улучшения работы котла с использованием внутритопочной термической подготовки являются: повышение производительности котла до номинальной; увеличение времени безостановочной работы котла по причине шлакования; увеличение числа часов работы в год до расчётного; сокращение массы выбросов оксидов азота. уменьшение расходов на собственные нужды. Эти эксплуатационные результаты дают возможность улучшить технико-экономические показатели работы котла и снизить издержки производства за счет: увеличения полезного отпуска тепловой и электрической энергии; снижения размера платы за выбросы загрязняющих веществ.

Выводы:

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. 184с.

2. Росляков П.В., Буркова А.В. Способ ступенчатого сжигания органических топлив с восстановлением оксидов азота // Тезисы докладов на всесоюзной конференции по теплообмену в парогенераторах. Новосибирск, 1990 с. 106 – 107.

3. Патент № 2113655 (РФ) F23 C 5/08. Топка котла / В.А. Дубровский, И.С. Деринг, Ж.Л. Евтихов, Е.А. Бойко, С.Г. Козлов, М.С. Пронин, А.А. Дегтярев, А.М. Ковалевский. Опубл. 10.02.98. Бюлл. № 17.

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

УДК 620.97

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗА СЧЕТ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА

Карабарин Д.И.
научный руководитель д-р техн. наук, проф. Михайленко С.А.
Сибирский федеральный университет

В связи с постоянным ростом выработки электрической и тепловой энергии а также во исполнение Постановления Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. № 321 “Об утверждении государственной программы Российской Федерации “Энергоэффективность и развитие энергетики” остро встает вопрос рационального использования любой энергии. В настоящее время открытым стоит вопрос а рациональном использовании низкопотенциального сбросного тепла. Принято считать, что источник энергии является низкопотенциальным, если его температура не превышает 230°С. Выбор рационального способа использования тепла позволило бы сократить издержки на собственные нужды в энергетике, машиностроении, металлургии, многих технологических процессах и т.д.

Сегодня на рынке имеется ряд технологий позволявших получать полезную электрическую энергию при утилизации низкопотенциального тепла, которые нашли применение в зарубежной энергетике. Среди них можно выделить Органический цикл Ренкина, цикл Калины, машина Стирлинга, цикл Брайтона, элементы Пельтье, Микро газовые турбины.

Цикл Ренкина

Принципиальная схема цикла Ренкина представленна на рисунке 1 и содержит испаритель, турбина, генератор, конденсатор, питательный насос. Тепло от источника тепла подается в испаритель где греет рабочее тело. Насос закачивает рабочее тело в жидком состоянии в испаритель, где при высоком давлении оно испаряется, далее пар попадает в турбину, в которой, расширяясь, совершает работу. Вал турбины вращается и приводит в действие электрогенератор. Отработанный пар охлаждается, и рабочее тело конденсируется. Далее вещество в жидком состоянии попадает в насос и цикл замыкается. В обычном цикле Ренкина рабочим телом является вода, в органическом рабочим телом является органическое соединение (фреон). Основная причина замены рабочего тела более низкая температура кипения органического теплоносителя по сравнению с водой. В таблице 1 приведены производители с рабочими параметрами установок .

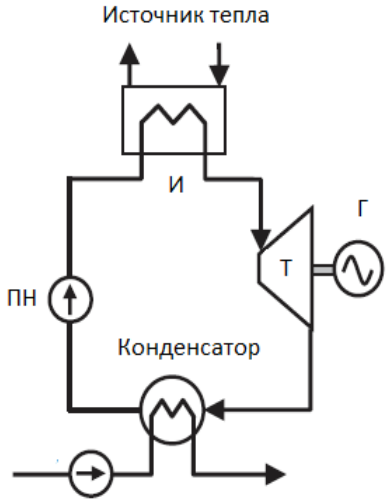


Рис.1 – Схема ОЦР

Таблица 1 Показатели эффективности ОЦР

Производитель/Страна	Рабочее тело	Диапазон мощности, МВт	Температура источника тепла	КПД	Ссылка
Turboden/Италия	Пентан	0.4–2.2	>250	17-23%	1
Ormat/США	R245fa	0.20–0.22, 0.002-0.004	150–300	10-15%	2
Pratt & Whitney Power Systems/United States	Пропан	0.22–0.26	91–149	12-14%	3
FREEPOWER/England	Пар-Бутан	0.12	>110	13%	4
Infinity Turbine/United States	R134a, R245fa	0.01–0.05, 0.25	<90, 90–120	10%,15 %	5
Maxxtec-Adoratec/Germany	OMTS	0.3–1.6	>300	18-20%	6
Barber Nichols/United States	OMTS	0.7, 2.0, 2.7	>115	13-15%	7
GMK/Germany	GL-160, WL-220	0.5, 2.0	>100	14-15%	8
LTi REEnergy/Germany	WL-220	0.03	>160	16-20%	9
TRI-O-GEN/Nederland	Toluene	0.06, 0.16	>350	22%	10
Eneftech/Switzerland	R245fa	0.005, 0.010 0.020, 0.030	>120 <200	13-15% 17-21%	11
Electratherm/United States	R245f	0.03–0.05	>88	9-13%	12
GE Power & Water/United States	R245fa	0.12	>115 <240	14-17% 16-20%	13
TransPacific Energy/United States	TPE	0.10–5.0	>30 <480	3-8% 20-29%	14

Термоэлектрические генераторы (элементы Пельтье)

В основе работы элементов Пельтье лежит контакт двух токопроводящих материалов с разными уровнями энергии электронов в зоне проводимости. При протекании тока через контакт таких материалов, электрон должен приобрести

энергию, чтобы перейти в более высокоэнергетическую зону проводимости другого полупроводника. При поглощении этой энергии происходит охлаждение места контакта полупроводников. При протекании тока в обратном направлении происходит нагревание места контакта полупроводников, дополнительно к обычному тепловому эффекту.

При контакте металлов эффект Пельтье настолько мал, что незаметен на фоне омического нагрева и явлений теплопроводности. Поэтому при практическом применении используется контакт двух полупроводников.КПД нано-кристалических элементов Пельтье достигает 5-8 % [15]

Цикл Калины

Простейшая схема установки цикла Калины представлена на рисунке 2, которая 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..Показатели эффективности цикла Калины представлены в таблице 2.

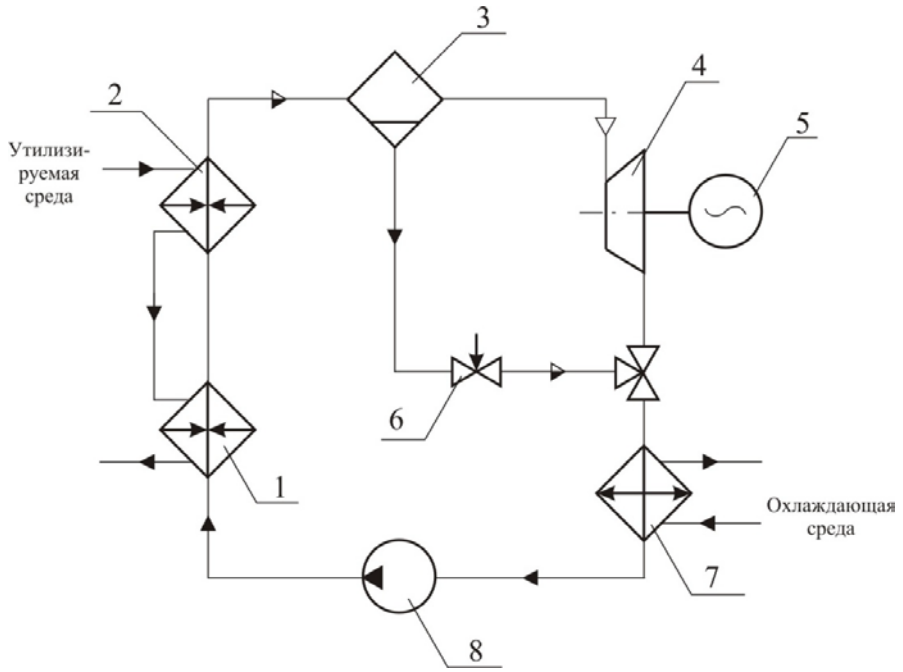


Рис.2 – Схема цикла Калины

Таблица 2 Показатели эффективности Цикла Калины

Параметры на входе в турбину	КПД	Ссылка
90 ˚С, 40 бар, X=0.95	8.7 %	16
108.8 ˚С, 28 бар, X=0.885	10,6 %	17
130 ˚С , 50 бар, X=0.84	18%	18
132.6 ˚С , 40 бар, X=0.8	9%	19
91 ˚С , 25 бар, X=0.8	7%	20

Цикл Брайтона

Цикл Брайтона/Джоуля — термодинамический цикл, описывающий рабочие процессы газотурбинного, турбореактивного и прямоточного воздушно-реактивного двигателей внутреннего сгорания, а также газотурбинных двигателей внешнего сгорания с замкнутым контуром газообразного (однофазного) рабочего тела. Идеальный цикл Брайтона представлен на рисунке 3 и состоит из процессов: 1—2 Изоэнтропическое сжатие, 2—3 Изобарический подвод теплоты, 3—4 Изоэнтропическое расширение, 4—1 Изобарический отвод теплоты. КПД цикла Брайтона сильно зависит от давления после компрессора и для диапазона температур 200 – 300 ˚С составляет 10-15 %, при работе на воздухе.

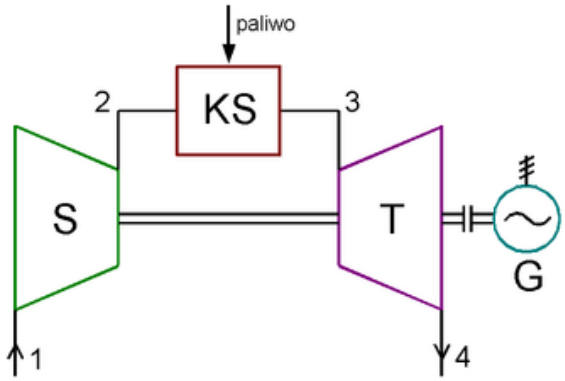


Рис.3 – Схема цикла Брайтона

Вывод

- Для утилизации низкопотенциального тепла среди перечесленных целесообразно использовать Органический цикл Ренкина.
- Выбор рабочего тела для использования в ОЦР должен быть произведен с условиями наибольшей эффективности и наименьшего давления в насосе, что целесообразно рассмотреть отдельно.
- Для выбора конкретного способа утилизации тепла должен быть произведён анализ на конкретные начальные параметры.

Список литературы

1.Clean energy ahead Turboden A Pratt &Whitney Power Systems. Brescia,Italy. Дата обращения 30.03.16.

2.Ormat Technologies, Inc. Reno, United States. Дата обращения 30.03.16

3.Pratt & Whitney Power Systems. A United Technologies Company. East Hartford, United States. Дата обращения 30.03.16

4.Freepower Company. Wiltshire, England. Дата обращения 30.03.16

5.Global Energy and Infinity Turbine LLC. Madison, United States. Дата обращения 30.03.16

6.Maxxtec AG. Sinsheim, Germany. Дата обращения 30.03.16

7.Barber-Nichols Inc. Arvada, United States. Дата обращения 30.03.16

8.GMK – Gesellschaft für Motoren und Kraftanlagen mbH. Bargeshagen, Germany. Дата обращения 30.03.16.

9.LTi REEnergy GmbH. Unna, Germany. Дата обращения 30.03.16

10.Tri-O-Gen B.V. Goor, Nederland. Дата обращения 30.03.16

11.Eneftech Innovation SA. Nyon, Switzerland. Дата обращения 30.03.16

12.ElectraTherm, Inc. Nevada, United States. Дата обращения 30.03.16

13.GE Power & Water Heat Recovery Solutions. Stuart, United States Дата обращения 30.03.16

14.TransPacific Energy, Inc. Carson City, United States. Дата обращения 30.03.16

15.Saidur R, Rezaei M, Muzammil WK, Hassan MH, Paria S, Hasanuzzaman M. Technologies to recover exhaust heat from internal combustion engines. Renew Sustain Energy Rev 2012;16:5649–59

16. Hettiarachchi HM, Golubovic M, Worek WM, Ikegami Y. The performance of the Kalina cycle system 11 (KCS-11) with low-temperature heat sources. J Energy Res Technol 2007;129(3):243–7.

17. Guzovic´ Z, Lonc˘ar D, Ferdelji N. Possibilities of electricity generation in the Republic of Croatia by means of geothermal energy. Energy 2010;35 (8):3429–40.

18. Rodríguez CEC, Palacio JCE, Venturini OJ, Lora EES, Cobas VM, dos Santos DM, et al. Exergetic and economic comparison of ORC and Kalina cycle for low temperature enhanced geothermal system in Brazil. Appl Therm Eng 2013;52 (1):109–19.

19. Singh OK, Kaushik S. Energy and exergy analysis and optimization of Kalina cycle coupled with a coal fired steam power plant. Appl Therm Eng 2013;51 (1):787–800.

20. Li S, Dai Y. Thermo-economic comparison of Kalina and CO2 transcritical power cycle for low temperature geothermal sources in China. Appl Therm Eng 2014;70(1):139–52.

21. S.C. Kaushika, V. Siva Reddya,∗, S.K. Tyagi. Energy and exergy analyses of thermal power plants: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2011;15:1857–1872

УДК 62-173

СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРОЦЕССОВ ШЛАКОВАНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА П-49

Колесов Д.С., Вертаев И.А.
научный руководитель д-р техн. наук, проф. Бойко Е.А.
Сибирский федеральный университет

Одной из основных причин аварийных остановов котельного агрегата П-49 Назаровской ГРЭС 7- ого энергоблока является низкая надёжность работы топочных экранов и конвективных поверхностей нагрева, вследствие их интенсивного шлакования и загрязнения. Это вызвано жёсткими температурными условиями работы поверхностей нагрева.

Котел П-49 сверхкритического давления прямоточного типа с однократным промежуточным перегревом пара, состоит из двух корпусов с трехходовой компоновкой, работающих независимо друг от друга, изображён на рисунке 1.

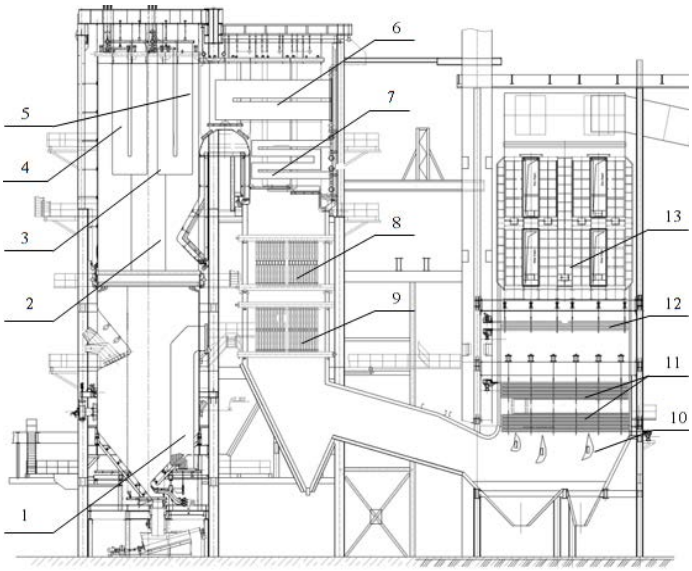


Рис.1 - Общий вид котельного агрегата П-49:1- ШНРЧ - ширмы НРЧ; 2 – НРЧ (газоплотное исполнение); 3 – СРЧ (гладкотрубное исполнение); 4 – ШПП 1 - ширмовый первичный пароперегреватель 1-й ступени; 5 – ШПП 2, 3 - ширмовые первичные пароперегреватели 2-й и 3-й ступеней; 6 – ШПП 4, 5 - ширмовые первичные пароперегреватели 4-й и 5-й ступеней; 7 – ШВП 3 - ширмовый вторичный пароперегреватель 3-й ступени; 8 – ШВП 2 - ширмовый вторичный пароперегреватель 2-й ступени; 9 – ШВП 1 - ширмовый вторичный пароперегреватель 1-й ступени; 10 – вставки выравнивающие; 11 – ЭК ВД - экономайзер высокого давления; 12 – ЭК НД - экономайзер низкого давления; 13 – ТВП - трубчатый воздухоподогреватель

Нижняя часть топки (НРЧ) экранирована газоплотными панелями НРЧ, состоящими из труб Ø32×6 12Х1МФ с вваркой полосы между ними. Шаг труб в панелях составляет 48 мм. В нижней части топки фронтовой и задний экраны НРЧ образуют скаты «холодной» воронки, формируя устье для выхода шлака из топки и подачи третичного воздуха через систему нижнего дутья. В средней части топки

панели фронтовой стены НРЧ образуют аэродинамический выступ. Он предназначен для формирования вихревой зоны топки. Внутри вихревой зоны топки установлены 10 внутритопочных ширм Г-образной формы, перпендикулярно заднему экрану, каждая ширма представляет собой сварную панель из 40 труб Ø32х6 12Х1МФ, шаг 48 мм. Ширмы устанавливаются между панелями заднего экрана НРЧ. В средней части топки панели заднего экрана СРЧ образуют аэродинамический выступ предназначенный для улучшения аэродинамики газового потока на выходе из топки. Фронтовая стена топки над НРЧ и потолок над топкой экранированы 8 негазоплотными панелями ВРЧ состоящими из труб Ø32х6 12Х1МФ, шаг туб в панелях 38 мм. Задний экран СРЧ оперт на дополнительные металлоконструкции, которые в свою очередь закреплены на каркасе котла и расширяется вниз в топке и опускном газоходе. Боковые экраны СРЧ и фронтовой экран ВРЧ подвешены к каркасу и металлоконструкциям потолочного перекрытия и расширяются вниз. Топка оснащена необходимым количеством смотровых лючков, в нижней и средней частях топки на боковых стенах расположены ремонтные лазы.

Для очистки от золовых и шлаковых отложений поверхностей нагрева котла применяются аппараты водяной и паровой очистки. Глубоковыдвижные аппараты PS-LL установлены на боковых стенах топки между рядами ширм (рис. 2). Для очистки экранов топки каждого корпуса применяется 10 дальнобойных водных пушек WLB-CB100. Для очистки ширм первичного пароперегревателя 1,2 и 3ступеней и топочных экранов верхней части топки предусмотрена установка 4-х глубоко выдвижных паровых обдувочных аппаратов PS-LL длиной 11,500 мм и 10-и паровых пушек V92.

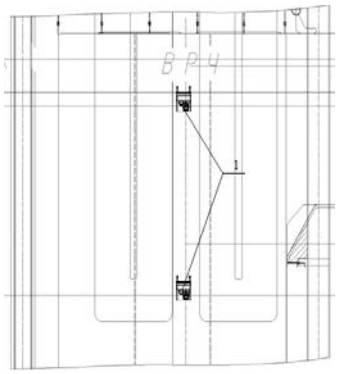


Рис.2 - Схема установки глубоковыдвижных аппаратов паровой обдувки.1 – глубоковыдвижной аппарат паровой обдувки

Целью работы является разработка проектных, прогнозных и управленческих решений для обеспечения тепловой эффективности и эксплуатационной надежности топочных экранов и конвективных поверхностей нагрева пылеугольного котла П-49 Назаровской ГРЭС. Необходимо правильное применение системы технической диагностики для эффективной очистки поверхностей нагрева.

В качестве базового показателя эффективности теплообмена выбран коэффициент тепловой эффективности – ψ в силу нормируемости и безразмерности данного параметра. Оценка коэффициента тепловой эффективности произвольной поверхности нагрева осуществляется по соотношению:

$$\psi = \frac{K_\phi}{K} \qquad (1)$$

Кф- фактический коэффициент теплопередачи реальной поверхности нагрева, кВт/(м2·°С); К- коэффициент теплопередачи для чистой поверхности (без учета коэффициента загрязнения), кВт/(м2·°С).

Фактический коэффициент теплопередачи в свою очередь для произвольно взятой поверхности нагрева определяется по уравнению:

$$\psi = \frac{Q_\phi B_p}{F \Delta t} \qquad (2)$$

где F – площадь поверхности теплообмена, м2; Δt – среднелогарифмический температурный напор, °С; факт Q – фактическое тепловосприятие поверхности нагрева, кДж/кг; Bp – расчетный расход топлива, кг/с.

Для нахождения величины фактического тепловосприятия поверхности нагрева используется уравнение теплового баланса:

$$Q_\phi = \phi(H' - H'') - Q_{доп} = \frac{D_{пе}}{Bp}(h' - h'') - Q_л \qquad (3)$$

где H', H'' – энтальпии газов до и после поверхности нагрева, кДж/кг; D *пе* – расход рабочей среды, кг/с; h' , h'' – энтальпии рабочей среды до и после поверхности нагрева, кДж/кг; Qдоп – тепловосприятие дополнительных (прилегающих) поверхностей; Qл – тепловосприятие поверхности нагрева излучением; ф – коэффициент сохранения тепла.

Определение значений температурного напора (Δt , °С) и фактического тепловосприятия поверхности нагрева (Q факт , кДж/кг) осуществляется путем решения системы нелинейных балансовых уравнений при известных температурах теплоносителей, участвующих в теплообмене, как на входе, так и на выходе из каждой анализируемой поверхности, измеряемых системой штатного контроля котла (рис. 3). В виде примера на рисунке 3 представлена измерительная схема для оценки эффективности теплообмена поверхностей нагрева на примере прямоточного котла.

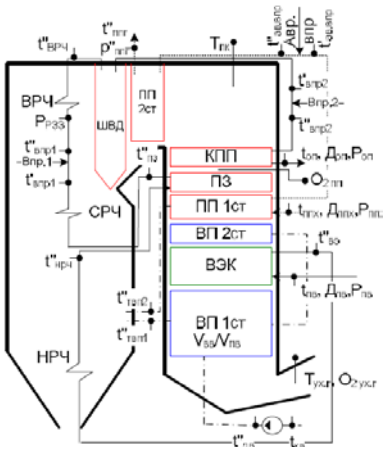


Рис.3 - Схема измерений для определения коэффициентов тепловой эффективности поверхностей нагрева на примере прямоточного котла

Особенностью методики алгоритма оценки коэффициента теплопередачи для чистой поверхности нагрева (К, кВт/(м2·°С) является его нахождение с учетом реальных эксплуатационных параметров работы котла, определяемых в режиме реального времени и характеристик сжигаемого топлива.

На основе алгоритма применяется программное обеспечение, используемое в дальнейшем для проведения экспериментально-расчетных исследований и

позволяющее оценить изменения коэффициента тепловой эффективности как поверхности в целом (рис. 4), так и отдельных ее элементов (рис. 5) в зависимости от качества топлива, режимных параметров, очистки, состояния и состава вспомогательного оборудования парового котла.

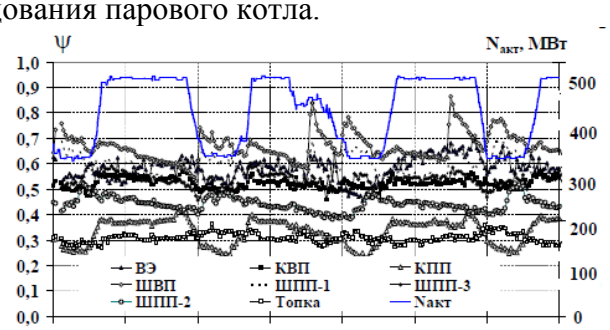


Рис.4 - Изменения коэффициентов тепловой эффективности полурадиационных и конвективных поверхностей нагрева котла П-49 Назаровской ГРЭС

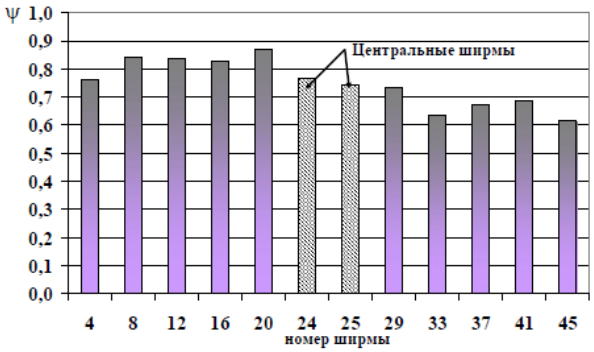


Рис.5 - Значение коэффициентов тепловой эффективности отдельных ширм вторичного пароперегревателя (ШВП) П-49 Назаровской ГРЭС

Система диагностики состоит из двух модулей – основного и вспомогательного. Основной модуль выполняет функцию определения величины ψ, оценку динамики изменения ψ(τ) во времени и выявляет причины изменения ψ в процессе работы котла для каждой поверхности нагрева. Вспомогательный модуль отвечает за определение оптимального времени включения средств очистки каждой поверхности нагрева котла. Предложено включение аппаратов очистки осуществлять не по абсолютной величине ψ, как это происходит в большинстве существующих систем диагностики, а по значению относительного изменения коэффициента тепловой эффективности в процессе эксплуатации δψ(τ). Принятие оперативных решений системой технической диагностики основано на использовании наиболее характерных значений коэффициентов тепловой эффективности всех поверхностей нагрева котла, определяющих эффективность их очистки: ψ_{min} – минимальное значение тепловой эффективности за контрольный межобдувочный ($T_{обд}$) период до проведения обдувки; ψ_{max} – максимальное значение тепловой эффективности поверхности за контрольный межобдувочный период после проведения обдувки; ψ_{min2} – минимальное значение тепловой эффективности за контрольный межобдувочный период после проведения обдувки (рис. 6).

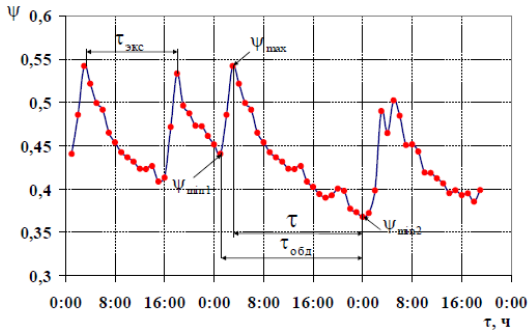


Рис.6 - Динамика изменения ψ поверхности ширмового первичного пароперегревателя второй ступени (ШПП-2) котла П-49 Назаровской ГРЭС в режиме реального времени

Включение средств очистки происходит в том случае, если δψ(τ) достигает предельного минимального значения $\delta\psi_{\min}^{\lim} = \frac{\psi_{\min 2}}{\psi_{\max}}$.

Если при очистке поверхности нагрева используется несколько обдувочных аппаратов, система определяет режим работы каждого из них. Критерием определения режима работы каждого аппарата является величина предельного максимума эффекта очистки $\delta\psi_{\max}^{\lim} = \frac{\psi_{\min 1}}{\psi_{\max}}$. Включение аппаратов очистки производится в определенной последовательности, которая устанавливается эмпирическим путем. Величины $\delta\psi_{\min}^{\lim}$, $\delta\psi_{\max}^{\lim}$ определяются индивидуально опытным путем для каждой поверхности нагрева по результатам испытаний и наладки котла и зависят от конструктивных характеристик поверхности нагрева, вида сжигаемого топлива и типа средств очистки.

Применяемая методика прогноза процесса шлакования и алгоритм использования средств очистки топочных экранов и конвективных поверхностей нагрева от наружных отложений в режиме реального времени при различных режимах работы котла. Основанные на анализе данных оперативного контроля показателей тепловой эффективности до и после использования обдувочных аппаратов позволяет повысить надежность и экономичность эксплуатации котла, а также эффективность применяемых средств очистки.

Список литературы

1.Назаровская ГРЭС [электронный ресурс] Режим доступа: http://www.rosteplo.ru

2.Бойко Е.А. Котельные установки и парогенераторы. Учебное пособие. ФАО РФ ГОУВПО КГТУ 2005.

3.Бойко, Е. А. Котельные установки и парогенераторы (конструкционные характеристики энергетических котельных агрегатов): Учебное пособие / Е. А. Бойко, Т. И. Охорзина. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. – 228 с.

4. Янов С.Р. Обоснование применения экспериментально- расчётного подхода к оценке тепловой эффективности полурадиационных и конвективных поверхностей нагрева котельных агрегатов / Е.А. Бойко, С.Р. Янов // Журнал Известия высших учебных заведений “Проблемы энергетики”. №11-12. 2008. С. 3-12

5. Янов, С. Р. Диагностика шлакования и загрязнения поверхностей нагрева энергетических котлов / В. В. Белый, С. В. Порозов, В. Н. Борисов, С. Р.Янов и др. //Сб.: IV-ой Международной научно-технической конференции «Достижения и перспективы развития энергетики Сибири». г. Красноярск: 2005. С. 277–285.

УДК 536.46:532.517.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКЕЛЬНОГО ГОРЕНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В КОТЛАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

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

Водоугольное топливо (ВУТ) является одним из эффективных заменителей угля, жидких топлив и природного газа. По расчетам, при замене мазута на ВУТ стоимость тепла снижается в 3 раза [1]. К настоящему времени технология приготовления и использования ВУТ достигла уровня промышленного внедрения [2]. Вместе с тем большое количество воды, наличие минеральных компонентов в частицах крупностью 100 - 500 мкм и сравнительно невысокая низшая теплота сгорания — 12–17 МДж/кг требуют определенных условий для надежного воспламенения, устойчивого и эффективного горения ВУТ в топках [3]. Одним из перспективных решений данной проблемы может служить разработка сотрудников ИТ СО РАН основанная на модернизации существующих слоевых котлов (типа ДКВР и КЕ) на факельное сжигание ВУТ [4]. Основной задачей при переводы котлов на непроектное топливо является поиск оптимальных режимов работы топочной камеры.

Использование математического моделирования при изучении процессов горения ВУТ позволяет достаточно быстро и эффективно находит решения ряда проблем, которые возникают при сжигании ВУТ. В данной работе представлены некоторые результаты использования численного моделирования по оптимизации горения ВУТ в топочной камере.

Для расчетов была выбрана математическая модель, которая включала в себя: описание движение несущей фазы на основе *RANS* подхода с двухпараметрической моделью турбулентности *k-ε*, перенос излучения на основе дискретно-ординатного метода, движение частиц на основе подхода Лагранжа, горение в газовой фазе на основе модели *eddy-dissipation concept*. ВУТ представляется дискретным набором частиц, которые состоят из комплекса вода+уголь. Под водой подразумевается внешняя влага, которая добавляется при изготовлении ВУТ. Внутренняя влага, определяемая при техническом анализе топлива, входит в состав топлива. Процесс воспламенения и горения частицы происходит стадийно. Вначале испаряется внешняя влага. При испарении влаги используется модель испарения капель. После испарения влаги происходит распад частицы. Образовавшиеся после распада частицы выгорают по модели воспламенения и горения частицы угля. По данной модели происходит прогрев частицы, выход внутренней влаги и летучих компонент топлива, горение кокосового остатка. Летучие компоненты выгорают в газовой фазе. В процессе выгорания угольной частицы происходит уменьшение ее массы и диаметра, плотность частицы остается постоянной.

Для численного исследования процесса горения ВУТ в топочной камере был взят Кузнецкий(Д) уголь, технический состав данного угля предоставлен в таблице 1. Доля воды составляет 40% (масс.) от общей массы частицы. Теплотехнические параметры для расхода ВУТ 1500 кг/час приведены в Таблице 2. Геометрия топочной камеры представлена на рисунке 1. Топка футерована шамотным кирпичом толщиной 250 мм.

При моделировании предполагалось, что нижняя часть топочной камеры заполнена золовыми отложениями, в связи с этим сеточная модель имела вид представленный на рисунке 2. Численные исследования были направлены на изучение

стабильности горения в топочной камере в зависимости от расхода топлива, влияния геометрических факторов, теплотехнических параметров.

Таблица 1 - Технический и элементный состав Кузнецкого(Д) угля

Технический и элементный состав, %							МДж/кг
W^r	A^r	V^{daf}	C^r	H^r	S^r	N^r	Q^r
12.0	13.2	30.2	58.7	4.2	0.3	1.9	22.835 МДж/кг

Таблица 2 - Теплотехнические параметры

Расход топлива	1500 кг/ч
Расход воздуха	6480 $нм^3$/ч
Температура вторичного воздуха	25 ºС
Температура первичного воздуха	25 ºС
Коэффициент избытка воздуха	1.2
теоретическое количество воздуха на 1 кг. угля (Кузнецкий)	6.0 $м^3$/кг

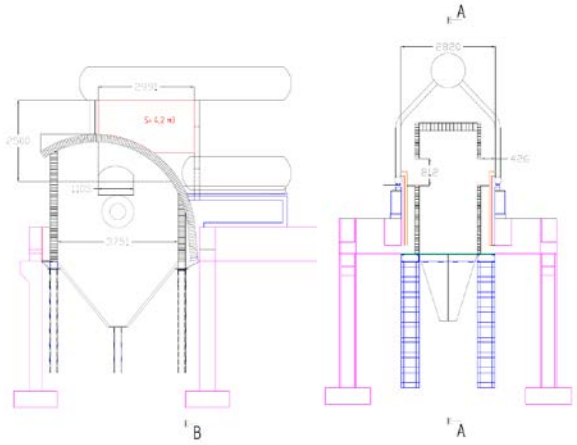


Рис.1 – Геометрия топочной камеры

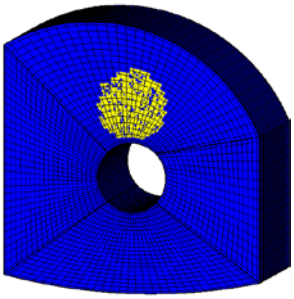


Рис.2 - Сеточная модель топочной камеры

На рисунке 3 представлены результаты расчетов для вариантов с 1-м воздушным соплом и 2-мя воздушными соплами. При подаче воздуха только через верхнее сопло наблюдается образование устойчивого закрученного течения вокруг центрального тела. Вследствие этого частицы топлива достаточно долго находятся в топочной камере, что позволяет достичь наиболее полного выгорания топлива. Тепло выделяющееся при

сгорании равномерно распределяется по объему. Можно сделать предположение, что данная структура течения способствует хорошему выгоранию ВУТ.

Как видно из рисунка 4, при подаче воздуха через 2 сопла расположенные в верхней и нижней части топочной камеры, возникает циркуляционное движение в верхней части топочной камеры, что приводит к выгоранию частиц ВУТ в основном в верхней части топочной камеры и к значительному механическому недожогу топлива.

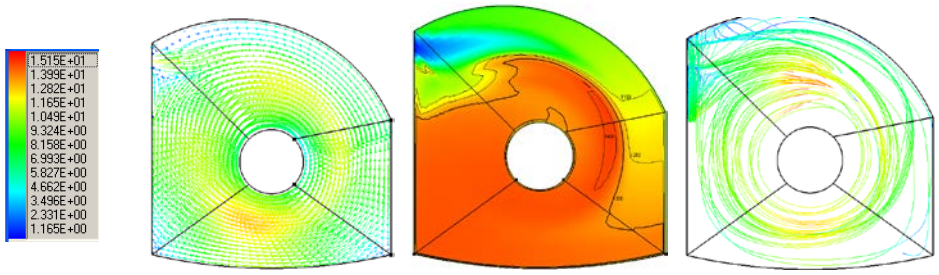


Рис.3 – Результаты расчета с 1 щелевым соплом и расходом топлива G=1500кг/час, а) векторное поле скорости в центральном сечении; б) поле температур в центральном сечении б) траектория движения водоугольных частиц

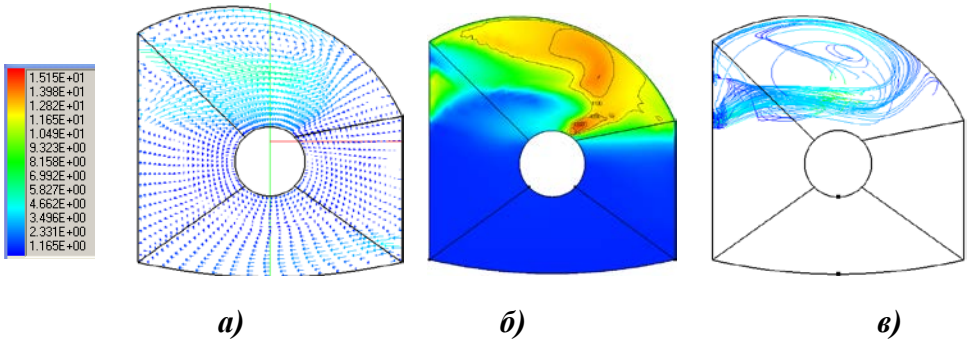


Рис.4 – Результаты расчета с 2 щелевыми соплами и расходом топлива G=1500кг/час, а) векторное поле скорости в центральном сечении; б) поле температур в центральном сечении б) траектория движения водоугольных частиц

Были выполнены расчеты для расходов ВУТ 1500 кг/час, 1300 кг/час, 1100 кг/час, 900 кг/час, 700 кг/час, 500 кг/час. Для данных вариантов коэффициент избытка воздуха оставался постоянным и равным α=1.2. Количество воздуха, подаваемого через форсунки вместе с ВУТ – 650 $м^3$/час и оставалось неизменным для выше приведенных расходов топлива. Как показали расчеты, при уменьшении расхода топлива с 1500 кг/час до 1100 кг/час в топочной камере наблюдается устойчивая аэродинамическая структура течения с образованием вихря вокруг центрального тела. Это позволяет достаточно эффективно сжигать ВУТ. Результаты расчетов для вариантов с расходом топлива 900 кг/час, 700 кг/час и 500 кг/час показали, что снижение расхода до 900 кг/час и ниже приводит к изменению картины течения в топочной камере. В верхней части камеры наблюдается циркуляционное движение и отсутствует вращение факела вокруг центрального тела. Наблюдается очень сильная неравномерность распределения

температур в топочном объеме. Значительно увеличивается механический недожог топлива.

Анализ результатов расчетов позволяет сделать вывод, что при уменьшении расхода топлива и соответственно уменьшения расхода вторичного воздуха (при сохранении постоянного расхода воздуха из форсунок) наблюдается увеличение расстояния, на котором происходит возгорания топливных частиц. Это приводит к тому, что частицы обладая достаточно большой скоростью на выходе из форсунки, достигают верхней стенки топочной камеры. При этом в данной области наблюдается интенсивное горение, что способствует формированию возвратного течения.

В связи с этим были проведены дополнительные численные исследования, суть которых заключалась в изменении количества воздуха, подаваемого через форсунки и воздушное сопло. Как показали расчеты, для расхода топлива 900 кг/час, при уменьшении воздуха, подаваемого из форсунки наблюдается устойчивый режим горения ВУТ с образованием центрального вихря. При дальнейшем уменьшении расхода топлива не удается получить стабильный режим горения с сохранением достаточных скоростей из форсунки для эффективного распыла топлива.

Также были рассмотрены варианты с уменьшением площади воздушного сопла, что приводит к увеличению скорости воздуха из сопла. Результаты расчетов показали, что при расходе топлива 900 кг/час и 700 кг/час уменьшение площади сопла на 25% приводит к формированию центрального вихревого течения. При расходе топлива 500 кг/час уменьшение площади на 25% и 50% не привело к образованию центрального вихря, который является основополагающим для эффективного сжигания ВУТ в представленной модельной топочной камере. И только уменьшение площади сопла на 75% приводит к формированию центрального вихревого течения.

Выводы:

1. Численное исследование показало, что при сжигании ВУТ в модельной топочной камере, использование одного воздушного сопла обеспечивает более эффективный процесс сжигания ВУТ.

2. Исследование влияния количества воздуха, подаваемого из форсунок и площади воздушного сопла на аэродинамику и процессы горения в модельной топочной камере показали, что улучшение выгорания топлива и стабилизации горения можно добиться при определенном соотношении между импульсом вносимым воздухом через воздушное сопло и воздухом подаваемого вместе с ВУТ через форсунки. При этом данное соотношение зависит от расхода ВУТ.

Список литературы

1.Ходаков, Г.С. Суспензионное угольное топливо (современный этап исследований, технологий и промышленной реализации), Изв. Акад. Наук. Энергетика – 2000. – №2. – С. 104–119.

2. Зайденварг В.Е и др.. , Производство и использование водоугольного топлива. - М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. ISBN

3. Трубецкой К.Н и др.., 2008, Водоугольное топливо – результаты разработки и перспективы применения в России, Ж. Теплоэнергетика. № 5. 2008. С.49-52. ИФ РИНЦ 0,41

4. Алексеенко С.В. и др. 2009. Опыт реализации технологии подготовки и сжигания водоугольного топлива в малой теплоэнергетике, Раздел 5.7. в монографии «Исследования и разработки Сибирского отделения Российской Академии Наук в области энергоэффективных технологий» под общей редакцией член-корр. РАН С.В. Алексеенко. Новосибирск: Издательство СО РАН. – 2009. – 15 с. ISBN 978-5-7692-1094-5.

УДК 662.612: 662.613: 66.088

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА САМОВОЗГОРАНИЯ ПЫЛИ БУРЫХ УГЛЕЙ

Магдеева О.Л.[1] , Кузнецов В.А. Мешков К. Н. Бурдуков Е.П.[2]
научный руководитель канд. техн. наук Чернецкий М. Ю.
[1]*Сибирский федеральный университет*
[2]*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе*

Проблема самовозгорания угля является общемировой, так ежегодные потери угольных ресурсов в результате самовозгорания составляют в Китае более 200 млн. тонн, что равно 7-й части годовой добычи, и помимо прямого экономического ущерба чревато серьезными экологическими последствиями. Самовозгорание является основной причиной пожаров на складах топлива и топливоподачах (50–60%), по этой причине происходит каждый шестой пожар на котельных и тепловых электростанциях. Существующие сегодня методы оценки пожаро и взрывоопасности углей, являются зачастую обобщенными, не отражающими реальные процессы, происходящие в твердом топливе с течением времени и в ходе его переработки. Целью данной работы являлось разработка расчетно-экспериментальной методики оценки самовозгорания угля при транспортировки и хранении в кузовах основанной на изучении реакционных свойств угольного топлива и трехмерного моделирования процессов тепломассопереноса с учетом химического реагирования.

Для определения критических условий процессов самовозгорания протекающих по тепловому механизму использовалась экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 1 [1]. Установка предназначена для определения кинетических параметров процессов самонагревания. Основу установки составляет суховоздушный термостат специальной конструкции, позволяющий поддерживать температуру в диапазоне от 50 до 300 °С с точностью 0,5 °С. Реакционный сосуд (контейнер) выполнен в виде цилиндра, из тонкой латунной сетки. В ходе опытов регистрируется температура не менее чем в четырех точках (в термостате, вблизи стенки, в центре и на границе реакционного сосуда) с помощью хромель-алюмелевых термопар диаметром 0,3..0,5 мм. Для расчета эффективной энергии активации Е и предэкспоненциального множителя С, полученные в ходе опыта термограммы обрабатываться и пересчитываться в аррениусовских координатах.

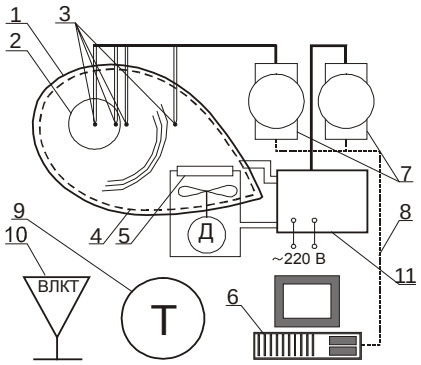


Рис.1 - установка определения параметров самовозгорания [1]: 1 - корпус термостата; 2 - реакционный сосуд; 3 - теромпары; 4 - основной нагреватель; 5 - вспомогательный нагреватель; 6 - ПЭВМ; 7 - модули сбора данных и управления; 8 - линия связи RS-485; 9 - сушильный шкаф; 10 – весы; 11- модуль электропитания и управления

Процесс разогрева образца пыли бурого угля в термостате записывается в виде:

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{m}{C_m}\left(\dot{Q}_m + \dot{Q}_d + \dot{Q}_o\right), \quad (1)$$

$\dot{Q}_m$ - тепловая мощность, обусловленная теплопроводностью, Вт; $\dot{Q}_o$ -мощность тепловыделения при окисления угля, Вт;

C_m - теплоемкость кокса, Дж/(кг·К).

$$Q_m = \alpha S\left(T - T_o\right), \quad (2)$$

где α - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м^2·К); S - площадь поверхности теплоотдачи, м^2;

Тепловыделение при окислении угля учитывается посредством задания источника в виде:

$$C_p\rho\frac{dT}{dt} = C_p\rho\cdot n\cdot C\exp\left\{-\frac{E}{RT}\right\}, \quad (3)$$

На границах задается коэффициент теплоотдачи соответствующий постановки задачи.

Полученная математическая модель позволяет рассчитывать динамику разогрева (тепловыделения) пыли угля в процессе самовозгорания в зависимости от свойств угольной пыли и внешних факторов.

Геометрия, размеры и расчетная сетка вагона для хранения и транспортировки угля представлена на рисунке 2.

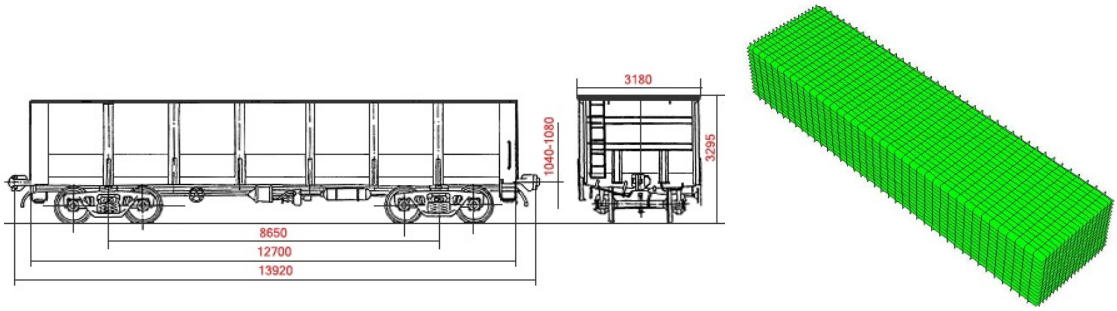


Рис.2 - Размеры, геометрическая модель и расчетная сетка вагона, заполненного углем

Были выполнены оценки самовозгорания исходного угольного топлива. При моделировании использовались данные, полученные в ходе проведения экспериментальных работ (таблица 1). Эффективная энергия активации E и предэкспоненциальный множитель C были получены из опытов на установке, представленной на рисунке 1.

Таблица 1 – Свойства угольной пыли при моделировании процесса

C_p, Дж/кг·К	ρ, кг/м^3	α, Вт/(м^2·К)	λ, Вт/м·К	E, Дж/моль	C,К/с
1065	750	20	0.1	108846	5.53·10^11

На рисунке 3 представлены результаты в виде временной зависимости нагрева бурого угля при хранении в кузове при начальной температуре окружающего воздуха 400, 407, 417 ˚К. При данной начальной температуре происходит самовозгорание угля с периодом индукции 99 часов (4.125 суток), 60 часов (2.51 суток) и 31час (1.29 суток) соответственно.

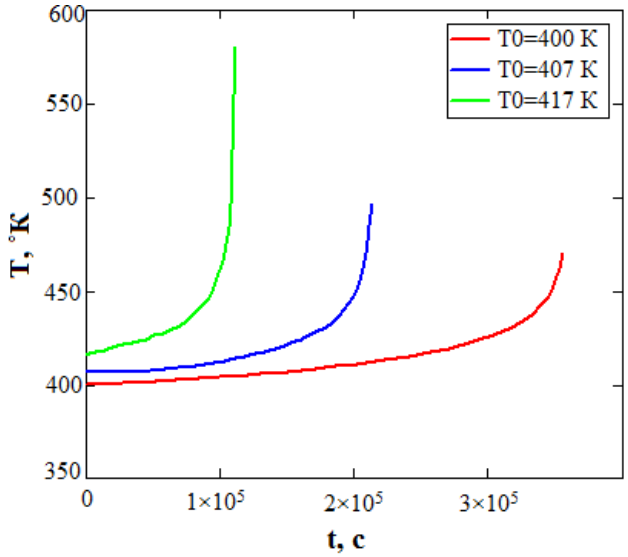


Рис.3 - Временная зависимость нагрева угля при хранении в вагоне при различных начальных температурах

Результаты моделирования хорошо согласуются с оценками, сделанными по теории Франк-Каменецкого [2] для параллелепипеда угля объемом 90.8 м^3. Теория Франк-Каменецкого дает критическую температуру на 7˚К выше, чем результаты моделирования.

Предлагаемая методика легко реализуема в производственных условиях, требует достаточно простой в изготовлении экспериментальной установки, наличие программного обеспечения, в основу которого положена математическая модель, представленная выше и задание необходимых для расчета параметров: температура окружающей среды, реакционных свойств угля, полученных предварительно, условия складирования или перевозки угля. С использованием предлагаемой методики можно исследовать факторы, влияющие на увеличение рисков самовозгорания, при его перевозке в полувагонах железнодорожным транспортом, а также при хранении на временных складах. Обосновать и разработать конструкции специализированных контейнеров, удовлетворяющие требованиям по самовозгоранию угля, а также продуктов переработки угля (кокс, полукокс) в нестандартных условиях.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ (грант № 15-38-20969).

Список литературы

1. Захаренко Д.М. Особенности развития теплофизических процессов самовозгорания и взрыва пыли бурых углей // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Красноярск: 2001. - с. 69 - 82.

2. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. - М.: Наука, 1967, - 491 с.

3. 3. P. Burdukov and other «Autothermal combustion of mechanically-activated micronized coal in a 5 MW pilot-scale combustor». Fuel, Volume 122, 15 April 2014, Pages 103-111

4. 2. Siegel, R. Thermal Radiation Heat Transfer / R. Siegel, J. R. Howell New York : Hemisphere, 1992.

5. 3. Чернецкий, М.Ю. Математическая модель процессов теплообмена и горения пылеугольного топлива при факельном сжигании / М. Ю. Чернецкий, А. А. Дектерев // Физика горения и взрыва. – 2011. – № 3. – С. 37–46.

6. 4. Бурдуков А.П. и др. Исследование оптимальной конструкции горелочного устройства для обеспечения устойчивости аэродинамической структуры потока в горелке и интенсификации процессов смешения в зоне горения. Ползуновский вестник. 2012. № 3-1. С. 55-61.

7. 5. Майданик М.Н и др. Математическое моделирование топки и поворотного газохода котла п-50р при совместном сжигании твердого и газообразного топлива. Теплоэнергетика. 2011. № 6. С. 37-42.

8. 6. Чернецкий М.Ю., Дектерев А.А. Математическая модель процессов теплообмена и горения пылеугольного топлива при факельном сжигании. Физика горения и взрыва. 2011 № 3 стр. 37-46

УДК 620.9

ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ЖКХ

Мазур А.В.
научный руководитель д-р техн. наук Бойко Е.А.
Сибирский федеральный университет

Целью предлагаемой концепции (подхода) является – определение (предложение, выявление) на основе расчетных показателей эффективности наиболее оптимального варианта системы энергообеспечения потребителя.

В обобщенной постановке задача предполагает поиск оптимальных параметров работы системы энергообеспечения, выбор состава и сочетания энергетического оборудования и схемы его объединения в систему. Исходными данными для задачи служат требования (потребности) потребителя к видам энергии, нагрузкам, режиму потребления, надежности, резервирования, а также требования, законодательно установленные для такого рода объектов.

Примерами постановки задачи могут служить:

– создание системы энергообеспечения отдельно стоящего объекта с минимальными капитальными затратами при заданной производительности;

– создание системы энергообеспечения населенного пункта с минимальными эксплуатационными затратами (издержками) при заданной производительности;

– оптимизация существующей системы энергообеспечения с целью снижения удельного расхода топлива (эксплуатационных затрат);

– экспертная оценка схем энергоснабжения (проектной документации или готовых решений) с целью подготовки предложений по повышению эффективности технических, технологических и (или) организационных (управленческих) решений.

В основу подхода положена методология системного анализа факторов влияния внешней среды, на функционирование системы энергообеспечения. Выполняется оценка доступности первичных энергоресурсов и существующей энергетической инфраструктуры. На основе полученных результатов разрабатываются математические модели альтернативных вариантов систем энергоснабжения, выполняется расчет и сопоставление технико-экономических и финансовых показателей по каждому варианту. Приводится прогнозная оценка экономических последствий применения в сценарных условиях тех или иных технических, управленческих решений.

Основным критерием эффективности в предлагаемом подходе принят – минимум приведенных затрат, в пределах расчетного периода существования системы энергообеспечения, при условии удовлетворения спроса потребителей наиболее экономичным способом с учетом территориальных и режимных особенностей внешней среды. Критериями эффективности также могут служить: удельный расход топлива, себестоимость производимой энергии, срок окупаемости и т.д.

В данной работе приняты следующие понятия и определения:

– система энергообеспечения как объект исследования – совокупность взаимосвязанных технических устройств (объектов), осуществляющих производство и (или) передачу энергии, соответствующей заданным параметрам в контрольных точках системы;

– контрольная точка – условно заданная точка (сечение) в системе энергообеспечения в которой поставляемая (потребляемая) энергия должна соответствовать заданным параметрам (условиям) энергоснабжения. (Как правило контрольная точка устанавливается на участке сети (тепловой, электрической), на

выходе с источника энергии или технического устройства производства (передачи) энергии, на входе в энергопотребляющую установку (приемник);

– параметры (условия) энергоснабжения – требования к качеству, поставляемой энергии, а также к режиму потребления энергии в контрольной точке;

– режим потребления энергии - характеристика энергетического процесса, протекающего в контрольной точке и определяемого значением изменяющейся во времени нагрузки (мощности) при установленных параметрах качества энергии в контрольной точке.

Основой предлагаемого подхода является последовательность выполнения обособленных этапов работы, имеющих определенное функциональное назначение и строгие смысловые границы.

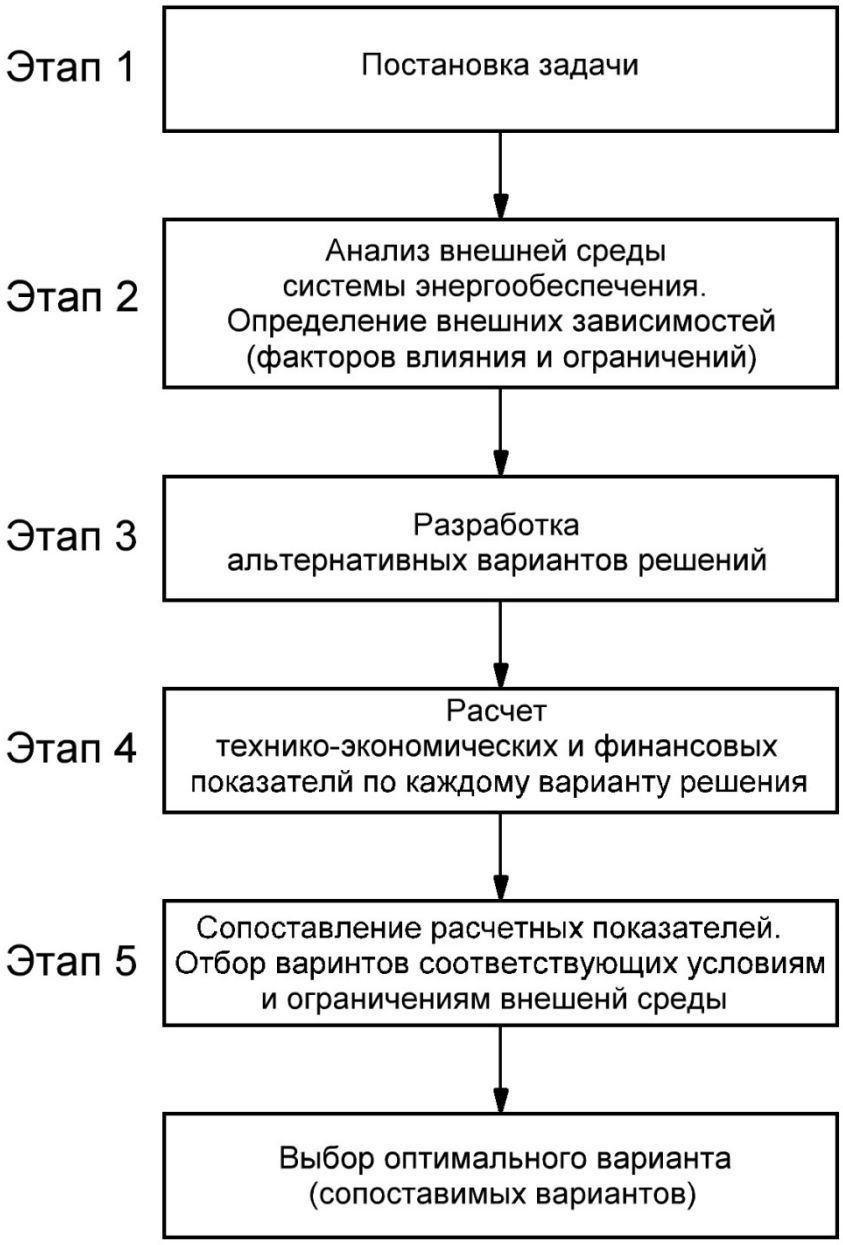


Рис.1 – Последовательность этапов работы

Описание работы, выполняемой в рамках каждого этапа, приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание работ

Этап	Реализация этапа
1. Постановка задачи	Разработка технического задания, в котором формулируются требования к будущему объекту, ограничения, в рамках которых должен функционировать объект исследования, в том числе нормативные (экологические, экономические, природные, социальные, санитарно-эпидемиологические и т.д.). Устанавливается вид задачи исследования: внесение изменений в существующую систему или создание новой, а также определение границ системы энергообеспечения как объекта исследования. Ключевым в рамках первого этапа является правильное определение границ системы энергообеспечения (далее – объект исследования) и параметров (условий) энергоснабжения в контрольной точке.
2. Анализ внешней среды системы энергообеспечения. Определение внешних зависимостей	Выполняется анализ состояния топливно-энергетического комплекса территории. Доступность энергетических ресурсов. Изучается регуляторная среда, действующие нормы и требования в области экологии. Приводится оценка существующих систем энергообеспечения, действующие тарифные решения. Полученные результаты являются основой для разработки альтернативных вариантов. Качество разрабатываемых вариантов, широта охвата, возможных к применению энергетических технологий и их сочетаний, разработка схемы соединения отдельных элементов системы находится в прямой зависимости от глубины анализа внешней среды (факторов влияния и ограничений). В свою очередь внешняя среда (макросреда) определяется в зависимости от границ системы энергообеспечения как объекта исследования. На данном этапе проводится анализ конкурентных преимуществ традиционных видов топлива (доступность, запасы, стоимость …), а также возобновляемых энергетических ресурсов. Оценивается доступность существующей энергетической инфраструктуры, величина платы за подключение и тарифы потребления.
3. Разработка альтернативных вариантов решений	Разработка альтернативных вариантов решений предполагает процесс набора системы энергообеспечения из различных энергетических установок (технологий) в соответствии с техническим заданием. При этом единственным ограничением являются зависимости (ограничения) макросреды. Примером может служить отсутствие целесообразности

	применения микроГЭС для электроснабжения микрорайона в местности, где отсутствуют реки или отсутствие целесообразности применения в качестве альтернативного варианта солнечной электростанции при отсутствии площадей для их размещения или слабой солнечной активностью.
4. Расчет технико-экономических и финансовых показателей по каждому варианту	На данном этапе осуществляется расчет технико-экономических показателей по каждому варианту. Обязательным условием является применение единых методик расчета показателей. При этом выполнение расчетов с применением относительных или абсолютных величин не имеет большого значения, так как погрешности в проводимых расчетах будут иметь одинаковую относительную величину. Кроме того качество реализации данного этапа не зависит от применяемой методики (при условии использования этой методики для всех вариантов). Выполняются расчеты следующих показателей: капитальные вложения; удельный расход условного топлива; себестоимость единицы отпускаемой энергии; чистый дисконтированный доход (ЧДД); внутренняя норма доходности (ВНД); срок возврата инвестиций (срок окупаемости проекта); В качестве дополнительных показателей эффективности могут быть применены: соответствие экологическим нормам для территории (величина отклонения от нормы); срок реализации проекта; наибольшее соответствие режиму производства/потребления энергии (маневренность); совокупные годовые затраты на эксплуатацию объекта (без учета капитальных вложений); способность объекта к расширению, подключению дополнительных нагрузок; прогнозная социальная реакция (количество упоминаний в СМИ); средневзвешенный срок полезного использования энергоустановок и системы в целом.
5. Сопоставление расчетных показателей. Отбор вариантов соответствующих условиям	В качестве конкурентных отбираются варианты, имеющие наибольшее количество показателей с оптимальными значениями.

Предлагаемый подход позволяет выявить конкурентные преимущества технологий, использующих традиционные виды топлива, источники возобновляемой энергии, а также их сочетаний. Появляется возможность с высокой степенью вероятности проводить прогнозную оценку тарифных последствий и социальной доступности коммунальных услуг.

Сегодня государством предпринимаются значительные меры по поддержке коммунального сектора. Такие меры выражаются в совершенствовании законодательной базы, государственной финансовой поддержке муниципальной энергетики. Разработанные схемы и программы перспективного развития электроэнергетики, схемы теплоснабжения и водоснабжения являются основными программными документами, определяющими направление развития энергетических систем страны и отдельных регионов.

Учитывая, что курс развития коммунальной отрасли ориентирован на реализацию проектов государственно-частного партнерства, концессионных соглашений и энергосервисных контрактов дальнейшее совершенствование единого научно обоснованного подхода к оценке технико-экономической эффективности систем энергообеспечения может иметь решающее значение в наращивании темпов модернизации жилищно-коммунального хозяйства.

Список литературы

1. Сазанов Б.В., В.И. Ситас. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1990.–304 с.: ил.

2. Киселев Г.П. Варианты расчета удельных показателей эффективности работы ТЭЦ: Методическое пособие. – М.: МЭИ, 2003 – 32 с.

3. Сайт «Эксергия Богданов» [электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.exergy.narod.ru

УДК 62-173

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ЗАДАЧИ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ КОТЛОАГРЕГАТА ПК-38 НАЗАРОВСКОЙ ГРЭС

Мелихов С.В.
научный руководитель д-р техн. наук, проф. Бойко Е.А.
Сибирский федеральный университет

Изучение опыта эксплуатации и ремонтов котла ПК-38 НГРЭС показывает, что 30-40% отказов энергоблоков приходится на долю котлов и котельно-вспомогательного оборудования. В свою очередь главной причиной отказов котлов являются повреждения поверхностей нагрева, из-за которых происходит примерно 50% внеплановых остановов. Удельное число отказов на котел составляет 4-4,5 в год. Наиболее уязвимыми поверхностями нагрева являются первичный пароперегреватель (40-45%), НРЧ для прямоточных котлов и промпароперегреватель.

Согласно официальной статистике одной из главных причин отказов является исчерпание ресурса работы (20-25%). Весьма существенной является доля, связанная с недостатками ремонта и эксплуатации (до 15-20%). В меньшей степени повреждения объясняются дефектами изготовления и несовершенством конструкции (3-5%), а также отклонениями при монтаже (1-2%). Значительно выросла в последние годы доля повреждений по невыясненным и прочим причинам (30-50%).

В год станция работает 8760 часов. Отопительный период в г.Назарово составляет 6036 часов. Из-за отказов оборудования в отопительном периоде ряд энергоблоков станции работает всего 4000 часов. Отсюда следует вывод, что НГРЭС в год теряет порядка 70000 тыс.Гкал тепла и 450000 тыс.кВтч электроэнергии. Потери тепла и электроэнергии оцениваются в десятки миллионов рублей.

Паровой котел ПК-38 прямоточный, П-образной компоновки, с жидким шлакоудалением,с проектными номинальными параметрами по первичному пару $Д_{пе}$=270 т/ч, $Р_{пе}$=140 кгс/см^2, $t_{пе}$=570°С и вторичному пару $Д_{пп}$=240 т/ч, $Р_{пп}$=32 кгс/см^2, $t_{пп}$=570°С. рассчитан на сжигание угля Назаровского разреза. Пробы Назаровского угля, результаты которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты испытаний пробы Назаровского угля

Наименование и обозначениепоказателя, состояние топлива	Единицы измерения	Результаты испытанийобразца
Влага общая, W^r_t	%	38,1
Зола, сухое состояние, A^d	%	9,5
Выход летучих веществ, V^{daf}	%	44,6
Низшая теплота сгорания, рабочее состояние, Q^r_i	кДж/кг	14065

На фронтальной части котла установлены четыре прямоточные горелки, для растопки служат четыре мазутные форсунки. В котле ПК-38 используется водяной экономайзер не кипящего типа, двухпоточный с расположением коллекторов с правой и левой стороны котла. По ходу газов экономайзер разделен на три пакета. НРЧ изготовлена в виде двухзаходной ленты (*по 30 труб в каждом заходе*). СРЧ является радиационным пароперегревателем первичного пара и выполнена в виде двухзаходной ленты(*по 36 труб в каждом заходе*). ВРЧ состоит из 97 параллельно включенных змеевиков. На выходе из топки в горизонтальный газоход на задней стене топки

выполнен аэродинамический выступ, который распределяет газовый поток по всей высоте горизонтального газохода. ШВД расположен в тракте за СРЧ и состоит из 14 ширм в каждой из которых по 27 труб. Промежуточный пароперегреватель низкого давления (*ШНД*) состоит из 22 ширм по 12 труб в каждой ширме. КПП прямоточный, выполнен одноступенчатым по ходу пара и однопакетным по ходу газов. Он состоит из 49 двойных трехниточных змеевиков. ПЗ- представляет собой один противоточный пакет и содержит 106 двухниточных змеевиков. ПП-1 находится в конвективной шахте между ВЗП-2 и ПЗ. Пароперегреватель является двухпоточным по пару, по ходу газов ПП-1 разделен на 2 пакета, каждый пакет состоит из 42 четырехниточных змеевиков . Регулирование выходной температуры пара осуществляется двумя впрысками, а промежуточного пара аварийным впрыском. Двухступенчатый, двухпоточный ВЗП-2 состоит из шести кубов, набранных в один ярус. Температура воздуха на выходе из ВЗП-2 составляет 418-452 градуса.

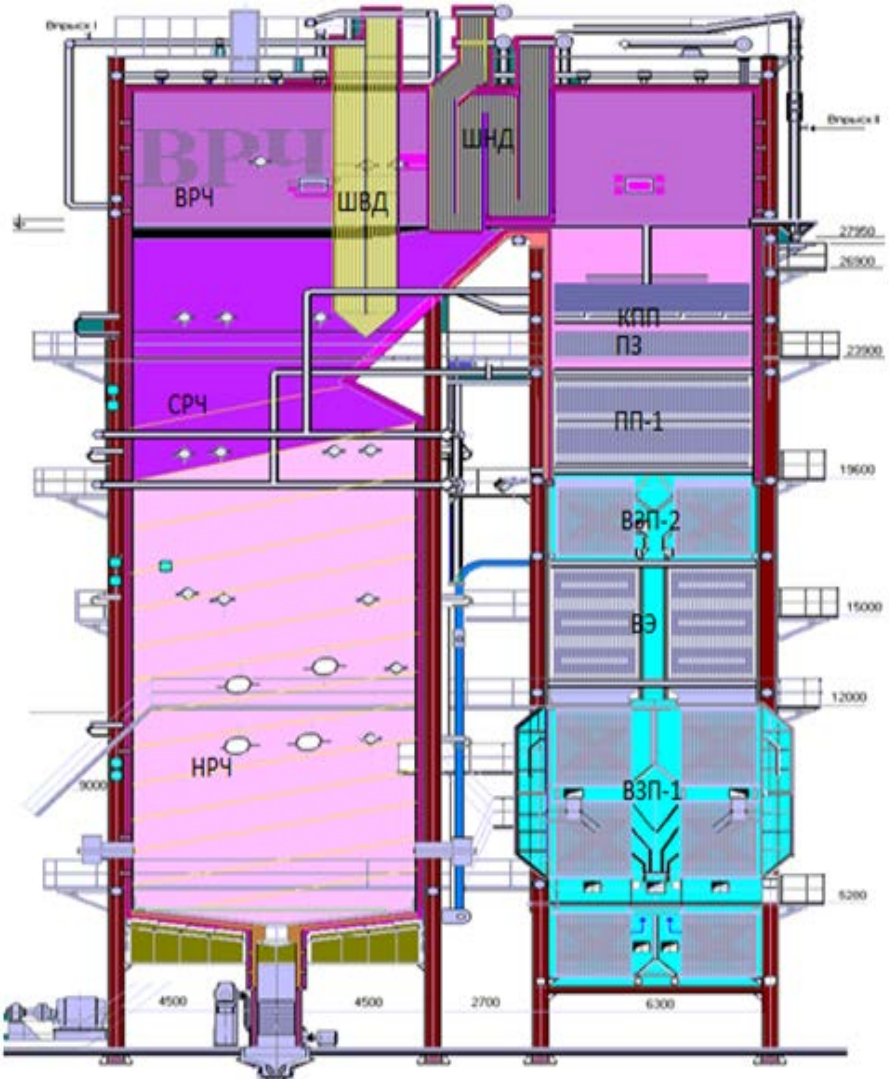


Рис.1 - Схема котла ПК-38:НРЧ – нижняя радиационная часть; СРЧ – средняя радиационная часть; ВРЧ – верхняя радиационная часть; ШВД – ширмовый пароперегреватель высокого давления; ШНД – ширмовый пароперегреватель низкого давления; КПП-конвективный пароперегреватель; ПЗ – переходная зона; ПП_1 – промежуточный пароперегреватель

Анализ случаев повреждения труб ВРЧ, ШВД, ШНД. и КПП котлов с причинами, установленными персоналом НГРЭС, представлены на рисунках 2 и 3.

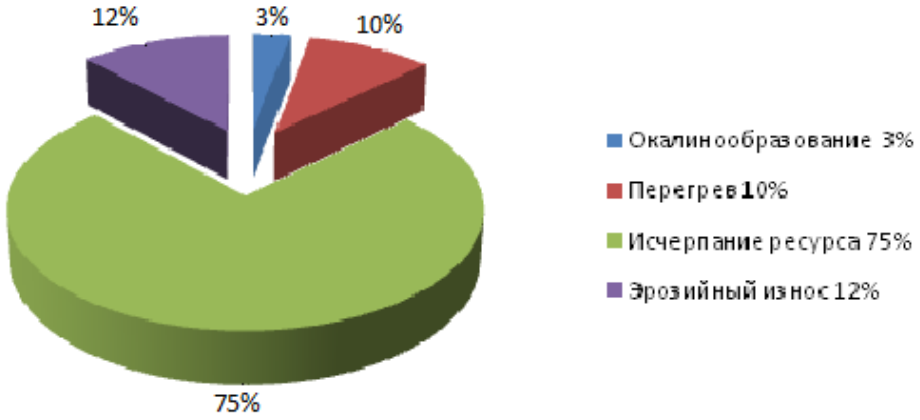


Рис.2 – Причины повреждения поверхностей нагрева котла

Рис.3 – Частота отказов поверхностей нагрева

Выполненный анализ повреждений показывает: для труб ВРЧ котлов характерен выход из строя из-за термо-механической усталости при превышении расчетного ресурса (100 тыс. ч), средняя наработка на отказ составляет 197469 ч. Основной причиной повреждений труб ШПП (ШВД), КПП, как и ВРЧ, является термомеханическая усталость при превышении ресурса. Средняя наработка на отказ для КПП составляет 179026 ч, а для ШПП зафиксирован единственный случай повреждения при наработке 166514 ч.Повреждения труб ШВП (преимущественно

ШНД) связаны с работой при длительном перегреве в сочетании с износом тыльных труб паром пушечной обдувки; средняя наработка на отказ составляет 77888 ч. Исходя из результатов анализа, можно сделать вывод о том, что наиболее напряженная ситуация складывается с ширмами ШВП (ШНД), работающих в условиях интенсивной пушечной обдувки.

Исходя из наличия вышеуказанных причин повреждения поверхностей нагрева котел не несет номинальной нагрузки 270 т/ч. По данным испытаний котлоагрегат при работе 4-х пылесистем несет максимальную нагрузку равную 235 т/ч.

В этой связи для решения недостатков, выявленных в процессе длительной эксплуатации котла, необходимо: увеличение топочного объема за счет создания холодной воронки и перевода котла на твердое шлакоудаление, а так же увеличение числа поверхностей нагрева и введение рециркуляции дымовых газов из конвективной шахты в топку котла, что позволит уменьшить температуру газов в котле, что в, свою очередь, повлияет на уменьшение окалинообразований и перегревов труб. Интенсивность шлакования ШНД и ШВД уменьшится и повлечет за собой уменьшение периодичности пушечной обдувки, которая уменьшает срок службы поверхностей нагрева. Так же необходима замена, исчерпавших свой ресурс, элементов.

Ожидаемый результат реконструкции сводится:

1. Уменьшится число отказов в год.
2. Увеличится срок службы поверхностей нагрева.
3. Уменьшится интенсивность шлакования.
4. Увеличится максимальная нагрузка котлоагрегата, возможно до 270 т/ч.

Список литературы

1. Гидравлический расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. Под ред. Локшина В.А., Петерсона Д.Ф., Шварца А.Л. Энергия. М. 1978. 256 с.

2. Митрюхин А.Г., Дробышевский М. "Проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов на промпредприятиях и ТЭС " , Изд-во СПбГТУРП, 2005.

3. Вихрев Ю.В. Эксплуатационная надежность поверхностей нагрева паровых котлов. Мировая энергетика, 1997, № 4. с. 38-40.

4. Назаровская ГРЭС [электронный ресурс] Режим доступа:http://www.rosteplo.ru

5. Бойко Е.А. Котельные установки и парогенераторы. Учебное пособие. ФАО РФ ГОУВПО КГТУ 2005 г.

УДК 674.81

БИОТОПЛИВО В ЭНЕРГЕТИКЕ

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

Работа посвящена переводу котельной на альтернативное топливо. В расчетах применяются законы теплотехники, термодинамики и аналитические методы. Выявлена и обоснована необходимость модернизации оборудования для использования пеллетного топлива.

Ключевые слова: Альтернативное топливо, котел, модернизация котла, экологически чистая энергия.

1. Введение

Переход на альтернативные виды топлива движется стремительно по всему миру. Ведь цены на невозобновляемые источники энергии растут, а их запасы уменьшаются. Для экономии энергетических ресурсов и решения экологических проблем необходимо внедрять производство твердого биотоплива. В настоящее время широкое распространение получило пеллетное биотопливо. Пеллеты – топливные гранулы, которые по своим характеристикам не уступают традиционному топливу, что обеспечивает довольно широкую область их применения. Наиболее распространенными являются древесные пеллеты. Они выглядят как маленькие цилиндры, диаметром 6 - 14 мм и длиной 0,5 см - 2 см. Сырьём для пеллет служат: опилки, стружка, горбыль, некачественная древесина, кора (лесопилки просто выбрасывают сырье), а также отходы сельского хозяйства (солома, костра льна и торф). Пеллеты экологически 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 [1].

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.

Низшая теплота сгорания составляет $Q_{\text{н}}^{p}$ = 20 МДж/кг [2], что сопоставимо с низшей теплотой сгорания бурого угля 15 МДж/кг [3], каменного угля 32–37 МДж/кг и антрацита 34–36 МДж/кг. Поэтому пеллеты могут конкурировать с этими видами топлива.

В этой связи, производство биотоплива и переход котельных на пеллетное топливо является актуальным. Поэтому было принято решение разработать технологический процесс перевода котельной на альтернативное и экологически чистое пеллетное топливо.

2. Содержание работы

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- определение тепловой нагрузки на отопление и горячее теплоснабжение поселка;
- определение расхода топлива;
- расчет вспомогательного оборудования котельной;

- экономическое обоснование предлагаемой замены.

Исходными данными для расчета являются: количество жителей поселка – 15000 человек; вид системы теплоснабжения – закрытая; продолжительность отопительного периода – 235 суток; самая низкая температура за пять дней, $t_{н.о} = -40^0C$; средняя, самого холодного месяца, $t_{н.о} = -40^0C$; средняя, за отопительный период, $t_{н.о} = -40^0C$; температура начала отопительного сезона, $t_{н.о} = +8^0C$;

На котельной работают три котла КВ-ТС-10 теплопроизводительностью 11,63 МВт, предназначены 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, высоковлажных бурых углей, отходов углеобогащения и углей с теплотой сгорания $Q_н < 12722$ КДж/кг, а также сланецев, торфа и других видов твердого топлива с содержанием серы $S_{кр} > 0.2 \cdot 10^{-3}\%$ кг/ккал.

Расход тепла на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение определяется по всем категориям зданий отдельно, и затем находится суммарная тепловая нагрузка по каждому параметру [4], все значения сведены в табл. 2.

Таблица 1 – Расход тепла на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение

Тип здания	Объем здания по наружному обмеру $V_н$ м^3	Число потребителей горячей воды m, чел:	Расход тепла на отопление Q_0, МВт	Расход тепла на вентиляцию $Q_в$, МВт	Расход тепла на горячее водоснабжение$Q_{гвс}$, МВт
Жилые дома	714450	15000	13.81	0	8.73
Адм. здания	10500	75	0.277	0.046	0.021
Гостиницы	7500	75	0.204	0	0.44
Кинотеатры	11250	750	0.274	0.143	0.218
Столовая	15000	750	0.366	0.571	0.034
Дет.сад	18750	750	0.474	0.114	0.218
Ясли	7500	375	0.211	0.049	0.054
Школы	45000	3000	1.103	0.183	0.611
Больницы	9000	75	0.241	0.149	0.036
Бани	6750	150	0.156	0.454	0.052

Определим суммарный расход тепла на поселок, тепловую нагрузку, расход тепла на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение по методике [4].

Расчет расхода топлива, объема теоретического количества воздуха и продуктов сгорания, при сжигании бурого угля по методике [5].

Исходные данные

Топливо: Ирша-Бородинский уголь;

Состав топлива:

Wp= 33%; Ap = 6,0%; Sк = 0,2%; Sop = 0,2%; Cp = 43,7%; Hp = 3%; Np =4,6%; Op=13,5;

Определяем массовый выброс летучей золы, количество оксидов серы в пересчете на SO_2, количество окислов азота, выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами котельных установок.

Таблица 2 – Выбросы вредных веществ для одного котельного агрегата

Вид выбросов	Единицы измерения, г/с
Массовый выброс летучей золы	0,084
Количество оксидов серы в пересчете на SO_2	0,072
Количество оксидов азота в пересчете на NO_2	$2,9 \cdot 10^{-7}$

Расчет расхода топлива, объема теоретического количества воздуха и продуктов сгорания, при сжигании пеллет.

Исходные данные: топливо пеллеты;

Состав топлива:

Wp= 10%;Ap = 0,8%; Sop = 0,03%; Cp = 46 %; Hp = 5,27%; Np =0,6%; Op=37,3

Низшая теплота сгорания: $Q_н$= 20 МДж/кг.

Расчет аналогично углю. Данные по количеству выбросов вредных веществ приведены в табл. 3.1.

Таблица 2.1 – Выбросы вредных веществ для одного котельного агрегата (пеллет)

Вид выбросов	Единицы измерения, г/с
Массовый выброс летучей золы	0,0007
Количество оксидов серы в пересчете на SO_2	0,0009
Количество оксидов азота в пересчете на NO_2	$2,9 \cdot 10^{-7}$

Экономический эффект рассчитан по методике [6]. Результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Экономический расчет предлагаемой реконструкции

Наименование величины	Уголь, млн.руб/год	Пеллеты, млн.руб/год	Разница, млн.руб/год
Плата за топливо, млн.руб/год	29,0	30,2	Повышение на 1,2

Плата за выбросы, млн.руб/год	0,088	0,078	Снижение на 0,01
Плата за э/э,(собственные нужды) млн.руб/год	6.77	5.41	Снижение на 1,36
Предотвращенный экологический ущерб, млн.руб/год	-	0,22	Снижение на 0,22

3. Заключение

По результатам расчета видно, что при переходе с бурого угля на альтернативный вид топлива (пеллеты), произошло снижение выбросов золы в 120 раз, оксида серы в 80 раза, оксида азота ,без изменений, что уберегает окружающую среду. Экономия топлива составит 0,49 г/с для одного котлоагрегата, следовательно, природные ресурсы сохраняются. Расчет экономической эффективности применения альтернативного топлива показал снижение платы за выбросы вредных веществ. Еще одним значительным плюсом именно пеллетного топлива является удобство в «эксплуатации». Все вышеперечисленные факты позволяют сделать прогнозы, что популярность и распространение пеллет еще не достигли своего пика. Будущее топливного рынка – за биотопливом, и пеллетами в частности. Выгодно использовать пеллеты в западной части России, которая удалена от угольных разрезов.

Список литературы

1.Обзор рынка биотоплива: пеллеты [электронный ресурс] URL: http://eubp.ru/news-obzor-rynka-biotopliva-pellety-2.html (дата обращения: 10.10.2015).

2. Твердое топливо и его классификация [электронный ресурс] URL: http://kotelnoe-oborudovanie.kz/solid-fuel-classification.html (дата обращения: 10.10.2015).

3. Расчетные характеристики топлив [электронный ресурс] URLhttp://xn--80aaeisrudafe3a9e.xn--p1ai/calculated-characteristics-fuels.html (дата обращения: 10.10.2015).

4.Бойко Е.А. Котельные установки и парогенераторы (тепловой расчет парового котла): Учебное пособие / Е.А. Бойко, И.С. Деринг, Т.И. Охорзина. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. 96 с.

5.Указание по расчету рассеивания в атмосфере вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий.- М: Энергия, 1976-144с.

6 Технико-экономические показатели проектируемой котельной. Методические указания - Красноярск 1997.

УДК 62-173

КОГЕНЕРАЦИОННАЯ УСТАНОВКА С ВНУТРИЦИКЛОВОЙ ГАЗИФИКАЦИЕЙ ТВЕРДОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ТОПЛИВА

Охремчук А.Е., Иванов Е.А.
научный руководитель д-р техн. наук, проф. Бойко Е.А.
Сибирский федеральный университет

Когенерация представляет собой высокоэффективное использование первичного источника энергии - газа, для получения двух форм полезной энергии - тепловой и электрической. Главное преимущество когенерации перед обычными теплоэлектростанциями состоит в том, что преобразование энергии здесь происходит с большей эффективностью. Иными словами, система когенерации позволяет использовать то тепло, которое обычно просто теряется. При этом снижается потребность в покупной энергии на величину вырабатываемых тепловой и электрической энергии, что способствует уменьшению производственных расходов. Когенерационные успешно покрывают потребность потребителей в дешевой электрической и тепловой энергии. Независимое электроснабжение влечет за собой целый ряд преимуществ. Автономная работа когенерационных установок позволяет обеспечить потребителей электроэнергией со стабильными параметрами по частоте и по напряжению, тепловой энергией со стабильными параметрами по температуре и качественной горячей водой. Когенерационные установки имеют эффективность использования топлива на 30% - 40% выше, чем оборудование, вырабатывающее только электроэнергию или только тепло. Когенерационные установки более экологичны (требуется меньше топлива для производства такого же количества энергии) и более экономичны - при удачной разработке проекта, инвестиции на закупку и монтаж КУ постепенно окупятся за счет производства более дешевой электроэнергии и тепла).

Для развития энергетики наиболее интересными направлениями представляются способы переработки угля в газообразное топливо. Газификация топлива решает вопрос технологических трудностей при сжигании, образования золы и шлаков, а так же уменьшает вредные выбросы в атмосферу. Газообразное топливо наиболее удобно в сжигании, достаточно удобно в хранении и транспортировке, по сравнению с твердым топливом. Потому широкое использование угля в энергетических целях, скорее всего, возможно именно путем переработки угля в газообразное топливо.

Социально-экономическое значение этого способа развития энергетики состоит в отходе от использования в качестве основного источника топлива месторождений природного газа. Выработка газового топлива из угля представляет собой намного более устойчивую отрасль промышленности, имеющую гораздо лучшую сырьевую базу.

На сегодняшний день существует множество аргументов в защиту выбора газификации твердого топлива и использования полученного синтез газа в когенерационных установках. Когенерационные установки обладают замечательными особенностями: дешевизной электро- и теплоэнергии, близостью к потребителю, отсутствием необходимости в дорогостоящих ЛЭП и подстанциях, экологической безопасностью, мобильностью, легкостью монтажа, возможность использования в северных районах Росси.

Для исследования технологий газификации и когенерации на кафедре тепловые электрические станции Политехнического института собрана когенерациоонная установка с внутрицикловой газификацией твердого органического топлива с

сжиганием синтез газа в газопоршневом двигателе, технические характеристики которой приведены в таблице 1.

Таблица 1 –Технические характеристики когенерационной установки

Наименование величины	**Значение**
Производительность по газу	45 $м^3$/час
Расход топлива (уголь)	14 кг/час
Паропотребление	30 кг/час
Расход воздуха	40 $м^3$/час
Напряжение на входе	220В
Мощность электрическая	8 кВт
Мощность тепловая	10 кВт
КПД	20%

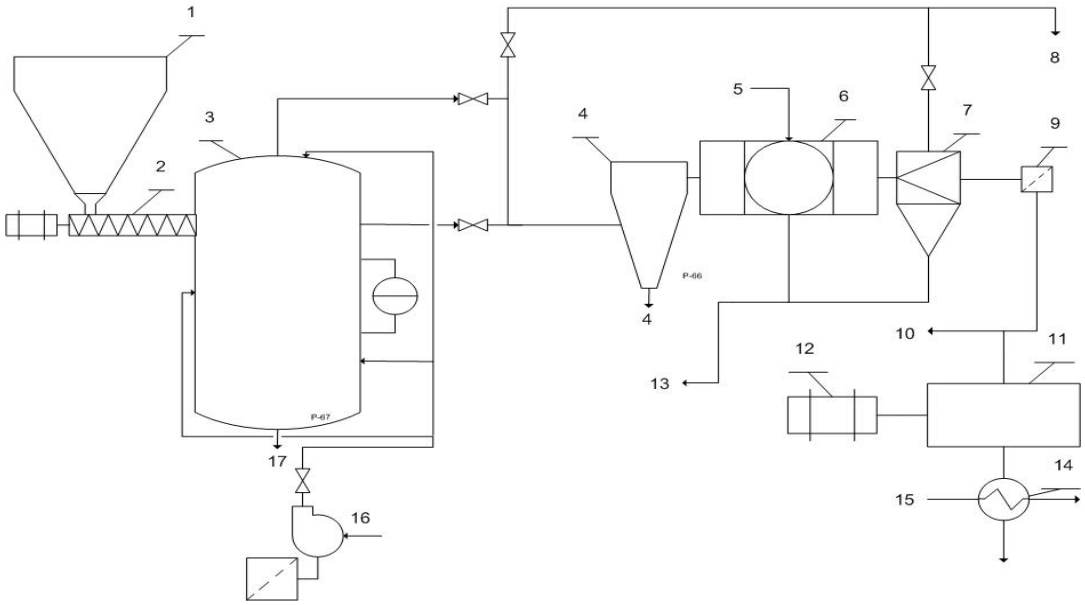


Рис.1 - Принципиальная схема когенерационной установки с внутрицикловой газификаций угля

Из бункера 1 топливо подается шнековым питателем 2 в газогенератор 3, где при температуре 600-1000℃ происходит его газификация, так как для поддержания такой температуры часть топлива сгорает, предусмотрен выход шлака 16. Необходимый для процесса газификации и горения воздух подается в газогенератор 3 центробежным вентилятором 16. На выходе из газогенератора 2 мы получаем синтез-газ, но его нельзя использовать в газопоршневом двигателе без очистки, поэтому после газогенератора 3 синтез-газ попадает в циклон 4 где под действием центробежной силы происходит его очистка от мелкодисперсных примесей, для выхода которых предусмотрен дренаж 4. После того как синтез-газ очищен от мелких примесей он попадает в мокрый фильтр 6, вода на который подается по линии 5. После промывки синтез-газа в мокром фильтре 6 в нем остается влага уноса, которая удаляется влагоотделителем 7, слив с которого совместно со сливом с мокрого фильтра собираются в линию 11. Непосредственно

перед газопоршневым двигателе 11 установлен фильтр тонкой очистки 9. Так же перед газопоршневым двигателе выполнена линия отбора проб синтез-газа 10. Газопоршневой двигатель соединен с электрическим генератором 12, мощность которого составляет 8 КВт. На выхлопе с газопоршневого двигателя установлен теплообменный аппарат пластинчатого типа 15, который служит для покрытия тепловых нагрузок жилищно-коммунального хозяйства. Сетевая вода подается в теплообменный аппарат 14 по линии 15.

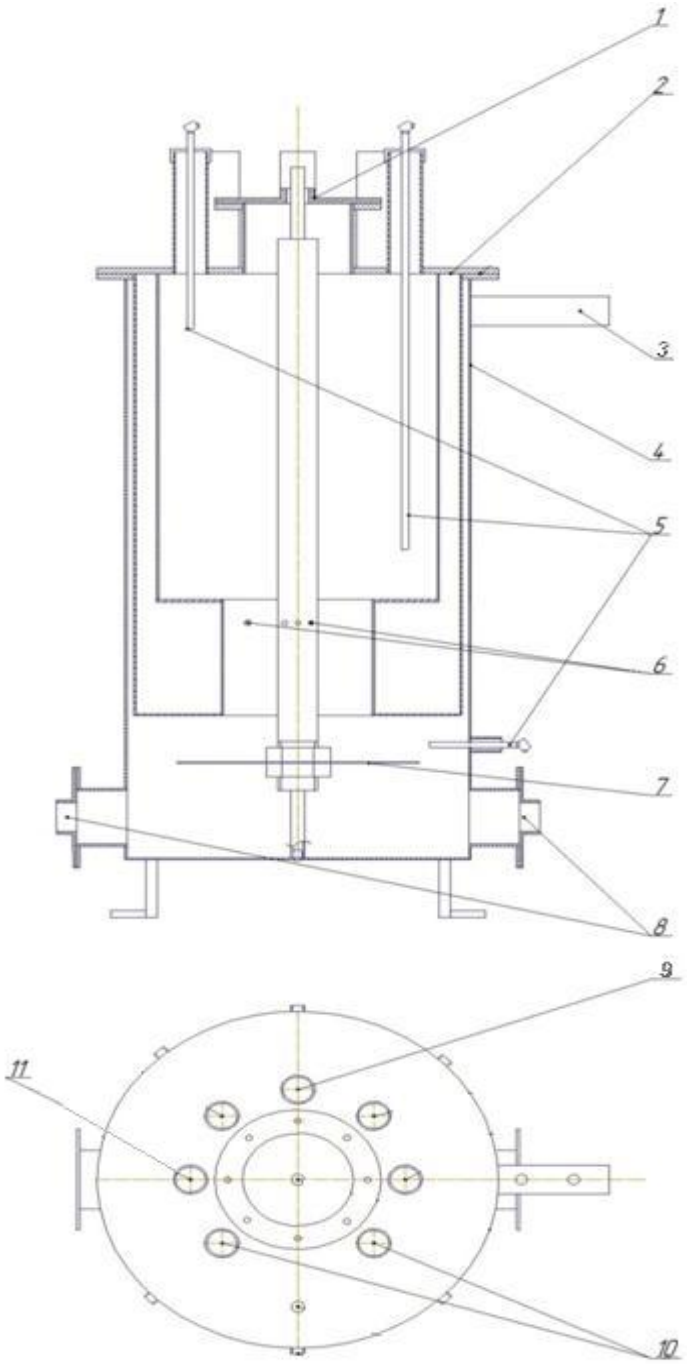


Рис.2 - Поперечный разрез газогенератора

Топливо подаваемое шнековым питателем попадает в газогенератор через загрузочный патрубок 11, так как топливо двигается сверху вниз, то по мере его пребывания в газогенераторе оно оказывается на вращающейся колосниковой решетки 7. После полного прогорания топлива в виде шлака изымается через люки для розжига и чистки 8. Подача воздуха необходимого для процессов горения и газификации осуществляется через дутьевые отверстия 6 и фурму 2. Температурный контроль процесса осуществляется датчиками температуры 5, часть которых размещены через патрубки 12. Выход синтез-газа при прямом процессе осуществляется через патрубок 10 и при обратном через патрубок 9. Так же на данном разрезе видно корпус газогенератора 4 и верхний фланец 1.

Рис. 3 - Фото когенерационной установки с внутрицикловой газификацией угля

Для растопки газогенератора используются пеллеты с последующим переходом на уголь при температуре в камере сгорания газогенератора 550-600℃.

Как показали пусконаладочные испытания данной установки, наибольшая калорийность синтез-газа достигается при температуре в камере сгорания газогенератора 850-950℃ и составляет 3800-4000 кДж/м^3 на паровоздушном дутье при работе на Бородинском буром угле, характеристики которого приведены в таблице 2.

Таблица 2- основные характеристики Бородинского угля

Характеристика	W^P	A^P	S^P	C^P	H^P	N^P	O^P	V^Γ	$Q_н^p$
Значение	33%	7,4%	0,2%	42,6%	3%	0,6%	13,2%	47%	15280кДж/кг

Интересна возможность использования технологий когенерации и газификации в автономных установках для покрытия нужд ЖКХ по электрической и тепловой энергий в удаленных от основных энергосистем районах.

Так же интересно рассмотреть технологию газификации в вопросе безмазутной растопки энергетических котлов.

Данная установка позволяет рассматривать оба эти направления. Для этого нужно провести исследования по повышению калорийности синтез газа и её зависимости от: типа подаваемого окислителя в газогенератор(и их соотношения при паровоздушном дутье), различных видов топлива, тонины помола топлива. Эти исследования помогут добиться максимального КПД когенерационой установки и минимальной стоимости электрической и тепловой энергии.

Список литературы

1. Лавров Н. В., Шурыгин А. П., Введение в теорию горения и газификации топлива, М., 1962; Альтшулер В. С.

2. Термодинамика процессов получения газов заданного состава из горючих ископаемых, М., 1969; Эпик И., "Известия АН ЭССР. Сер. Геология", 1982, т. 31, № 2.

3. Основы энергосбережения: Учеб. пособие / М.В. Самойлов, В.В. Паневчик, А.Н. Ковалев. 2-е изд., стереотип. – Мн.: БГЭУ, 2002. – 198 с.

4. Петров Ю.А., “Актуальность высокоэффективных ПГУ с внутрицикловой газификацией и их место в энергетическом балансе России”, Молодежь и наука: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярска [Электронный ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2013. — Режим доступа: http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/section024.html, свободный.

УДК 536.8

АНАЛИЗ РАБОТЫ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ ШЛАКОВАНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА П-67 БЕРЕЗОВСКОЙ ГРЭС

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

Эффективность и надежность работы современных энергетических котлов, работающих на твердом топливе, во многом определяется интенсивностью протекания процессов шлакования различных поверхностей нагрева. Интенсивное загрязнение поверхностей нагрева оказывает влияние на снижение коэффициента полезного действия котельного агрегата и его установленной мощности, уменьшение срока межремонтного периода и увеличение затрат на расшлаковку поверхностей нагрева.

На котлах П - 67 Березовской ГРЭС установлено 2 системы диагностики шлакования и загрязнения поверхностей нагрева:

1) «CEOS» немецкой фирмы «Clyde-Bergemann GmbH»;
2) «Thermal efficiency» (TEF), разработанная совместно кафедрой ТЭС и СибВТИ.

Система «CEOS» обладает необходимым интеллектом, чтобы распознать, где точно в котле, в каком размере существуют отложения, а также какое воздействие они оказывают на эффективность работы установки. Это стало возможно в результате комбинированного применения диагностики и анализа. Диагностику различных слоев отложений осуществляет сенсорная система, которая постоянно отслеживает основные параметры и изменения технологического процесса. Данная система анализирует уровень загрязнения и состояние шлакования поверхностей нагрева, визуализирует в онлайновом режиме поступающую информацию и при необходимости активирует систему очистки поверхностей нагрева.

С 2004 г. на Березовской ГРЭС загрязнение ширмовых и конвективных поверхностей нагрева определяется с помощью программы “Thermal efficiency” (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:

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

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;

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

$Q_{\text{л}}$ – 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.

$$\psi = \frac{К_{факт}}{К} \quad (2)$$

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:

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

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.

Для анализа систем диагностики шлакования и загрязнения поверхностей нагрева котельного агрегата П – 67 ст.№2 «CEOS» и «Thermal efficiency» были взяты коэффициент чистоты ε, полученный системой «CEOS», и коэффициент тепловой эффективности ψ, полученный системой «TEF», в течение суток (11.07.15 г.) через каждые 30 минут. Выбор даты обоснован тем, что за это время параметры котла были неизменны. Мощность составляла 500 МВт. Отказы штатного контроля могли повлиять на полученные значения.

Работа систем будет сравниваться в динамике, интервалы возрастания и убывания на графиках за определенный промежуток должны совпадать. Интервал, на котором значение коэффициента тепловой эффективности или коэффициента чистоты убывает, определяет процесс шлакования исследуемой поверхности нагрева, а интервал возрастания значений коэффициентов относится ко времени очистки поверхности и ее работы до начала ухудшения теплопроводности за счёт шлакования.

Для анализа систем выбраны топочные экраны, ширмовый пароперегреватель третий по ходу рабочей среды (ШПП-3), конвективный пароперегреватель (КПП) и водяной экономайзер (ВЭК).

По графику зависимости коэффициента тепловой эффективности и коэффициента чистоты от времени для топочных экранов (график 1) можно увидеть, что в течение суток динамика изменения коэффициентов схожа. Различие в показаниях систем приходится на период времени с 13:30 по 15:30, графики отклоняются в противоположные стороны.

В графиках изменения коэффициентов для ширмового пароперегревателя (график 2) так же просматривается закономерность, но с 13:30 по 15:30 коэффициенты отклоняются в противоположные стороны, что уже было замечено на предыдущем графике для топочных экранов.

По графику зависимости исследуемых коэффициентов для конвективного пароперегревателя (график 3) видно, что коэффициент тепловой эффективности системы «TEF» не испытывает больших отклонений, но динамика работы систем близка. Так же можно заметить, что динамика изменения коэффициента чистоты, полученного системой «CEOS», в период времени с 13:30 по 15:30 отличается, в это время наблюдается быстрое уменьшение значения от 65 до 40% с последующим увеличением от 40 до 75%.

Коэффициент тепловой эффективности на графике для водяного экономайзера (график 4) достигает значений больше 1, чего быть не может, исходя из формулы (2). Так же динамика изменения коэффициентов практически не совпадает.

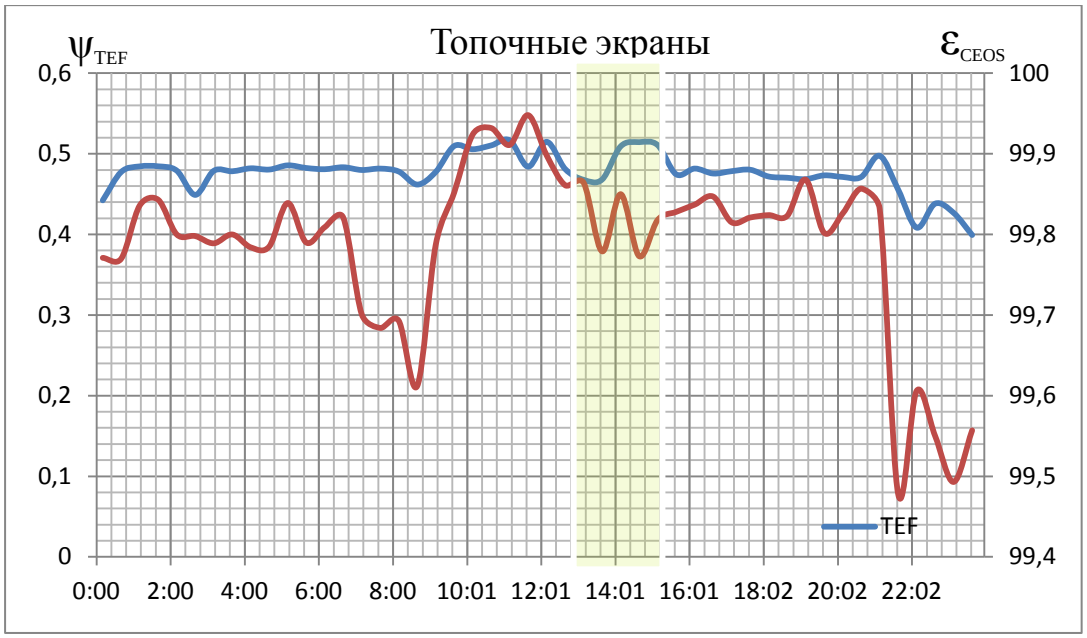


График 1 – График изменения коэффициентов для топочных экранов

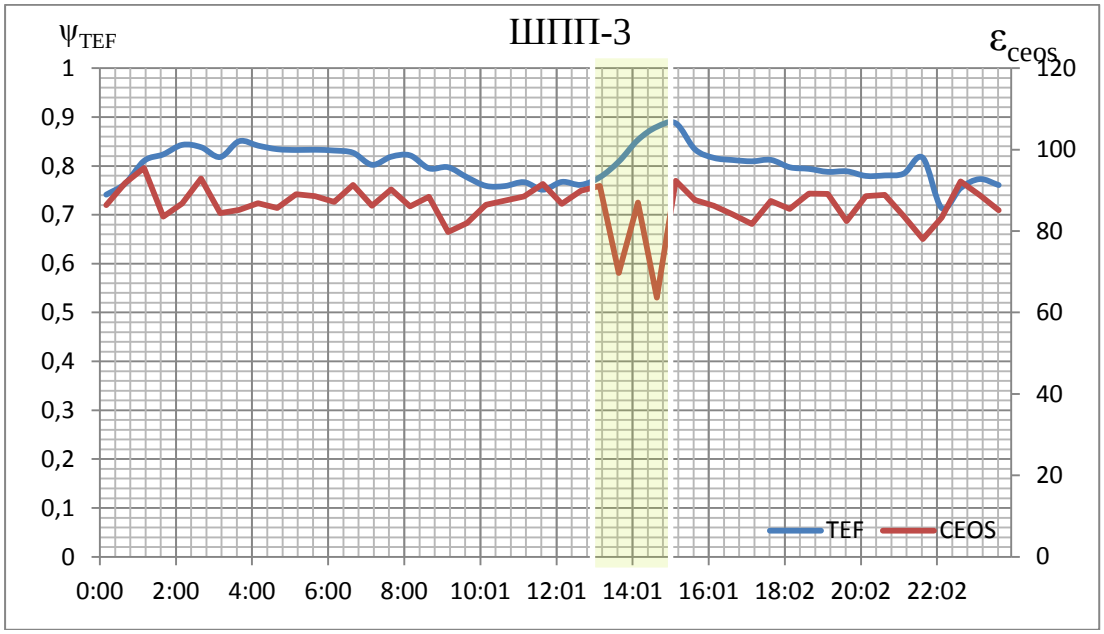


График 2 – График изменения коэффициентов для ширмового пароперегревателя (ШПП-3)

Проанализировав графики для всех поверхностей нагрева, можно сделать следующие выводы: как минимум на трех графиках можно увидеть сбой в системе «CEOS» с 13:30 по 15:30; на графике для ВЭК отмечена ошибка в системе «TEF», которая, скорее всего, связана с некорректной работой датчиков штатного контроля, и различие в динамике изменения значений коэффициентов.

Целью дальнейшей работы является выявление причин некорректной работы систем, модернизация системы «TEF» и исследование изменений коэффициента тепловой эффективности ψ (система «TEF») и коэффициента чистоты ε (система «CEOS») совместно с изменением мощности, вырабатываемой энергетическим блоком.

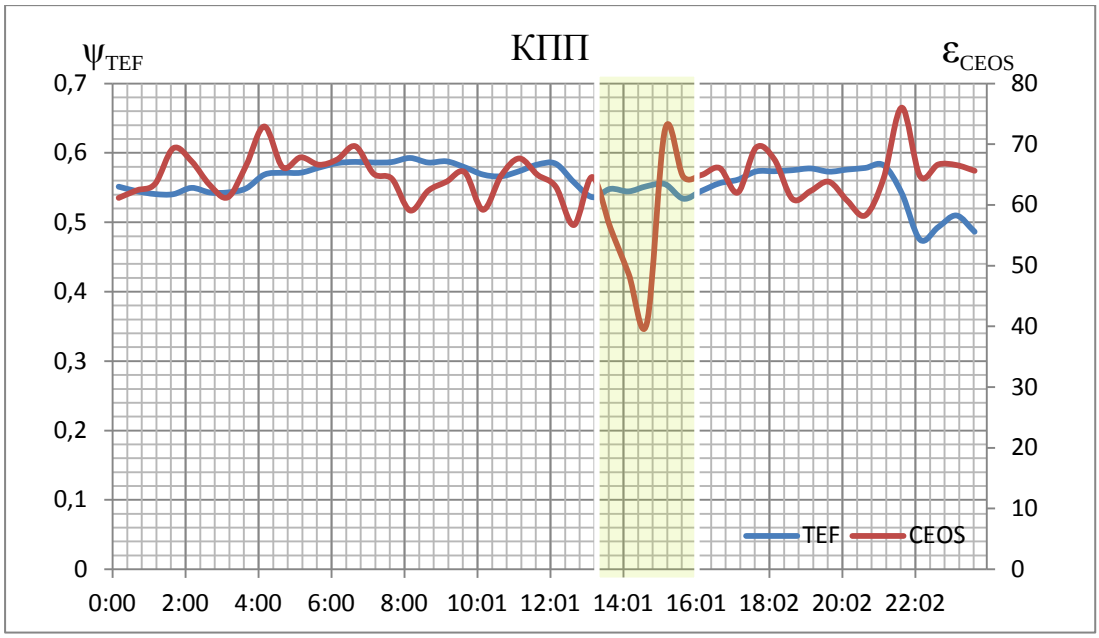


График 3 – График изменения коэффициентов для конвективного пароперегревателя (КПП)

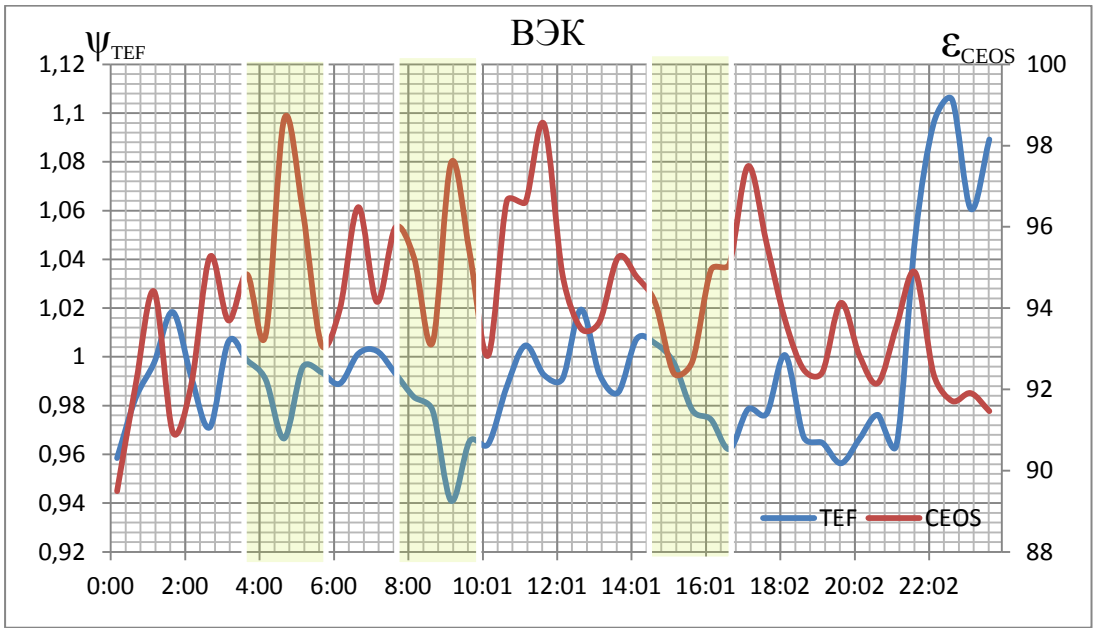


График 4 – График изменения коэффициентов для водяного экономайзера (ВЭК)

Список литературы

1. 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 620.9

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ В УСТАНОВКЕ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ И ПРЕССОВАНИЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Попиякова Н.П.
научные руководители д-р техн. наук Скуратов А.П., Потапенко А.С.
Сибирский федеральный университет

В последнее время в цветной металлургии широкое применение получили установки, совмещающие процессы непрерывного литья и последующей циклической деформации первично закристаллизованного металла. К числу подобных агрегатов относится установка непрерывного литья и прессования цветных металлов, использующая способ Конформ [1]. Установка, реализующая такой способ непрерывного литья-прессования, была спроектирована и испытана на кафедре обработки металлов давлением ИЦМиМ СФУ (рисунке 1) [2].

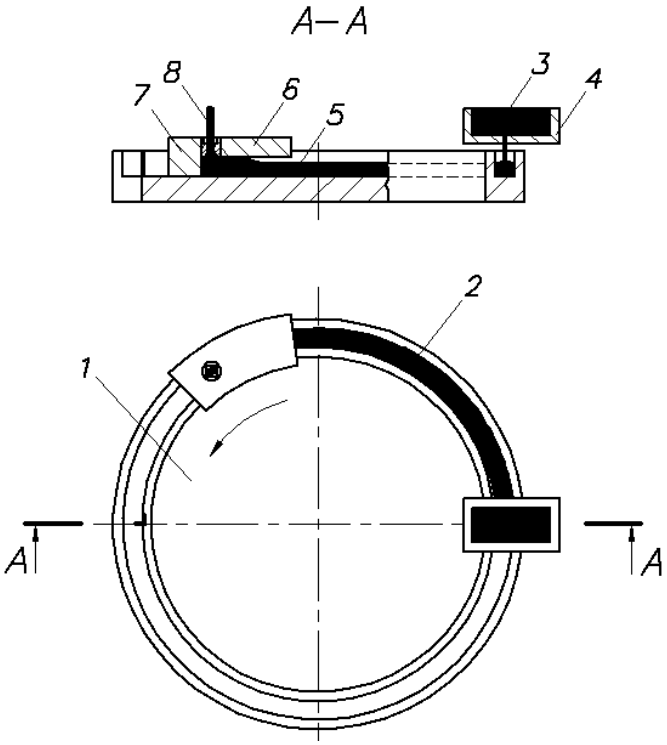


Рис.1 – Схема установки непрерывного литья-прессования с вертикальной осью вращения колес: 1 – колесо-кристаллизатор; 2 – ручей; 3 – жидкий металл; 4 – литниковая коробка; 5 – слиток; 6 – матрицедержатель; 7 – матрица; 8 – пресс-изделие

В процессе непрерывного литья и прессования металла элементы установки очень быстро нагревается, что может привести к нарушению технологического режима и выходу из строя оборудования. Исследования показали, что наиболее термонапряженным элементом является матрица установки, которая перекрывает канавку вращающегося колеса. При прессовании под матрицей выделяется большое количество теплоты в результате трения о стенки кристаллизатора и пластической

деформации металла. Поэтому основой стабильной работы установки является постоянное поддержание температуры матрицы на достаточно низком уровне.

Одним из способов решения данной проблемы является применение принудительного водяного охлаждения матрицы. Отметим, что такая конструктивная модернизация позволяет также решить и другой важный вопрос – повышение энергетической эффективности установки за счет дальнейшей утилизации теплоты охлаждающей жидкости, обладающей значительным энергетическим потенциалом.

Разработана расчетная схема и проведен сравнительный анализ динамики теплообмена для существующей конструкции установки и с учетом предложенного варианта принудительного охлаждения, где предлагается в объеме матрицы провести каналы, по которым будет протекать охлаждающая жидкость (вода).

Расчетная схема теплообмена между стенками матрицы и охлаждающей жидкостью (водой), протекающей по каналам в ее объеме, представлена на рисунке 2. Как видно из схемы, отображающей один (первый) канал в объеме матрицы, процесс теплопередачи включает в себя теплоотдачу к поверхности матрицы, перенос теплоты теплопроводностью через стенки матрицы и теплоотдачу от стенки к воде.

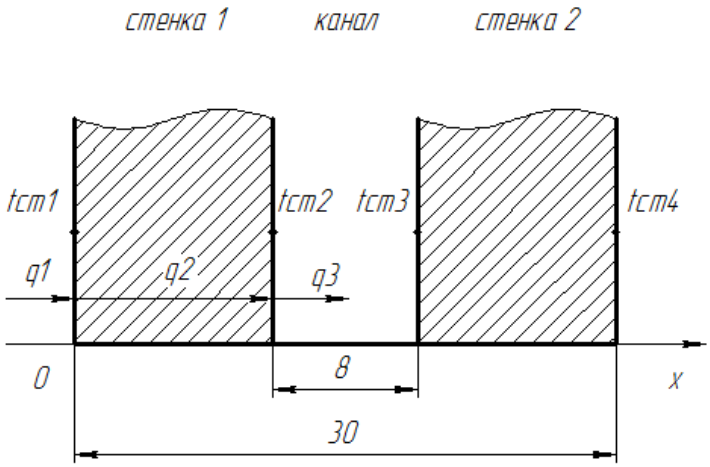


Рис.2 – Расчетная схема теплопередачи через стенки матрицы

В результате математического моделирования, проведенного на базе программного комплекса Ansys CFX, получены зависимости температуры поверхностей матрицы от времени работы установки. Определено, что через 120 с после начала работы установки без охлаждения температура поверхности матрицы достигает 660 °С, центральной части – 580 °С (рисунок 3). Из полученной расчетной зависимости следует, что в начальный момент времени имеет место значительный перепад температуры между поверхностью и центром матрицы, т.е. для данных условий прессования соотношение ее внутреннего и внешнего термического сопротивления характерно для термически массивных тел.

Расчеты при принятом варианте охлаждения (температура воды 16ºС) показали на заметное снижение температуры матрицы: нижней поверхности матрицы на 30°С (до 630 ºС), центральной части в области последнего канала – на 25°С (до 635 ºС). При этом в процессе теплообмена температура охлаждающей воды достигает 330 ºС, что позволяет сделать вывод о возможности утилизации ее теплоты.

Таким образом, расчетами установлено, что при отсутствии системы охлаждения матрицы ее нижняя поверхность и центр прогреваются достаточно быстро. Для обеспечения термостабильных условий работы установки непрерывного литья и прессования необходимо отработать конструкцию и режимы охлаждения матрицы.

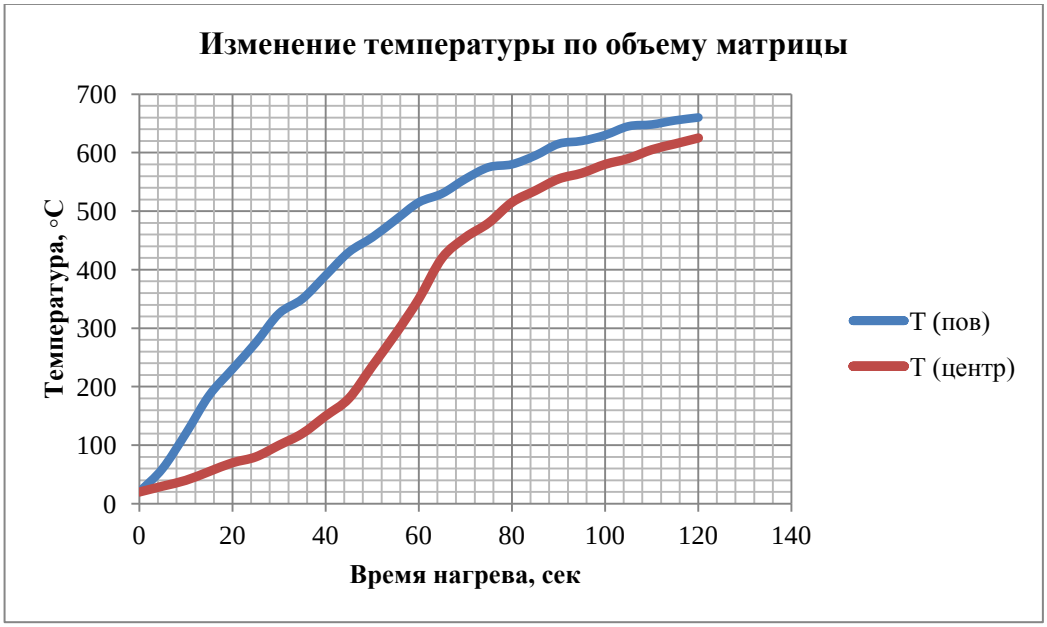


Рис.3 – График зависимости температуры нижней поверхности и центра матрицы от времени

Список литературы

1. Горохов Ю.В., Беляев С.В., Усков И.В. [и др.] Развитие совмещенного непрерывного процесса литья и прессования // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии, 2014. Т. 7. № 4. С. 438-444.

2. Пат. 102550 Российская Федерация, МКП B 21 C 23/08. Установка для непрерывного литья, прокатки и прессования металла / С.В. Беляев, С.Б. Сидельников, Ю.В. Горохов [и др.]; опубл. 10.03.2011, Бюл. № 7.

УДК 620.93

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЕЙ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНЫХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

Ромащенко А. С., Ильин А. С.
научный руководитель д-р техн. наук Бойко Е. А.
Сибирский федеральный университет

В современных общественных и производственных зданиях расход тепла на вентиляцию нередко составляет 60-80 % [1] от общего расхода тепла на все инженерные системы (рис. 1). С ростом требований к теплопотерям через ограждающие конструкции, требования к теплопотерям, связанным с нагревом приточного воздуха, не ужесточаются, что приводит к существенному перераспределению структуры теплопотребления здания. Поэтому приоритетным направлением по повышению энергетической эффективности зданий и сооружений являются мероприятия, связанные со снижением расхода энергии, затрачиваемой на нагрев приточного воздуха, что особенно актуально для районов с длительным отопительным периодом (например, для Красноярского края количество дней отопительного периода составляет 233 [2]).

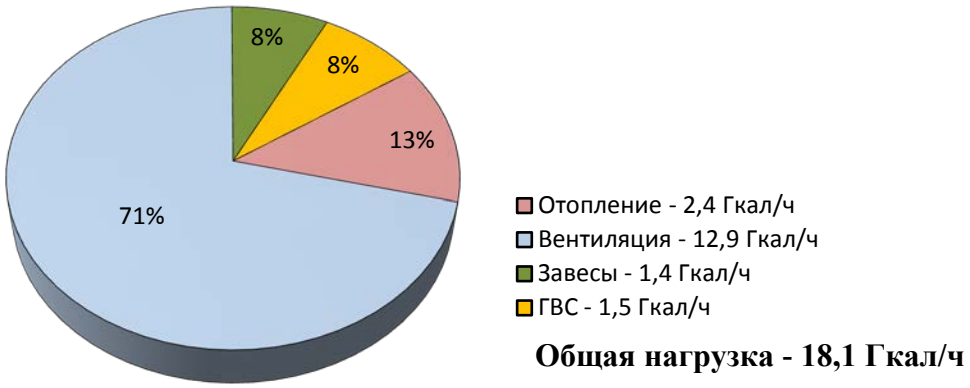


Рис.1 - Структура распределения нагрузок на примере ТРЦ Планета (г. Красноярск)

Тепло, используемое на подогрев приточного воздуха в общественных и производственных зданиях, безвозвратно теряется в окружающую среду с вытяжным воздухом (рис. 2, а). Существующие способы экономии затрат на вентиляцию зданий и сооружений заключаются в утилизации тепла вытяжного воздуха [3]. Наиболее часто в современных системах применяют достаточно дорогие рекуперативные установки на базе пластинчатых и роторных теплообменников, которые позволяют использовать тепло вытяжного воздуха для нагрева приточного (рис. 2, б). Основной недостаток применения систем вентиляции с рекуперацией тепла в условиях Сибири – обмерзание пластин теплообменной поверхности в холодный период времени. Это является причиной снижения их эффективности и как следствие приводит к неудовлетворительной работе системы вентиляции и увеличению затрат на ее эксплуатацию. Одним из простых и дешевых способов повышения энергетической эффективности современных систем вентиляции является использование способа

рециркуляции тепла вытяжного воздуха с одновременным контролем и управлением качества воздуха в помещении, а так же с обеззараживанием вредных примесей с помощью фильтра (рис. 2, в). Снижение эксплуатационных затрат в предлагаемом техническом решении достигается с помощью автоматизированной системы вентиляции, позволяющей регулировать количество подмешиваемого воздуха и подаваемого в помещение по мере необходимости, в то время как в установке с рекуперацией тепла оно является постоянным. Ещё один вариант системы вентиляции – с использованием как рекуперации тепла, так и рециркуляции воздуха (рис. 2, г).

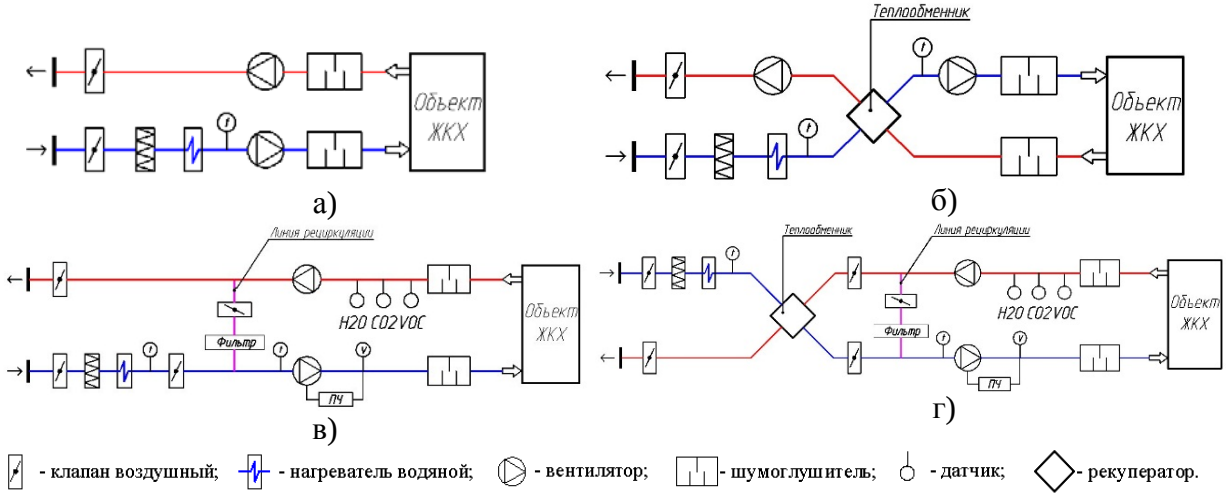


Рис.2 – Варианты исполнения приточно-вытяжной системы вентиляции: а – приточно-вытяжная; б - приточно-вытяжная с рекуперацией тепла; в - приточно-вытяжная с рециркуляцией воздуха; г - приточно-вытяжная с рекуперацией тепла и рециркуляцией воздуха

Сравнительный анализ энергетической и экономической эффективностей четырех вариантов приточно-вытяжных систем вентиляции (рис. 2, а-г) проводится на примере одного этажа с количеством человек 28, площадью 1600 м^2 торгово-офисного здания в г. Красноярске. Экономическая привлекательность вариантов определяется капитальными вложениями и сроком окупаемости (рис. 3). Капитальные вложения включают стоимости оборудования и технических условий. Срок окупаемости учитывает затраты на электрическую энергию, обслуживание системы вентиляции, а так же энергетическую эффективность, то есть количества тепла, затраченного на подогрев наружного приточного воздуха в течение года. Так как каждая из четырех систем имеет разную энергетическую эффективность, то и стоимость технических условий будет разной.

Количество тепла, затраченного на эксплуатацию всех вариантов систем вентиляции, определяется с учетом температур наружного воздуха $t_{\text{н}}^{i}$, длящихся период времени τ^{i} в течение года [4]. Общая формула для определения затрат теплоты на нагрев наружного воздуха, кВт·ч, имеет следующий вид:

$$Q^{i} = V\rho c(t_{\text{пр}} - t_{\text{н}}^{i})(1-\eta)\tau^{i}, \qquad 1)$$

где V – расход холодного приточного воздуха, м^3/ч;
ρ – плотность воздуха, кг/м^3;
c – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·К);

$t_{пр}$ – температура нагретого приточного воздуха (принимается в расчетах 20 ^{0}C);

$t_н^i$ – температура наружного воздуха, ^{0}C [4];

η – эффективность вентиляционной установки с рекуперацией тепла (по данным производителя составляет 0,765);

τ^i – продолжительность повторяемости температуры наружного воздуха $t_н^i$ в течение года, час [4].

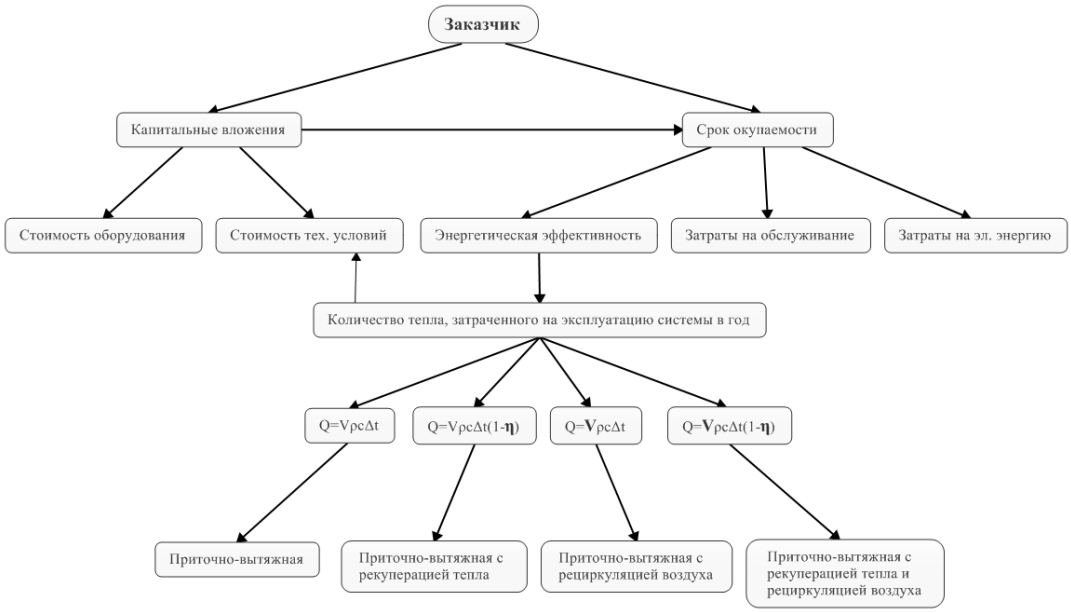


Рис.3 – Схема сравнения энергетической и экономической эффективностей вариантов систем вентиляции

Годовые затраты тепла, кВт·ч/год (рис. 4):

$$Q = \sum Q^i. \qquad 2)$$

Отличие энергетического эффекта разных вариантов систем вентиляции обусловлено наличием или отсутствием рекуперации тепла (η) и расходом холодного приточного воздуха V, который может быть определен двумя способами [5]:

1. на основе удельных норм воздухообмена;
2. на основе расчета воздухообмена, необходимого для обеспечения допустимых концентраций загрязняющих веществ.

Для вариантов приточно-вытяжных систем вентиляции без мероприятий по повышению энергетической эффективности (рис. 2, а) и только с рекуперацией тепла (рис. 2, б) расход приточного воздуха, рассчитанный на основе удельных норм воздухообмена, составляет 3960 м^3/ч (в том числе 3420 м^3/ч для вентиляции офисов, 540 м^3/ч – для бытовых помещений). В случае применения рециркуляции воздуха и автоматизации системы вентиляции (рис. 2, в, г), количество холодного приточного воздуха, рассчитанное из условия поддержания необходимого уровня чистоты вытяжного воздуха, составляет 1884 м^3/ч. Основным критерием качества воздуха является концентрация CO_2. Необходимый расход свежего приточного воздуха, м^3/ч [6]:

$$V = \frac{G_ч n_ч}{ПДК_{CO2} - C_{пр}} + V_{быт}, \quad 3)$$

где $G_ч$– вредные выделения в помещении от людей (принимается в расчетах 24 л/ч) [6];

$n_ч$ – число людей в помещении (по исходным данным 28 человек);

$ПДК_{CO2}$ – предельно допустимая концентрация CO_2, соответствующая среднему качеству воздуха в помещении (принимается по ГОСТ 30494-2011 1000 ppm) [5];

$C_{пр}$ – концентрация CO_2 в приточном (наружном) воздухе в г. Красноярске (в результате замера составила 500 ppm);

$V_{быт}$ – расход воздуха для вентиляции бытовых помещений (540 м^3/ч).

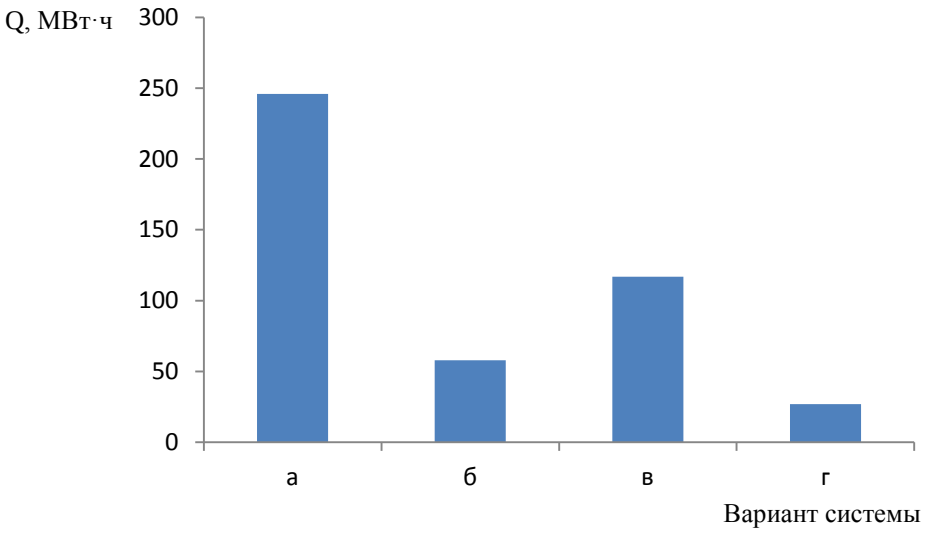


Рис.4 – Сопоставление годовых затрат тепла на вентиляцию

Наибольшей энергетической эффективность обладает вариант системы вентиляции с использованием рекуперации тепла и рециркуляции воздуха (рис. 2, г) за счёт использование тепла вытяжного из помещения воздуха и автоматизации, позволяющей регулировать количество холодного воздуха по мере необходимости.

Расчет срока окупаемости рассматриваемых вариантов оценивается по формуле, лет:

$$Т_{ок} = \frac{Э_{ву} - \Delta Э_{ту}}{\Delta Q \cdot Э_{тэ} - N \cdot Э_{ээ}}, \quad 4)$$

где $Э_{ву}$ – стоимость вентиляционной установки (1,5 млн. руб с рекуперацией тепла, 0,5 млн. руб – с рециркуляцией воздуха);

$\Delta Э_{ту}$ – разница в стоимости технических условий, млн. руб;

ΔQ – количество сэкономленной тепловой энергии, кВт·ч;

$Э_{тэ}$ – стоимость тепловой энергии (принята 1300 руб/Гкал);

N – мощность привода ротора теплообменника вент. установки (по данным производителя составляет 1,6 кВт и учитывается только в системах б, г);

$Э_{ээ}$ – стоимость электрической энергии (принята 3 руб/кВт · ч).

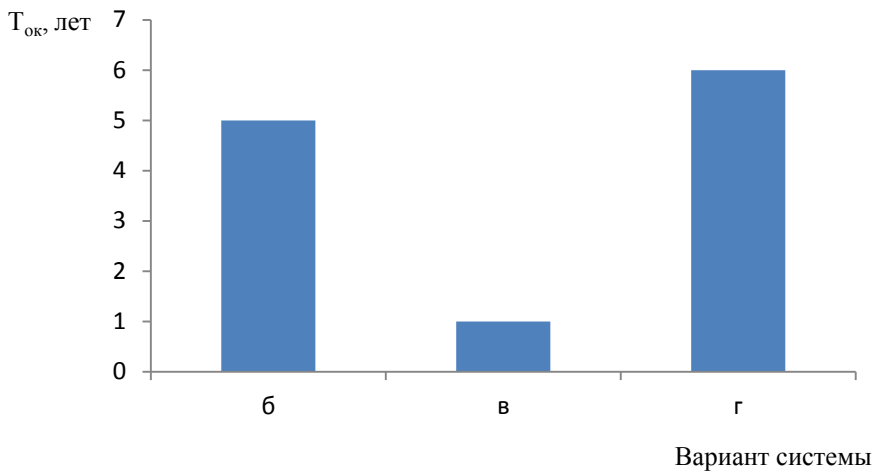


Рис. 5 – Анализ сроков окупаемости предлагаемых вариантов технических решений

Из рисунка 5 видно, что срок окупаемости варианта с рециркуляцией воздуха (рис. 2, в) значительно ниже остальных систем. Это объясняется тем, что, во первых, в расчете принята одна из самых высоких стоимостей вентиляционной установки с рекуперацией тепла, существующих на рынке, во вторых, при оценке срока окупаемости в варианте с рециркуляцией воздуха не учитывались затраты на обслуживание системы (замена фильтра) и стоимость работ по проектированию и монтажу автоматизации. В то же время в расчетах не учитывался основной недостаток систем с рекуперацией тепла – обмерзание пластин в холодный период времени, который отрицательно сказывается на энергетической и экономической эффективностях. Вариант исполнения системы вентиляции, использующий оба способа снижения количества теплоты для подогрева холодного воздуха (рис. 2, г), может стать более привлекательным из-за возможности периодической подачи холодного воздуха в помещение, что дает следующие преимущества:

1. теплообменная поверхность рекуперативной установки не будет обмерзать за период времени, в который подается свежий приточный воздух;
2. возможность использования более дешевого варианта теплообменника, не включающего в себя мероприятий по предотвращению обмерзания пластин.

Список литературы

1. Табунщиков Ю. А. Энергоэффективные здания и инновационные инженерные системы // АВОК – 2014. – №1.
2. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99.
3. Вишневский Е. П. Рекуперация тепловой энергии в системах вентиляции и кондиционирования воздуха // С.О.К. – 2004. – №11.
4. Пособие с СНиП 23-01-99. Строительная климатология.
5. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
6. Губернский Ю. Д., Гурина И. В., Шилькрот Е. О. Качество воздуха и энергоэффективность систем вентиляции общественных зданий // Экологические системы – 2011. – №5.

УДК 620.91

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ ТЫВА

Салчак О.А.
научный руководитель д-р техн. наук, проф. Баранова М. П.
Сибирский федеральный университет

Биогазовая установка (БГУ) предназначается для выработки горючего газа, состоящего на 70-80% объема из метана (CH_4) и на 20-30% объема из CO_2, а также высококачественного удобрения. Производимый в БГУ горючий газ по своей теплотворной способности (5-6 тыс. ккал/м^3) сопоставим с керосином, углем и бутаном, будучи в 1,5—3 раза дешевле их по стоимости и экологичнее. С помощью БГУ не только производится необходимое топливо, но и утилизируются разнообразные хозяйственные отходы (навоз и стоки животноводческих объектов, отходы жилой зоны, растениеводства), вследствие чего делаются ненужными очистные сооружения, а также другие меры, связанные с защитой окружающей среды. Нуждаясь в электро-, теплоэнергии и воде, биогазовая установка «переваривает» практически все отходы биологического происхождения, вырабатывая топливо и высококачественные удобрения для поля и тепличного хозяйства[1].

Целью работы был анализ данных по технологии применения биогазовых установок в климатических условиях Тывы.

Республика Тыва располагает значительным потенциалом возобновляемых источником энергии, который в разы превышает энергетические потребности республики.

Наиболее эффективным возобновляемым источником энергии для сельскохозяйственных производителей является биогаз, получаемый из органических отходов любого вида. Технологию производства биогаза отличают повсеместная доступность ресурсов и возможность их накопления, возможность производства органических удобрений как часть технологического процесса, утилизация вредных выбросов и отсутствие эмиссии парников газов, большой опыт использования технологии, как в развитых, так и в развивающихся странах, в частности, в соседнем Китае.

Суммарный энергетический потенциал отходов сельского хозяйства в республике может составлять 100-150 тыс. т в год, или порядка трети ТЭБ Тывы. Основную массу этих отходов составляет навоз мелкого рогатого скота[2].При сгорании 1 м^3 биогаза с 50% содержанием метана получают 17,8 МДж энергии, при 70% содержании – 25 МДж получают 17,8 МДж энергии, при 70% содержании – 25 МДж [4]. При сгорании 1 м3 природного газа получают 34 МДж, 1 кг жидкого топлива – 42 МДж[3].

Тем не менее, реализация этого потенциала в условиях Тывы затруднена и сталкивается с рядом технологических и производственных рисков и ограничений. Это связано с малым размером хозяйств республики, кочевым характером сельскохозяйственного производства и климатическими условиями региона.

Мобильные биогазовые установки малой мощности, которые производятся, в том числе и в России, крайне подвержены влиянию низких температур. Это связано с отсутствием достаточного уровня герметичности и теплоизоляции, что в условиях резкоконтинентальных зим Тывы может привести к остановке процесса метанового брожения и выхода установки из строя.

Несмотря на относительно малые размеры такой установки, перемещение ее между чабанскими стоянками также весьма затруднительно. Пастбищная форма животноводства не позволяет эффективно снабжать такую установку сырьем (навозом скота).

В области крупных промышленных биогазовых установок экономически эффективными являются биогазовые установки мощностью от 300 кВт (или 40 т органических отходов в сутки), что эквивалентно ежедневным отходам отары поголовьем 15-17 тыс. овец стойлового содержания с системой автоматического удаления отходов. В республике на сегодняшний день таких хозяйств нет. Даже для крупнейшей птицефабрики региона «Енисейский», с отходами порядка 10-15 т в сутки, использование биогазовых технологий является пока малорентабельным[2].

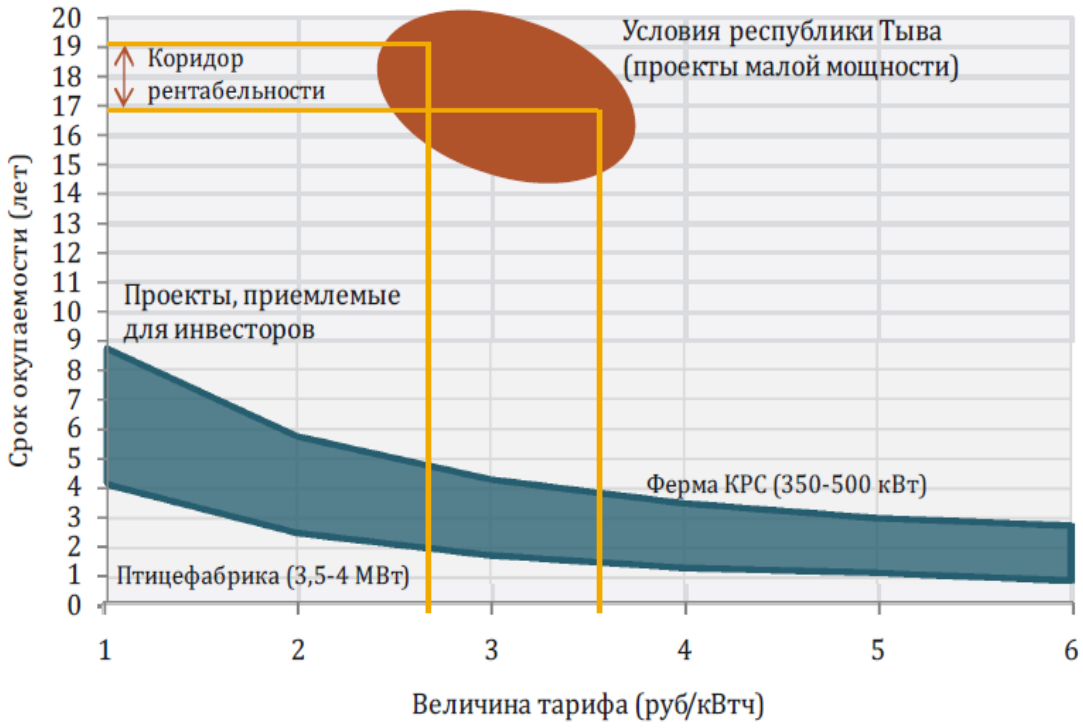


График 1 - Окупаемость биогазовых проектов в условиях Тывы

По мере роста тарифов на электроэнергию и в случае появления крупных птицефабрик и ферм КРС в пригородных районах Кызыла и Ак-Довурака, биогазовые технологии станут более рентабельны[2].

Основным возобновляемым энергетическим ресурсом лесной биомассы являются пеллеты (спрессованные древесные гранулы). Они производятся из отходов лесозаготовки и лесопереработки и могут быть использованы как топливо в муниципальных котельных, в том числе для генерации электроэнергии.

Площадь лесов республики составляет 80 тыс. км^2, или почти половину территории Тывы. Несмотря на существенный ресурсный потенциал, лесное хозяйство развито слабо (вырубка составляет менее 5% расчетной лесосеки на заготовительных участках), а почти половина заготовки древесины делается в энергетических целях (дрова используются для теплоснабжения)[2].

Известно, что для приготовления пищи, особенно в неотопительный период, фермеры и животноводы используют дрова. Используемые сегодня дровяные очаги для приготовления пищи имеют КПД 14-15%. А ведь у каждого животновода за забором

куча неиспользуемого навоза. Применение биогазовых установок и более совершенных устройств для приготовления пищи намного упрощает жизнь и улучшает экологию[3].

Установление железнодорожного сообщения между Тывой и Красноярским краем должно стимулировать развитие лесопромышленного комплекса региона, что создаст достаточный объем отходов в лесозаготовки и лесопереработки для развития пеллетного производства, а затем и пеллетной генерации. В этом направлении, в частности, происходит развитие муниципальной энергетики ряда регионов Европейской части России (Вологодской области, Карелии, Краснодарского края).

Большое распространение в некоторых странах (индия, Китай и др.) получили малые биогазовые установки, утилизирующиеотходы для одной семьи. Эти установки весьма просты и несовершенны. Для больших ферм со значительным количеством отходовсоздаются более эффективные установки.

Самой значимой проблемой является низкая заинтересованность населения и организаций в применении биогазовых установок, чтосвязано с отсутствием специальной стратегии развития малой и возобновляемой энергетики в регионах.

Таким образом, можно сделать вывод, что технология получения биогаза из углеводородного сырья в климатических условиях Тывы достаточно перспективна и может успешно использоваться в установках разного промышленного масштаба.

Список литературы

1. Сибикин, Ю. Д. Нетрадиционные и возобновляемыеисточники энергии: учебное пособие /Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – М.-Берлин:Директ-Медиа, 2014. – 229 с.

2. Бондарев А. И. Рекомендации по развитию альтернативных источников энергии для сельских районов Республики Тыва. – Красноярск: WWF России, Oxfam-GB, AEnergy.ru, 2011г. – 44 с.

3. Ондар Д.Д. Проблемы и перспективы использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии в Республике Тыва. - Омск: ОмГТУ, 2013. – 25с.

УДК 662.933.12

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭКОЛОГО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЭС

Седельников Н. В.
научный руководитель д-р. тех. наук, проф. Дубровский В. А.
Сибирский федеральный университет

Расширение потребления угольного топлива в России обусловлено, прежде всего, освоением углей Канско-Ачинского бассейна – крупнейшего буроугольного бассейна России, который является основой энергетической безопасности нашей страны. Более половины потребления канско-ачинских углей (КАУ) приходится на теплоэнергетику Красноярского края.

В лаборатории «Эколого энергоэффективное сжигание углей» кафедры «Тепловые электрические станции» Политехнического института «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].

Исследования по отработке режимов работы опытного образца горелочного устройства выполнялись при различных расходах потока угольной пыли - от минимальных оборотов пылепитателя – 300 об/мин до максимальных значений – 1500об/мин., что соответствует максимальному расходу канско-ачинского угля на горелку – 5 т/ч и тепловой мощности горелки 23,7 МВт.

Расход угольной пыли изменялся ступенчато, с интервалом через 300 об/мин. пылепитателя (300, 600, 900, 1200, 1500 об/мин).

Для проведения исследований использовался прибор марки ДМЦ-01М, с помощью которого измерялось статическое давление, скорость и расход воздуха.

Средние значения результатов измерений представлены в таблицах 1-3.

Таблица 1 – Пыль высокой концентрации (ПВК)

Количество оборотов	**Давление, МПа**	**Скорость, м/с**	**Расход, $м^3/ч$**
600,00	78,67	27,40	352,00
900,00	76,55	26,80	345,00
1200,00	115,52	30,86	382,00
1500,00	72,47	25,77	337,67

Таблица 2 – Тангенциальный воздух

Количество оборотов	Давление, МПа	Скорость, м/с	Расход, $м^3/ч$
600	779,50	86,33	1380
900	776,68	86,17	1380
1200	776,97	86,17	1380
1500	780,05	86,33	1380

Таблица 3 – Горячий воздух

Количество оборотов	Давление, МПа	Скорость, м/с	Расход, $м^3/ч$
600	5,18	9,87	562,00
900	4,37	9,03	516,33
1200	2,45	6,80	369,00
1500	1,04	4,40	251,33

На каждом режиме работы для ликвидации шлакования муфельной части горелки поддерживалась температура продуктов газификации на выходе из горелочного устройства в пределах 980–1050 °С путем регулирования расхода горячего первичного воздуха на горелку (График 1).

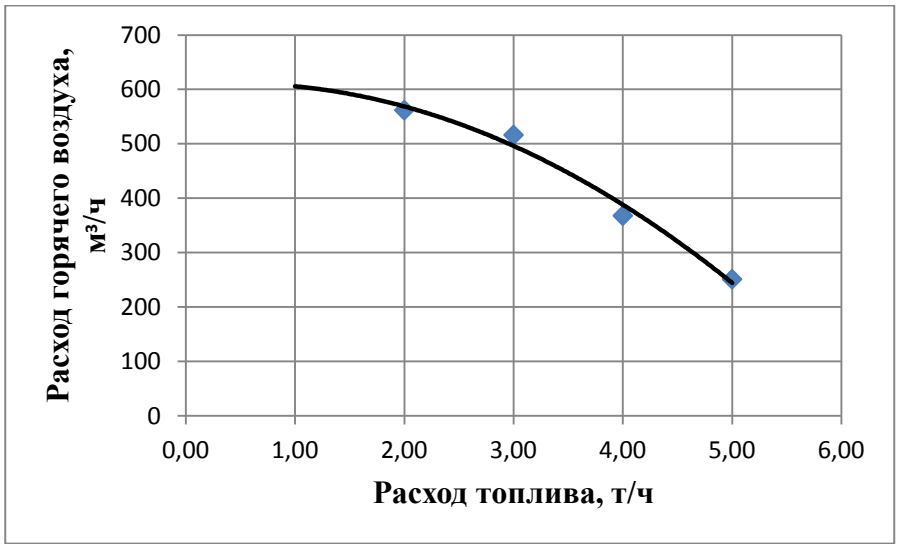


График 1 – Зависимость расхода горячего воздуха от расхода топлива

Для всех режимов работы горелочного устройства определялась глубина газификации топлива в муфельной части, путем измерения расхода первичного воздуха и топлива на горелку.

Определение коэффициента избытка воздуха при 600 об/мин пылепитателя:

Исходные данные (см. табл. 1-3):

$V_{ср}^{гор} = 562$ м^3/ч; $V_{ср}^{ПВК} = 354$ м^3/ч; $V^{танг} = 1380$ м^3/ч.

$$\sum V = 562+354+1380 = 2296 \quad м^3/ч$$

Расход транспортируемой пыли, кг/час:

$$B_m^{600} = \frac{600}{1500} \cdot 5000 = 2000$$

Действительный расход воздуха, $м^3/кг$:

$$V_в^д = \frac{\sum V}{B_m^{600}} = \frac{2296}{2000} = 1{,}146$$

Теоретический расход воздуха принимаем из теплового расчета котла, $м^3/кг$:

$$V_в^0 = 4{,}149$$

Тогда коэффициент избытка воздуха при 600 об/мин пылепитателя:

$$\alpha^{600} = \frac{V_в^д}{V_в^0} = \frac{1{,}146}{4{,}149} = 0{,}276$$

Аналогично, по приведенной выше методике можно определить коэффициент избытка воздуха в муфельной части горелочного устройства для следующих оборотов пылепитателя: 900, 1200, 1500 об/мин.

Полученные результаты сведены в таблицу 4 и представлены на графике 2.

Таблица 4 – Коэффициенты избытка воздуха от расхода топлива на горелку

Расход топлива, т/ч	**Количество оборотов**	**Коэффициент избытка воздуха**
2,00	600,0	0,276
3,00	900,0	0,172
4,00	1200,0	0,127
5,00	1500,0	0,095

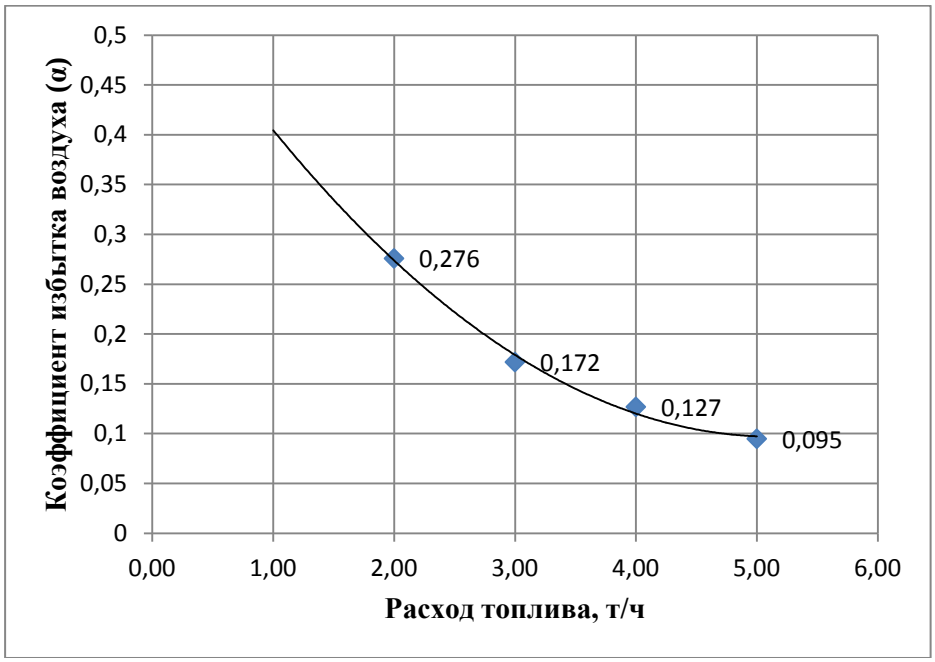


График 2 – Зависимость коэффициента избытка воздуха (α) в муфельной части горелки от расхода топлива

Исследованиями установлено, что по мере увеличения мощности горелки глубина газификации потока угольной пыли канско-ачинского угля значительно увеличивается.

Так, например, при работе пылепитателя угля на 600 об/мин, что соответствует расходу топлива 2 т/час, коэффициент избытка воздуха в муфельной части горелочного устройства составляет 0,276, а при максимальных оборотах пылепитателя (1500 об/мин, при расходе топлива 5тонн/час) коэффициент избытка воздуха составляет всего 0,095.

Такой глубокий режим термической подготовки потока угольной пыли в объеме горелочного устройства будет способствовать:

– получению высококалорийных газообразных продуктов газификации топлива, что обеспечит эффективный режим работы топочной камеры как при пуске котла из холодного состояния, так и при пониженных нагрузках для обеспечения подсветки факела;

– стабилизации процесса горения;

– уменьшению шлакования поверхностей нагрева топочной камеры котлов за счет ликвидации восстановительных зон горения топлива в объеме топочной камеры, что обеспечит повышение коэффициента использования установленной мощности котлов и увеличения нагрузки до номинальных значений;

– значительному снижению образования топливных оксидов азота за счет образования восстановительной среды в муфельной части горелки;

– повышению экономичности работы котла при снижении механического недожога за счет более глубокого выгорания топлива;

– применению высокореакционных газовых каменных углей с выходом летучих веществ более 30%

– вовлечению в топливно-энергетический баланс страны окисленных углей, которые в настоящее время при добыче угля уходят вместе с пустой породой в отвал.

В результате проведенных исследований на котле БКЗ-420 Красноярской ГРЭС-2 определены оптимальные режимы работы опытного образца автоматизированного универсального горелочного устройства и составлена режимная карта работы.

Выводы:

Таким образом, исследования, проведенные на котле БКЗ-420 ст. №9Б филиале ПАО «ОГК-2»–Красноярская ГРЭС-2 убедительно показали высокую эффективность применения технологии сжигания углей Канско-Ачинского бассейна с применением универсальных горелочных устройств (УГУ), оснащенных системой предварительной термической подготовки.

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 620.97

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ УСТАНОВОК, РАБОТАЮЩИХ НА ОРГАНИЧЕСКОМ ЦИКЛЕ РЕНКИНА

Скадин А.А.
научный руководитель Карабарин Д.И.
Сибирский федеральный университет

Потребление энергии в мире ежегодно увеличивается, при этом значительную часть ее составляет тепловая энергия. К сожалению, значительная часть тепловой энергии вообще не используется, либо используется крайне неэффективно, неконтролируемо выбрасываясь.

Одним из способов восстановления сбросного тепла является применение энергетических установок, работающих по циклу Ренкина с альтернативными рабочими телами, в качестве которых обычно используются органические вещества, с более низкой, чем у воды, температурой кипения. Благодаря этому обстоятельству появляется возможность реализации цикла Ренкина при более низкой температуре. Соответствующий цикл получил название органический цикл Ренкина(ОРЦ). Принято считать, что источник энергии является низкопотенциальным, если его температура не превышает 500-570К (230-300°С). Данный способ нашел свое применения во многих сферах разных стран. Ниже приведены конкретные примеры внедрённых установок, работающих на органическом цикле Ренкина.

В Индонезии к концу 2011 года электрификация составляла 74%. Это говорит о том, что 26% населения не имеют доступной электроэнергии. С целью ликвидировать данную проблему индонезийский институт наук (LIPI) разработал малогабаритную солнечную электростанцию с использованием ОРЦ, которая может работать в отдаленных, изолированных районах или на небольших островах [1]. Характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики установки

Рабочее тело ОРЦ системы	Получаемая мощность	Термический КПД
R123	10 кВт	10,63%

У Китайской компании Shijiazhuang Refining & Chemical Company имеется пять источников тепловых отходов с различными температурами, подлежащих утилизации. В связи с этим была спроектирована комплексная ОРЦ-система, включающая в себя две интегрированные подсистемы, работающие на одной и той же рабочей жидкости [2]. Характеристики приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Характеристики установки

Рабочее тело ОРЦ системы	Получаемая мощность	Термический КПД
R141b	3325 кВт	10,25%

Университетская больница Ourense Hospital в рамках повышения энергоэффективности приобрела ОРЦ-установку, изготовленную испанской компанией Rank, а после был проведен ряд экспериментов в полном рабочем диапазоне для установления оптимального режима работы [3]. Характеристики установки приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики установки

Рабочее тело ОРЦ системы	Получаемая мощность	Термический КПД
R245fa	30.91 кВт	8%

Китайский университет Tsinghua University спроектировал ОРЦ-установку для утилизации тепла судового дизельного двигателя, произведенного компанией Hudong Heavy Machinery Co., Ltd. Установка включает в себя две системы: контур для утилизации тепла охлаждающей воды и контур для утилизации тепла выхлопных газов двигателя [4]. Характеристики систем приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Характеристики систем

	Рабочее тело ОРЦ системы	Получаемая мощность	Термический КПД
Тепло выхлопных газов	Бензол	90.8 кВт	21.3%
Тепло охлаждающей воды	R245fa	10.3 кВт	5.2%

Лаборатория энергетических систем итальянского университета Cassino University разработала и протестировала при многочисленных рабочих условиях малогабаритную станцию, работающую на ОРЦ с целью оценить возможности установок подобного рода [5]. Характеристики установки приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Характеристики установки

Рабочее тело ОРЦ системы	Получаемая мощность	Термический КПД
R245fa	1 кВт	9.28%

В связи с тем, что требуются разные виды энергии, целесообразно комбинировать ОРЦ с другими циклами. Так, например, комбинирование с циклами более высоких температур на примере ПГУ - теплового коллектора и ОРЦ выполнили M.C. Cameretti и др. [6]. Как показывает данное исследование, комбинирование этих циклов позволяет уменьшить расход сжигаемого газа на 2% и выработать дополнительную электрическую энергию.

Также многие исследователи занимаются анализом органических жидкостей, которые используются в качестве рабочих тел для ОРЦ. В польском Западнопоморском технологическом университете был произведен анализ работы ОРЦ на четырех рабочих телах: метилциклогексан, октаметилтрисилоксан, метанол и вода. Помимо сравнения также были проанализированы три варианта распределения вырабатываемой энергии между производством электрической и тепловой для сушильной камеры [7]. Результаты приведены на рисунке 1.

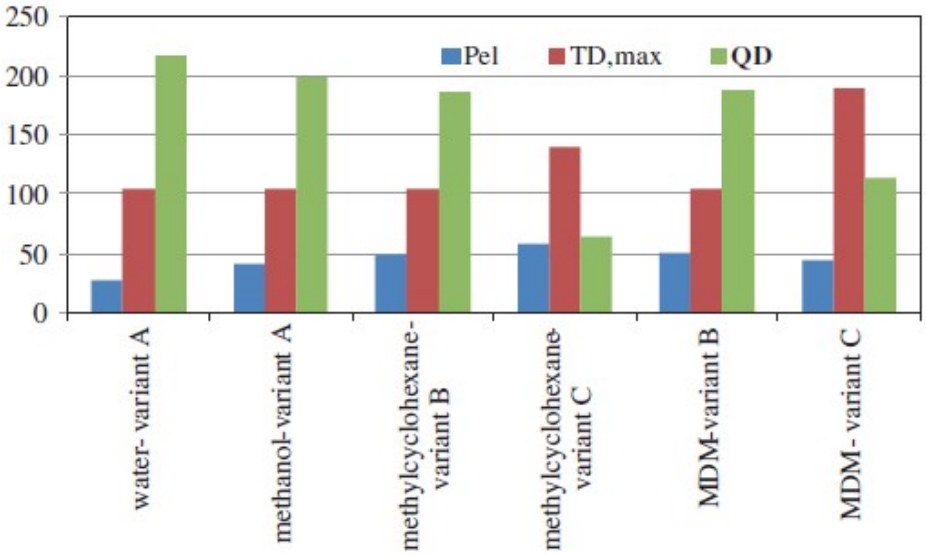


Рис.1 – Влияние рабочего тела на выработку энергии

Помимо приведенных примеров в рамках программы CDIO для 2 курса команда «Парэнерго», возглавляемая мной, занимается разработкой установки на органическом теплоносителе, позволяющей вырабатывать электрическую энергию на горячей воде от котла. В данный момент только начинается стадия монтажа. Расчетная тепловая схема установки представлена на рисунке 2. Предполагаемые характеристики приведены в таблице 6.

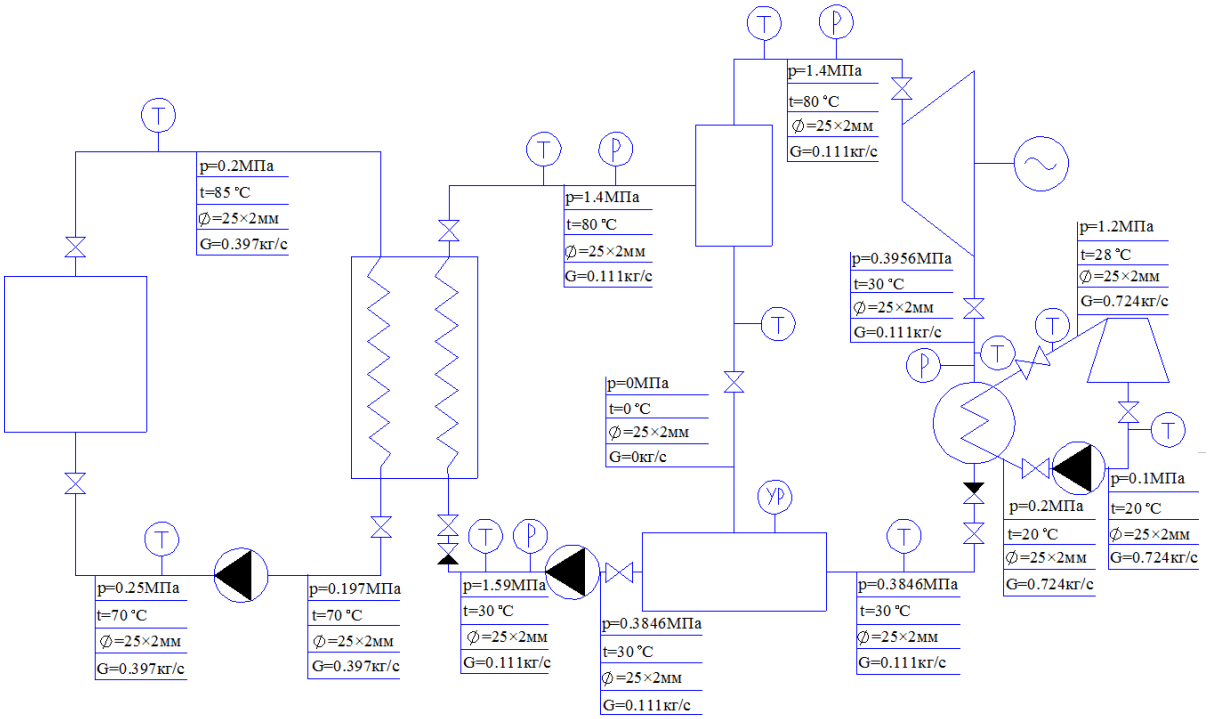


Рис.2 – Расчетная схема установки, реализующей ОЦР

Таблица 6 - Характеристики установки

Рабочее тело ОРЦ системы	Получаемая мощность	Термический КПД
R142b	1кВт	10%

Список литературы

1. G. Pikra, A. Salim, B. Prawara, A. J. Purwanto, T. Admonoa, Z. Eddy. Development of small scale concentrated solar power plant using organic Rankine cycle for isolated region in Indonesia // Energy Procedia 32 (2013) 122 – 128.

2. Jian Song, Yan Li, Chun-wei Gu, Li Zhang. Thermodynamic analysis and performance optimization of an ORC (Organic Rankine Cycle) system for multi-strand waste heat sources in petroleum refining industry // Energy 71 (2014) 673-680.

3. Bernardo Peris, Joaquín Navarro-Esbrí, Francisco Moles, Manuel Gonzalez, Adrian Mota-Babiloni. Experimental characterization of an ORC (organic Rankine cycle) for power and CHP (combined heat and power) applications from low grade heat sources // Energy 82 (2015) 269-276.

4. Jian Song, Yin Song, Chun-wei Gu. Thermodynamic analysis and performance optimization of an Organic Rankine Cycle (ORC) waste heat recovery system for marine diesel engines // Energy 82 (2015) 976-985.

5. E. Galloni, G. Fontana, S. Staccone. Design and experimental analysis of a mini ORC (organic Rankine cycle) power plant based on R245fa working fluid // Energy 90 (2015) 768-775.

6. M.C. Camerettia, F. Ferrarab, A. Gimellic, R. Tuccillod. Combined MGT – ORC solar – hybrid system // Energy Procedia 81 (2015) 368 – 389.

7. A. Borsukiewicz-Gozdur, S. Wisniewski, S. Mocarski, M. Bankowski. ORC power plant for electricity production from forest and agriculture biomass // Energy Conversion and Management 87 (2014) 1180–1185.

УДК 62-173

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕКОНСТРУКЦИИ И ПУСКО-НАЛАДОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ КОТЛОАГРЕГАТА П-49 НАЗАРОВСКОЙ ГРЭС

Шестаков Е.О.
научный руководитель д-р техн. наук, проф. Бойко Е.А.
Сибирский федеральный университет

Длительный опыт эксплуатации прямоточного котельного агрегата П-49 с жидким шлакоудалением, N-образной компоновки и центральным пылезаводом в составе энергоблока К-500-240 Назаровской ГРЭС (ст. №7) показал низкую эффективность и надежность работы при сжигании углей Назаровского месторождения. Коэффициент использования установленной мощности энергоблока составляет 25-28%. При номинальной паропроизводительности котла 1600 т/ч фактическая нагрузка не превышает 1280 т/ч, при проектном к.п.д. брутто котла 91,2% действительное значение к.п.д. составляет 86,4%. Данная ситуация обусловлена высокими шлакующими свойствами Назаровских углей, высокими температурными неравномерностями в сечениях как по высоте так и по ширине топки, неудачной компоновкой и конструктивными характеристиками поверхностей нагрева котельного агрегата.

В этой связи в 2014 году было принято решение ООО «Сибирская генерирующая компания» о выполнении реконструкции котла путем перевода топочной камеры котла на низкотемпературное вихревое сжигание (НТВ) топлива. В частности, предложена реконструкция в нижней части топки фронтового и заднего экранов таким образом, чтобы сформировать скаты «холодной» воронки, которые перекрывают друг друга в плане (по осям экранных труб) на 50 мм. В нижней части «холодной» воронки трубами фронтового и заднего экрана образовано устье для выхода шлака из топки (см. рис. 1).

По условию работы топки с использованием НТВ технологии сжигания нижняя (вихревая) часть топки выполняется в газоплотном исполнении. В вихревой зоне топки у заднего экрана топки устанавливаются в ряд 10 внутритопочных ширм (при моделировании режимов работы топки принято 11 ширм, однако по конструктивным условиям установить ширму по центру топки невозможно – мешает каркас). Зазор между осью крайней трубы ширмы и осью трубы заднего экрана составляет 500 мм. В верхней части топки панели заднего экрана образуют аэродинамический выступ, предназначенный для улучшения аэродинамики газового потока на выходе из топки. Нижняя образующая выступа имеет наклон к горизонту 45°, верхняя – 60°, вылет в топку составляет 1800 мм. Так же для организации НТВ процесса топку оснащена следующими горелочно сопловыми устройствами:

- на нижней образующей фронтового аэродинамического выступа установлено в ряд 12 пылеугольных горелок щелевого типа (пересечение оси горелки и оси экранных труб на отметке +15,056 м);
- в устье холодной воронки под задним экраном по всей ширине топки котла установлена система нижнего дутья, состоящая из 8 блоков;
- на задней стене топки установлено два яруса сопел третичного дутья: нижний ярус сопел третичного дутья состоит из 24 сопел и устанавливается на отм. +11,303 м под углом 53° к горизонту; средний ярус состоит из 12 сопел и устанавливается на отм. +15,570 м под углом 37° и предназначен для подачи газов рециркуляции и воздуха. Топка после реконструкции представлена на рис. 2.

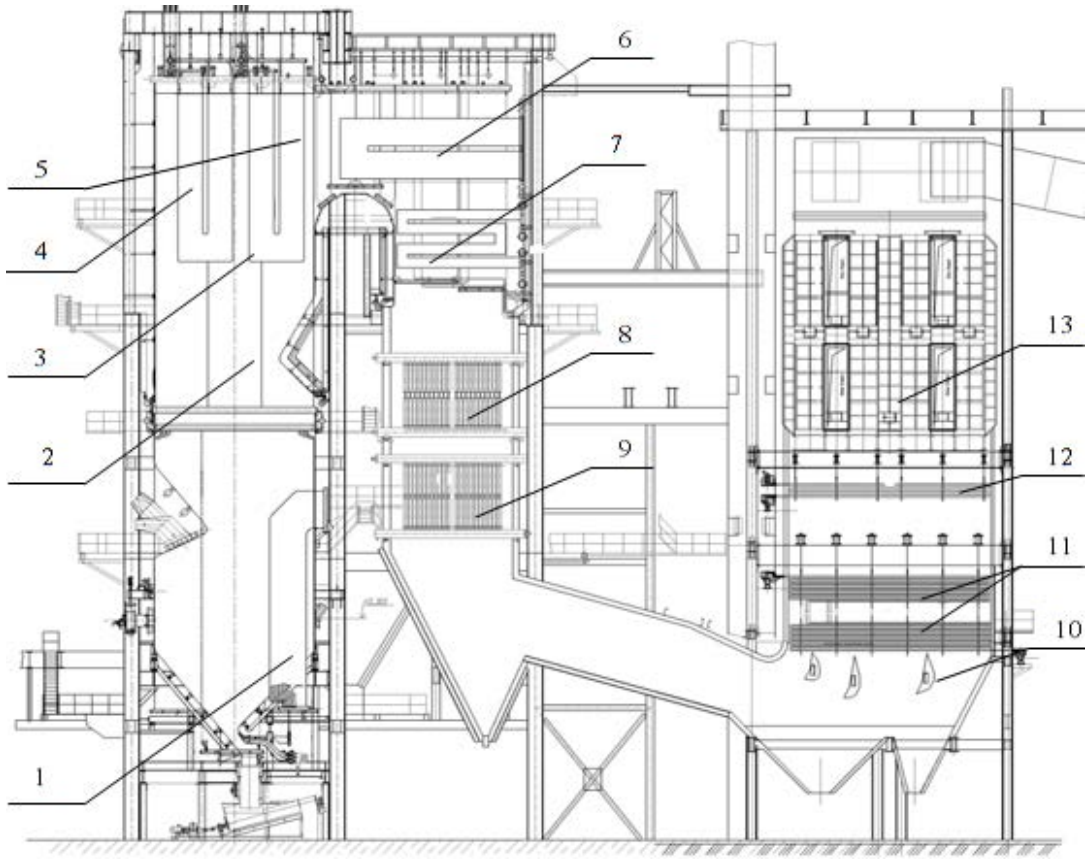


Рис.1 - Общий вид котельного агрегата П-49: 1- ШНРЧ - ширмы НРЧ; 2 – НРЧ (газоплотное исполнение); 3 – СРЧ (гладкотрубное исполнение); 4 – ШПП 1 - ширмовый первичный пароперегреватель 1-й ступени; 5 – ШПП 2, 3 - ширмовые первичные пароперегреватели 2-й и 3-й ступеней; 6 – ШПП 4, 5 - ширмовые первичные пароперегреватели 4-й и 5-й ступеней; 7 – ШВП 3 - ширмовый вторичный пароперегреватель 3-й ступени; 8 – ШВП 2 - ширмовый вторичный пароперегреватель 2-й ступени; 9 – ШВП 1 - ширмовый вторичный пароперегреватель 1-й ступени; 10 – вставки выравнивающие; 11 – ЭК ВД - экономайзер высокого давления; 12 – ЭК НД - экономайзер низкого давления; 13 – ТВП - трубчатый воздухоподогреватель

Результаты пуско-наладочных испытаний котельного агрегата в течение 2015 года на различных нагрузках выявил следующие режимные и энергетические показатели. Нагрузка котла, приведенная к номинальной – 500..570 т/ч, первый режим работы – нагрузка 800 т/ч. Причина низкой нагрузки – поломка ТНП А, нагрузка 800 т/ч была зафиксирована при работе на ТНП Б. Температура питательной воды изменялась в расчётном диапазоне от 228 °С до 250 °С. Параметры пара – номинальные. Воздушный режим – с подачей газов рециркуляции при помощи одного ДРГ в шлицы третичного дутья. Котел работал на смеси Бородинского и Назаровского бурых углей (характеристики углей приведены в таблице 1). Смесь выполнена в пропорции 50/50. Влажность пыли – 12-15 %. Вентиляция молотковых мельниц на пылезаводе составляет 70-80 тыс. $м^3$/час.

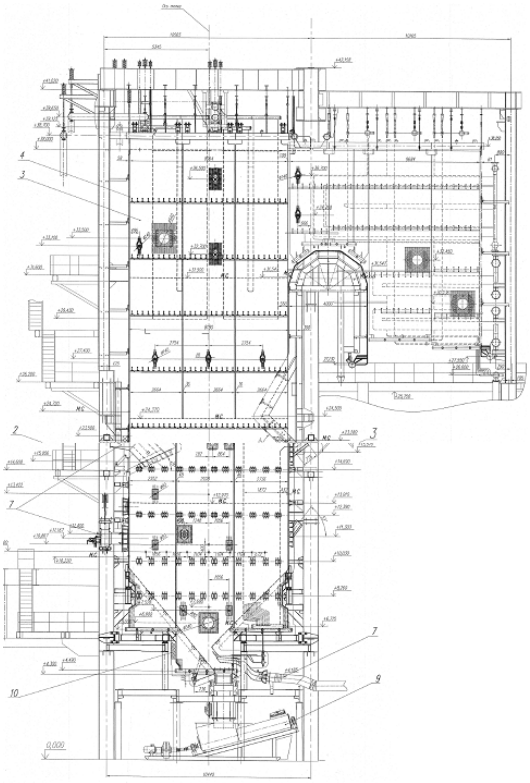


Рис.2 - Топочная камера котла П-49 ст. №7 Назаровской ГРЭС после реконструкции

Таблица 1 - Характеристики топлив(по данным химической лаборатории станции)

Наименование	Обозначение	Размерность	Значение
Бородинский бурый уголь			
Низшая теплота сгорания	Q_i^r	кДж/кг	16223,68-17518,4
Влажность на рабочую массу	W_t^r	%	30-33
Зольность на сухую массу	A^d	%	5-7
Назаровский бурый уголь			
Низшая теплота сгорания	Q_i^r	кДж/кг	13324,2-13827
Влажность на рабочую массу	W_t^r	%	38,0-39,8
Зольность на сухую массу	A^d	%	10-11

Температурные поля корпуса А зафиксированы при нагрузках 800 т/ч (рис. 3*а*) и 570 т/ч (рис. 3*б*). Наработка корпуса А составила 430 ч. Из них более половины времени работа корпуса осуществлялась при нагрузках 750-800 т/ч. Температурные поля снятые с корпуса Б приведены на рис. 3*в*.

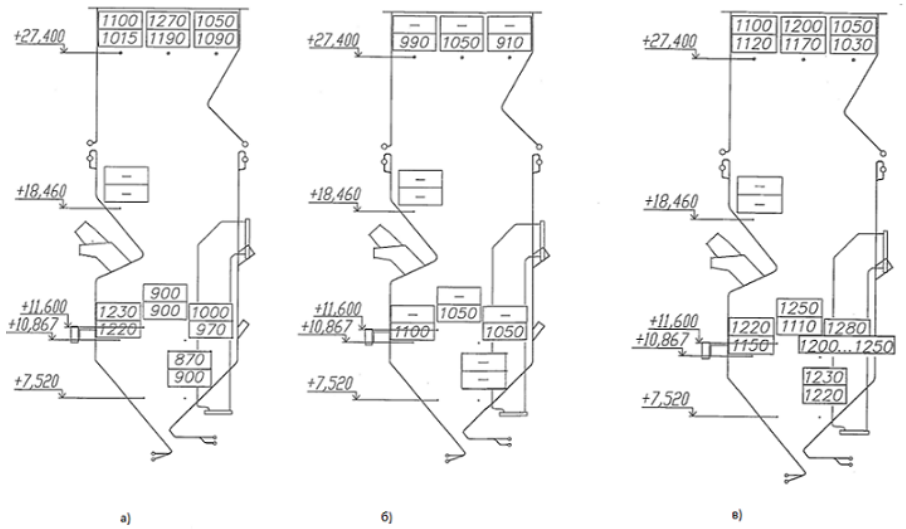
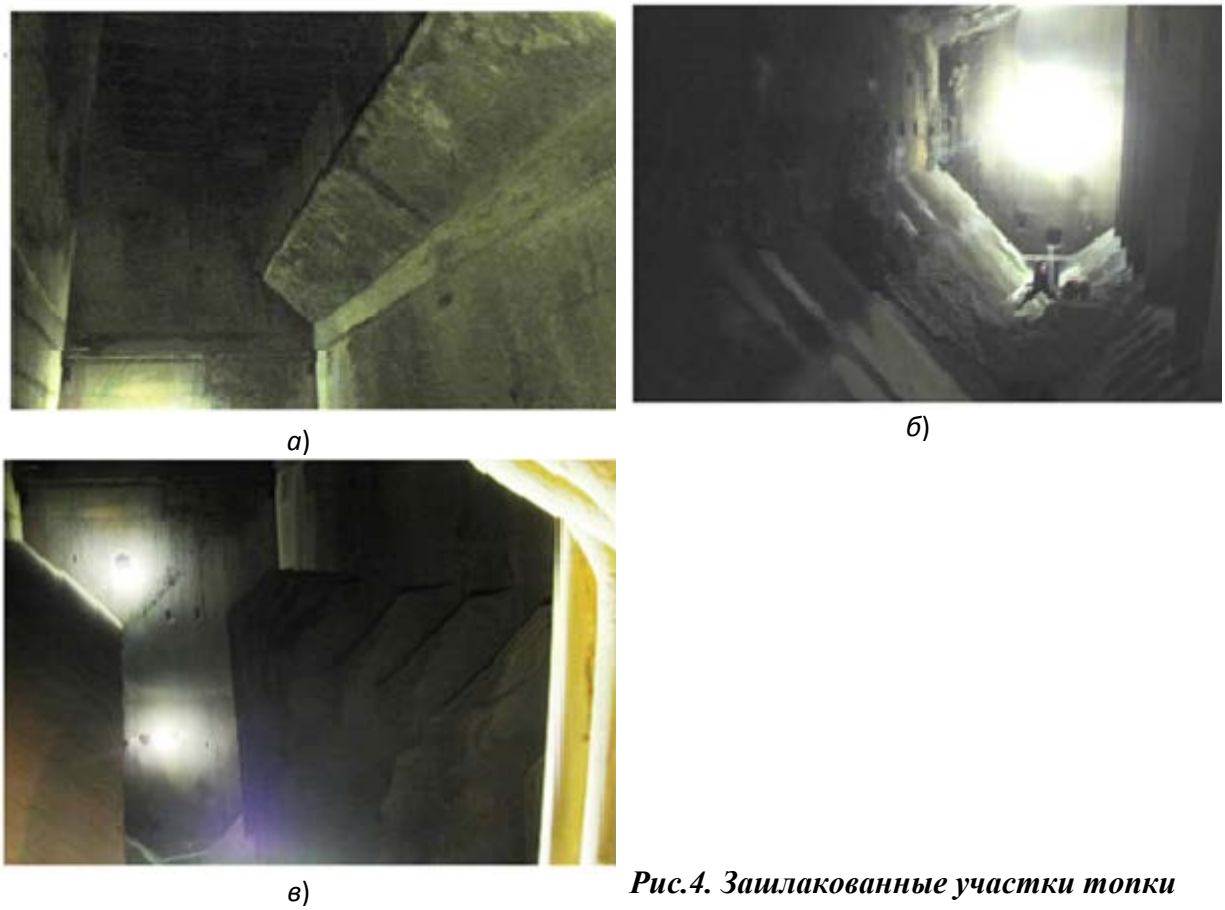


Рис.3 - Температурные поля корпусов А и Б котла П-49



а)

б)

в)

Рис.4. Зашлакованные участки топки

Осмотр корпусов после останова показал следующее:

- зафиксированы повышенная температура в вихревой зоне корпуса Б (1200 °С) и перекос температур в вихревой зоне - температуры по нитке В выше температур на нитке Г на 70-100 °С в отдельных точках (рис.3);

-зашлакован фронтовой экран, скаты холодной воронки. Шлакование вокруг амбразур пылеугольных горелок и в углах топки. В центральной части образовалась глыба шлака, в эксплуатации приводит к нарушению внутри топочной аэродинамики, факел переходит на «фонтанное» движение (рис. 4*а*);

- шлакование верхней части ширм и межширмового пространства. Большие наросты обвалились, видны разрихтованные и поведенные трубы. Аэродинамический выступ чист (рис. 4*б*).

- выявлены следы шлакования на фронтовом экране, под аэродинамическим выступом, а также отдельные отложения на нижних трубах центральной части ширм. Позднее отложения обрушились (рис. 4*в*).

Рис.5 - Демонстрация зон шлакования стен топки после установки рассекателей

Для уменьшения шлакования, в топку были установлены рассекатели, что позволило уменьшить интенсивность шлакования фронтового экрана, фронтового ската холодной воронки и тылового ската холодной воронки почти в три раза. На рис. 5 красным цветом отмечены места шлакования до и после установки рассекателей.

Также, помимо шлакования поверхностей нагрева была зафиксирована повышенная температура в вихревой зоне корпуса Б (1200 °С) и перекос температур в вихревой зоне- температуры по нитке В выше температур на нитке Г на 70-100 °С в отдельных точках.

Эти результаты говорят о том, что выполненный вариант реконструкции котла не является окончательным и требует выполнение ряда дополнительных расчетно-экспериментальных исследований и поиска научно-обоснованных технических решений, совершенствующих конструктивные и проектные характеристик отдельных элементов котла. В этой связи необходимо реализовать: серию теплогидравлических расчетов котла на различные варианты тепловых схем включения поверхностей нагрева котла; трехмерное математическое моделирование процессов теплообменна, аэродинамики и горения в топочной камере котла; проработать систему технической диагностики шлакования и загрязнения поверхностей нагрева с последующей оптимизацией средств очистки.

Список литературы

1. Гидравлический расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. Под ред. Локшина В.А., Петерсона Д.Ф., Шварца А.Л. Энергия. М. 1978. 256 с.

2. Бойко Е.А. Котельные установки и парогенераторы. Учебное пособие. ФГОУ ВПО КГТУ 2005 г.

3. Назаровская ГРЭС [электронный ресурс] Режим доступа:http://www.rosteplo.ru

4. Бойко, Е. А. Котельные установки и парогенераторы (конструкционные характеристики энергетических котельных агрегатов): Учебное пособие / Е. А. Бойко, Т. И. Охорзина. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. – 228 с

УДК: 628.161.2

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА, УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА РАБОТЫ СИСТЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ НА ПРИМЕРЕ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ АбТЭЦ

Шукис А.А.
научный руководитель Карабарин Д.И.
Сибирский федеральный университет

Тепловая электрическая станция в наши дни, подобно живому организму, является сложноустроенным комплексом тесно взаимосвязанных элементов, без каждого из которых, будь то котельный агрегат, тракт подачи топлива или же система водоподготовки, невозможна эффективная работа всей станции в целом.

Так система водоподготовки – неотъемлемая и, несомненно, важная часть общего цикла работы тепловой электрической станции. Качественно подготовленная очищенная обессоленная вода обеспечивает надёжную долговечную работу оборудования, его правильное функционирование.

Комплекс водоподготовительных мероприятий проводится с целью предохранения проводящих путей от отложений и коррозии путём удаления примесей, содержащихся в исходной воде, тем самым снижая тепловую нагрузку на металл трубопроводов. Для турбины, конкретно её проточной части и лопаток рабочих колёс, правильная и качественная водоподготовка также необходима, так как с повышением параметров перегретого пара ускоряются процессы накипеобразования, коррозии, грязеотложения, что приводит к изнашиванию оборудования, повышению затрат на обслуживание и ремонт, а значит, к снижению эффективности работы станции в целом.

Для начала рассмотрим общие принципы работы ВПУ. Систему водоподготовки можно разбить на несколько этапов:

1. осветление (предварительная очистка воды в механических фильтрах);
2. обессоливание;
3. декарбонизация.

Осветление – процесс удаления из воды взвешенных и коллоидных веществ. Осветление проводится до установленного уровня прозрачности, после чего осветлённая (механически очищенная) вода подаётся на «цепочки» обессоливания.

Обессоливание – процесс снижения концентрации растворённых в воде солей до заданной величины. Работа фильтров на этапе обессоливания строится на ионнообменных процессах, происходящих при токе воды через специальные смолы (иониты), состоящие из нерастворимой части и функциональной группы, которая вступает в реакции с ионами, содержащимися в пропускаемой воде. В зависимости от функциональной группы ионита, обладающей кислотными или основными свойствами, различают соответственно процессы Н-катионирования и анионирования.

В процессе Н-катионирования (снижения жесткости) протекают следующие обменные реакции:

- $Ca^{2+} + 2H^{+}R^{-} \rightarrow Ca^{2+}R_2^{-} + 2H^{+}$
- $Mg^{2+} + 2H^{+}R^{-} \rightarrow Mg^{2+}R_2^{-} + 2H^{+}$
- $Na^{+} + H^{+}R^{-} \rightarrow Na^{+}R^{-} + 2H^{+}$

Катионы металлов замещают катионы водорода в катионите, в результате снижается жёсткость воды по натрию (в первую очередь, так как этот металл наиболее активный), магнию и кальцию.

Процесс анионирования – процесс удаления из воды оснований кислот, – делится на удаление оснований сильных кислот на слабоосновных анионитах и

оснований слабых кислот на сильноосновных анионитах. Уравнения ионнообменных реакций для слабоосновных анионитов выглядят следующим образом:

- $2R^+OH^- + SO_4^{2-} \rightarrow R_2^+SO_4^{2-} + 2OH^-$
- $R^+OH^- + Cl^- \rightarrow R_2^+Cl^- + OH^-$А

для сильноосновных, соответственно:

- $2R^+OH^- + SiO_3^{2-} \rightarrow R_2^+SiO_3^{2-} + 2OH^-$
- $2R^+OH^- + CO_3^{2-} \rightarrow R_2^+CO_3^{2-} + 2OH^-$

гидроксильная группа анионита замещается основаниями кислот.

В результате Н-катионирования (а именно разложения бикарбонат-иона HCO_3^-) в воде образуются анионы углекислоты:

$$HCO_3^- + H^+ \rightarrow H_2O + CO_2$$

для их удаления необходимо проводить декарбонизацию.

Декарбонизация – процесс удаления агрессивных газов и углекислоты из рабочей среды (воды) путём продувания через воду воздуха, свободного от углекислоты (метод аэрации, который основывается на принципе разницы парциальных давлений угольной кислоты в подаваемом воздухе и обессоленной воде). Декарбонизация проводится по двум причинам:

1. На поверхностях теплосилового оборудования под действием агрессивных газов, растворённых в теплоносителе, происходят коррозионные процессы; декарбонизация проводится для снижения интенсивности этих процессов путём удаления растворённых в воде агрессивных газов.
2. Химическая активность анионов угольной кислоты, растворённых в рабочей среде, значительно выше активности анионов кремниевой кислоты, вследствие чего при взаимодействии с ними в анионитовом фильтре анионы угольной кислоты вытесняют анионы кремниевой кислоты, что приводит к росту кремнесодержания в обессоленной воде и снижению обменной ёмкости анионита.

За образец для изучения устройства и принципов работы системы водоподготовки взята действующая водоподготовительная установка (далее ВПУ) филиала Абаканская ТЭЦ ОАО ТГК-13.

Состоит из четырёх «цепочек» последовательно соединённых элементов:

- Н-предвключенный (Н-дополнительный) фильтр
- водород-катионитовый фильтр первой ступени;
- анионитовый фильтр первой ступени;
- декарбонизатор;
- брызгоотделитель;
- бак частично обессоленной воды;
- водород-катионитовый фильтр второй ступени;
- анионитовый фильтр второй ступени;
- фильтры смешанного действия.

Действующая ВПУ работает на принципе двухступенчатого параллельноточного ионирования (технология, при которой фильтрование обрабатываемой воды и регенерационного раствора через слой набухшего ионита осуществляются в одном направлении). Предварительно осветлённая в механических фильтрах, заполненных антрацитом, вода поступает в «цепочку».

Обессоливание начинается с Н-катионитовых вертикальных напорных проточных фильтров, представляющих собой цилиндрические сосуды со сферическими днищами, заполненные фильтрующим материалом – катионитом. В водород-катионитовом фильтре первой ступени происходит первичное обессоливание – избавление воды от катионов жёсткости Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+. На исследуемой ВПУ

используются сильнокислотные катиониты с динамической обменной ёмкостью* в пределах 420-480 мг-экв/дм^2. Следом идёт анионитовый фильтр, наполненный слабоосновным анионитом, динамическая обменная ёмкость которого составляет порядка 1240-1360 мг-экв/дм^2, в нём из воды удаляются основания сильных кислот (серная, соляная, азотная).

Обессоленная вода попадает в декарбонизатор. Устройство декарбонизатора представляет собой цилиндрический стальной бак, в котором на высоте 700 мм от днища расположена решётка, на которую загружены кольца Рашига (тонкостенные кольца, диаметр которых равен высоте) керамические или полуфарфоровые 25х25х3; также внутри бака находится щит с сорока восемью патрубками для стока воды на поверхность насадки с кольцами Рашига, и 8 патрубков большей высоты для выхода воздуха.

Вода подаётся через патрубок на щит, откуда сливается на решётку с кольцами Рашига, омывает тонким слоем насадки, а навстречу ей в то же время движется воздух, подаваемый вентилятором. Содержание CO_2 в подаваемом воздухе значительно меньше содержания CO_2 в обрабатываемой воде, вследствие чего углекислый газ стремится выделиться из воды и раствориться в воздухе. Насыщенный углекислым газом воздух выводится из декарбонизатора через 8 патрубков, поднимается по ним, ударяясь о колпачки и освобождаясь от излишней влаги, и, наконец, попадает в брызгоотделитель, в котором происходит окончательное освобождение от воды и выброс в атмосферу.

В результате после первой ступени частично обессоленная вода поступает в бак, из которого насосом подаётся на вторую ступень очистки: Н-катионитовый фильтр второй ступени, в котором происходит освобождение обрабатываемой воды от остаточной жёсткости, и анионитовый фильтр второй ступени, где удаляются анионы слабых кислот.

Также, в настоящую установку для обеспечения нужд нового блока введены фильтры смешанного действия (ФСД), отличающиеся от фильтров с однослойной загрузкой (анионитовых и катионитовых) наполнителем: смесью монодисперсных анионита и катионита. Обе смолы непосредственно перед использованием перемешиваются потоком сжатого воздуха, и в результате, в отличие от фильтров с однослойной загрузкой, ФСД, объединяющий в одном корпусе процессы анионирования и катионирования, работает как бесчисленное множество микроустановок, соединённых последовательно.

Однако, качество выполнения проводимых процессов важная, но далеко не единственная потребность в эксплуатации технических систем. Удобство и безопасность также являются важными требованиями использования оборудования. Так для получения информации, необходимой для качественной и количественной оценки работы установки, обеспечения заданных пусковых и остановочных режимов, предупреждения возникновения критических и аварийных ситуаций, поддержания заданных значений технологических параметров, определяющих нормальное функционирование оборудования, оптимизации хода технологического процесса с целью повышения его эффективности, улучшения условий труда человека служит автоматизация.

Процессу автоматизации ВПУ АбТЭЦ препятствует проблема устаревшей арматуры, выпуск которой в промышленных масштабах прекращён. В результате возрастают затраты на ремонт и обслуживание. Для выполнения автоматизации требуется комплексная замена арматуры – что есть не что иное, как значительные экономические затраты. Однако целесообразность мероприятия автоматизации в масштабах такого крупного предприятия, как АбТЭЦ, несоизмеримо больше

необходимых затрат на её проведение. Автоматизация ВПУ и всей станции в целом позволит в итоге вывести делопроизводство на новый уровень. Автоматизация технологических процессов ведет к росту объема производства, уменьшению численности основных производственных рабочих, повышению производительности труда и снижению удельного расхода заработной платы на единицу продукции.

Так для выполнения автоматизации ВПУ необходимо комплексное обновление оборудования и в перспективе повышение квалификации обслуживающего персонала, что позволит повысить удобство эксплуатации, безопасность, качество выполнения операций и мероприятий по водоподготовке, а значит и повысить эффективность работы станции в целом.

*Динамическая обменная ёмкость (рабочая) – поглотительная способность ионита, выражаемая в максимальным числом мг-экв ионов, поглощаемых единицей массы или объёма ионита в условиях фильтрации раствора через слой ионита до «проскока» ионов в фильтрат.

Список литературы

1. Разработка ТЭО вариантов реконструкции системы химводоочистки филиала «Абаканская ТЭЦ» ОАО «Енисейская ТГК (ТГК-13)» Пояснительная записка Том 1.
2. Разработка ТЭО вариантов реконструкции системы химводоочистки филиала «Абаканская ТЭЦ» ОАО «Енисейская ТГК (ТГК-13)» Пояснительная записка Том 2.
3. Инструкция по водно-химическому режиму Абаканской ТЭЦ 2013 г.
4. Инструкция №5 по эксплуатации водоподготовительной установки подпитки котлов ХЦ.
5. Инструкция по эксплуатации декарбонизатора обессоливающей установки ХЦ.
6. Словарь-справочник терминов нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://normative_reference_dictionary.academic.ru
7. Лекции по водоподготовке [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.studfiles.ru/preview/1757841/page:2/
8. О декарбонизации воды [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.gradirni.biz/dekarbonizatori_article1.html
9. Мировые водяные технологии (фильтры смешанного действия) [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://wwtec.ru/index.php?id=34