УДК 621.311

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕВОДА КОТЛОВ СРЕДНЕЙ И МАЛОЙ МОЩНОСТИ НА ВОДОУГОЛЬНОЕ ТОПЛИВО

Шарабура Т.А.[1], Пинчук В.А.[1], Шевченко Г.Л.[1], Кузьмин А.В.[2]

[1]*Национальная Металлургическая Академия Украины, Днепропетровск, Украина*
[2]*НПВК «Триакон», Киев, Украина*

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты расчетно-теоретических исследований по переводу паровых котлов типа ДКВр-10/13 и ТП-35У на сжигание водоугольного топлива. Проанализированы особенности работы указанных парогенераторов на данном виде топлива. Приведены результаты теплотехнических расчетов парогенераторов, выполнен анализ полученных данных. Даны рекомендации для изменения режимов работы котельных агрегатов при переводе на сжигание водоугольного топлива.

ВВЕДЕНИЕ

Украина принадлежит к энергодефицитным странам и обеспечивает свои потребности за счет собственных ресурсов только на 40%. Уголь является единственным топливно-энергетическим ресурсом, которым Украина располагает в объемах, достаточных для покрытия потребностей в этом виде топлива, что определяет его стратегическую роль в развитии не только энергетики, но и экономики страны в целом. Только при преодолении проблем, которые связаны с использованием угля как котельно-печного топлива, а также при введении экологически и экономически эффективных угольных технологий многоцелевого назначения существует возможность, что ставка на уголь, как основной источник энергии, является обоснованной. Одним из направлений для угольной энергетики может стать переход от прямого сжигания угля в различных топочных устройствах на приготовление из углей различных марок, в том числе и из отходов углеобогащения, водоугольного топлива. Водоугольное топливо имеет свойства, позволяющие заменить им твердое, жидкое или газообразное топливо в различных топливопотребляющих агрегатах, а при необходимости, возможно совместное использование водоугольного топлива и других видов топлива – мазута, угля, газа. В процессе приготовления водоугольного топлива из угля удаляются нежелательные минеральные компоненты и вводятся специальные химические присадки для придания ему заданных потребителем свойств, например, для увеличения степени связывания серы (в случае сжигания высокосернистых углей), повышения температуры плавления золы (в случае угрозы шлакования котла при работе на этом топливе) и проч. [1-6].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ свойств и характеристик водоугольного топлива и продуктов его переработки показал перспективность его использования в энергетике. Однако перевод газовых, угольных и мазутных котлов ТЭС и ТЭЦ на водоугольное топливо может потребовать значительных капиталовложений, особенно на первом этапе их промышленного использования. Кроме того, для определения возможности и целесообразности перевода парогенераторов на водоугольное топливо необходимо детально исследовать теплотехнические характеристики и параметры, установить оптимальные режимы при работе на этом топливе, которые в дальнейшем

© Шарабура Т.А., Пинчук В.А., Шевченко Г.Л., Кузьмин А.В.

необходимо подтвердить серией технологических испытаний.

Можно рассматривать несколько способов перевода котлов различной мощности на сжигание водоугольного топлива:

• кардинальная реконструкция и модернизация существующих котельных агрегатов с изменением поверхностей теплообмена, изменением сечений для прохода теплоносителей и заменой тягодутьевого оборудования;

• подбор необходимых режимных параметров для работы котельных агрегатов без существенной их реконструкции.

В настоящее время в условиях ограниченного финансирования актуально рассматривать второй способ перевода котлов для работы на водоугольном топливе.

В связи с этим проведены оценочные теплотехнические расчеты для проверки возможности перевода паровых котлов малой и средней мощности, на примере парогенераторов типа ТП-35 и ДКВр-10/13, на сжигание водоугольного топлива [7-11].

Расчеты производились применительно к водоугольному топливу из шлама угля марки ДГ с теплотой сгорания $Q_н^р$=13,8 МДж/кг, рабочей влажностью $W^р$=42,7%, зольностью $A^р$=12,3%, содержанием серы до $S^р$=1,1%, углерода $C^р$=42%, водорода $H^р$=0,6%, азота $N^р$=0,3%, кислорода $O^р$=0,9%, выходом летучих на горючую массу $V^г$=41%.

Парогенератор ДКВр-10/13 предназначается для сжигания газа и мазута, а также различных видов твердого топлива. Разрезы парогенератора ДКВр-10/13 представлены на рис.1.

Указанный парогенератор имеет конструктивную схему, характеризуемую двумя продольно расположенными барабанами, между которыми установлен развитый конвективный пучок, омываемый горизонтальным потоком газов. Расположение труб конвективного пучка коридорное. Между топкой и конвективным пучком имеется камера догорания, отделенная от конвективного пучка шамотной перегородкой, установленной между первым и вторым рядами кипятильных труб. Чугунной перегородкой конвективный пучок делится на два газохода. Дымовые газы выводятся через окно в задней стене слева. Допускается выход газов вверх, вниз или через боковую стену парогенератора. Топка парогенератора ДКВр-10/13 имеет боковые, фронтовой и задний экраны. Камера догорания имеет задний экран, образованный трубами первого ряда конвективного пучка, и два боковых экрана. Перегреватели парогенераторов ДКВр унифицированы и отличаются лишь числом параллельных змеевиков.

Исследованиями установлено, что при работе котла ДКВр-10/13 на водоугольном топливе при номинальной производительности и неизменных параметрах пара происходит нарушение многих технологических характеристик работы котла. Проведен ряд расчетов, который показал, что работа котла на водоугольном топливе без модернизации поверхностей нагрева и с технологическими параметрами, которые соответствуют необходимым и допустимым значениям, возможна при снижении производительности на 50%.

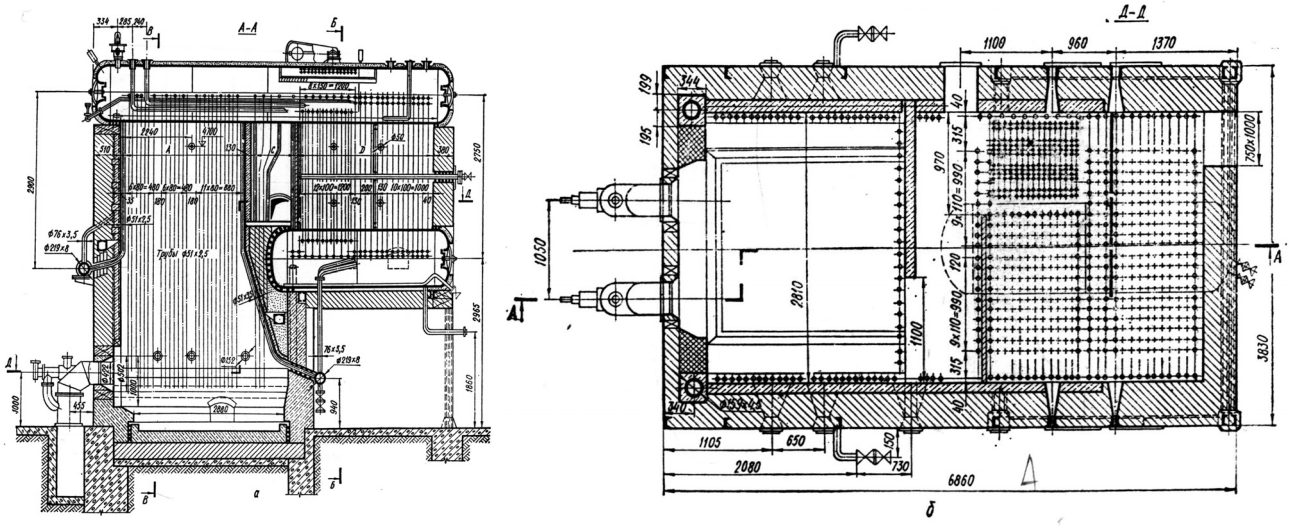

Рис.1 Разрезы парогенератора ДКВр-10/13

Одним из показателей для предварительной оценки горения топлива является тепловое напряжение топки $q_v = B \cdot Q_н^р / V_т$, рекомендуемый диапазон которого составляет 100-300 кДж/м^3. При использовании водоугольного топлива на номинальных режимах работы котла ДКВр-10/13 тепловое напряжение топки составляет 167 кДж/м^3, а при снижении производительности на 50% тепловое напряжение топки уменьшается до 83,4 кДж/м^3. При малых значениях теплового напряжения топки могут увеличиваться потери теплоты от химической и механической неполноты сгорания топлива в связи со снижением температурного уровня в топочной камере, что определяется относительным увеличением потери теплоты от наружного охлаждения. Для снижения потерь с химической и механической неполнотой сгорания необходимо стремиться повысить температурный уровень в топочной камере, применяя, например, подогрев воздуха.

Независимо от схемы организации горения полное время сгорания любого топлива в топке складывается из времени, необходимого для подвода окислителя к топливу, времени нагрева компонентов горения до температуры воспламенения и времени, необходимого для протекания самой химической реакции. Основными отличиями процесса воспламенения и горения капли водоугольного топлива от горения пылевидного твердого и распыленного жидкого топлива являются: низкотемпературная активизация реакционной поверхности топлива на стадии воспламенения [12-14], возрастание удельной реакционной поверхности в основной зоне процесса горения [13-15] и интенсификация процесса горения за счет реакции углерода топлива с водяным паром, протекающей параллельно основной реакции горения.

Реакционная поверхность капли топлива непосредственно перед воспламенением активизируется вследствие низкотемпературной отгонки водяным паром, образующимся при испарении влаги топлива, газообразных инертных продуктов (типа CO_2, N_2 и др.), сорбированных ранее развитой угольной поверхностью, а также углеводородных компонентов топлива (типа CH_4), имеющих сравнительно высокую температуру воспламенения. Этот процесс, сопровождаемый резким увеличением удельной поверхности реагирования топлива и раскрытием активных центров, создает условия для протекания интенсивной реакции горения при температурах меньше необходимых для воспламенения твердого сухого пылевидного топлива [16-17].

Начальная (основная) стадия процесса горения водоугольного топлива протекает одновременно с процессом испарения влаги топлива из внутренних частей объема капли, вследствие чего процессы термического разложения топлива (его прогрев до температуры выше температуры испарения влаги, выделение летучих и т.д.) протекают также параллельно с процессом горения и простираются на узкую зону поверхности горения. В связи с этим продукты термического разложения топлива, например, летучие, выход подавляющего количества которых протекает параллельно с выгоранием углерода топлива, уже в значительно меньшей степени определяют условия воспламенения топлива.

Капля водоугольного топлива, включающая большое число мелких частиц твердого топлива, попав в высокотемпературную окислительную среду, мгновенно подсыхает с поверхности, в результате чего внутри капли образуются следующие характерные зоны: зона исходного топлива, температура которой равна температуре кипения воды или более низкая; зона испарения влаги топлива, ширина которой определяется изотермическими поверхностями начала и конца кипения воды; зона перегрева водяных паров, термического разложения угля и начала интенсивной реакции углерода с водяным паром; зона поверхностного горения угля и разложения водяного пара; зона объемного догорания продуктов промежуточных реакций [12-17].

При переходе на водоугольное топливо адиабатическая температура в топке котла составляет 1550-1750 ºС в зависимости от температуры подогрева воздуха, идущего на горение (к примеру, при сжигании угля с теплотой сгорания 26,6 МДж/кг адиабатическая температура составляет 1800-2000 ºС). Степень черноты факела при горении водоугольного топлива снижается по сравнению с процессом горения угля на 20-22%. Повышение адиабатической температуры горения топлива возможно путем уменьшения потерь от химического и механического недожога, повышения температуры подогрева воздуха, идущего на горение или обогащение его кислородом.

Интенсивность излучения твердых частиц топлива зависит от их размера и концентрации в топочном объеме. Излучение коксовых частиц на экраны топки составляет 25-30%

суммарного излучения топочной среды, излучение золовых частиц составляет 40-60%, а доля излучения трехатомных газов составляет 20-30% суммарного излучения. Одновременно с излучением в топке присутствует конвективный теплообмен между поверхностями нагрева и потоком газа высокой температуры. Доля конвективного теплопереноса при горении водоугольного топлива в топке составляет 5-7%.

При горении водоугольного топлива необходимо предусматривать мероприятия по повышению стабильности горения и степени выгорания и поддержанию заданного температурного уровня. Особое внимание должно уделяться организации распыливания водоугольного топлива в топочном объеме, т.к. оптимальные условия распыливания позволяют избежать образования крупных капель, способствующих агломерации угольных частиц. Необходимым условием эффективного сжигания водоугольного топлива является обеспечение температур не ниже 900-1000 ºС в зоне воспламенения в районе расположения горелочных устройств. Кроме того, наибольшая полнота выгорания топлива наблюдается при коэффициенте избытка воздуха 1,05-1,2 и температуре подогрева воздуха не менее 300 ºС.

При сжигании водоугольного топлива повышение температуры продуктов сгорания на выходе из топки лимитируется условиями шлакования поверхностей нагрева, температура газов на выходе из топки не должна превышать температуру начала размягчения золы для данного топлива (не более 950-1000 ºС). Температура газов на выходе из топки составляет 910-950 ºС. Со снижением нагрузки до 50% устойчивость горения водоугольного топлива не нарушается, однако температурный уровень на выходе из топки уменьшается, в среднем на 20%, и составляет 730-765 ºС.

Увеличение объема продуктов сгорания, связанного с вводом значительного количества влаги с топливом при неизменной производительности приводит к увеличению удельного тепловосприятия ступени, что вызывает необходимость увеличения перегрева пара выше номинального. Как показали исследования, при существующей поверхности пароперегревателя перегрев пара увеличивается на 10 ºС и составляет 260 ºС.

При номинальной производительности котла 10 т/ч и с температурой пара 260 ºС возникают технологические нарушения в конвективном пучке, который выполняет роль экономайзера. Паросодержание в воде на выходе из экономайзера составляет 42-45%, при допустимом значении 15-20%. Одним из способов предотвращения этого является снижение производительности котла, и, как показали исследования, снижение производительности на 50% позволит обеспечить паросодержание воды на выходе из экономайзера в пределах допустимых значений 18-20%. Кроме того, расчеты показали, что при давлении пара и температуре на парообразование расходуется примерно 64% общего тепловосприятия в котле, а доля теплоты, передаваемой экранным трубам при использовании водоугольного топлива, составляет 40%, т.е. меньше, чем необходимо для парообразования. В этих условиях частичное испарение в экономайзере является целесообразным и желательным.

Далее, в газоходах котла, наблюдается естественное падение температурного уровня дымовых газов. При движении потоков продуктов сгорания сохраняются допустимые значения температур, скоростей в различных сечениях дымового тракта.

В процессе переноса теплоты от газов к поверхностям нагрева относительные значения радиационного переноса теплоты и конвекции меняются. К экранным трубам в области наиболее высоких температур, перенос теплоты излучением составляет более 90%. Далее, по мере снижения температуры газов, относительная доля теплоты, передаваемая конвекцией увеличивается, и в пароперегревателе составляет 70-80%, а в последних ступенях – более 95%.

Парогенератор ТП-35У предназначен для камерного сжигания каменных и бурых углей, а также фрезерного торфа. Разрез парогенератора ТП-35У представлен на рис.2.

Парогенератор ТП-35У имеет П-образную компоновку поверхностей нагрева с расположением конвективных поверхностей в опускном газоходе «в рассечку». Топочная камера парогенератора с факельным процессом горения полностью экранирована трубами на фронтовой, задней и боковых стенах. Перегреватель – вертикальный, змеевиковый, двухступенчатый. Расположение труб в обеих частях перегревателя коридорное. Экономайзер – двухступенчатый, стальной, гладкотрубный, змеевиковый с шахматным расположением труб. Воздухоподогреватель – двухступенчатый, вертикальный, трубчатый с шахматным расположением труб.

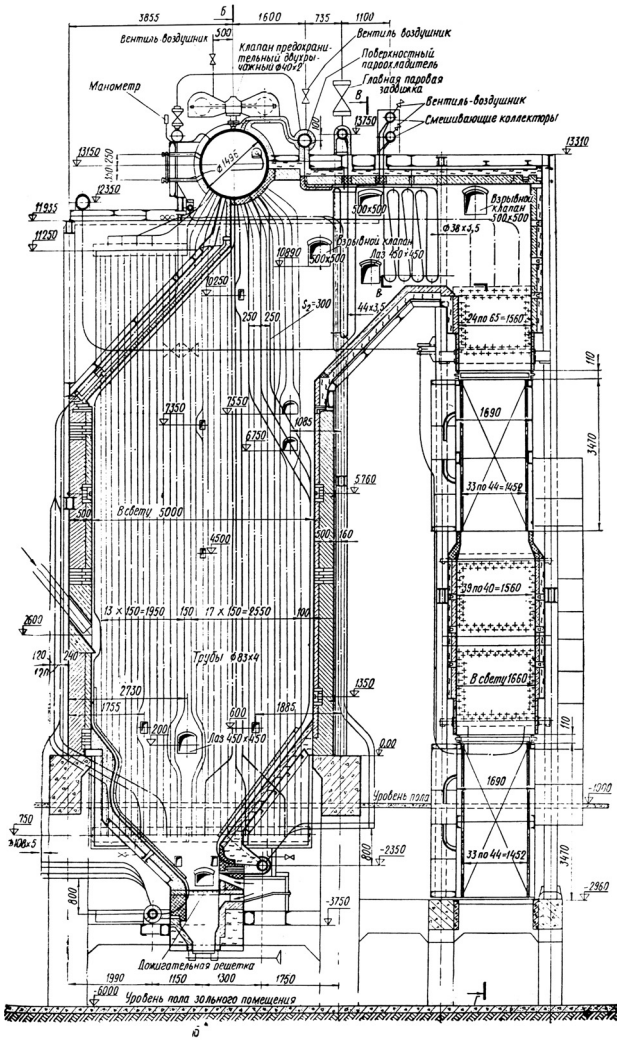

Рис.2 Разрез парогенератора ТП-35У

Общая картина теплообмена в топке котла аналогична, описанной ранее. При сжигании водоугольного топлива в котле ТП-35У адиабатическая температура в зоне горения составляет 1725 ºС при подогреве воздуха до 425 ºС. Одним из способов обеспечить тепловые условия, достаточные для воспламенения и горения распыленного водоугольного топлива, является подогрев воздуха. Известно [16-18], что возрастание температуры подогрева воздуха от 250 до 350 ºС резко сокращает время выгорания топлива, однако дальнейшее повышение температуры (выше 400-450 ºС) на закономерностях горения водоугольного топлива сказывается значительно слабее.

Тепловое напряжение объема топки составляет 121,8 кВт/м^3. При этом переход на сжигание водоугольного топлива приводит к затягиванию процесса горения, и температура газов на выходе из топки составляет в среднем 1020-1050 ºС, что на 2-5% выше, чем при сжигании угля.

При расчете пароперегревателя определено, что для перегрева пара до заданных параметров ($t_{пп}$=445 0С, $P_{пп}$=3,8 МПа) задействована меньшая площадь поверхности нагрева первой ступени перегревателя, чем существующая, а температура дымовых газов за перегревателем составляет 670 ºС, что на 55 ºС выше температуры при сжигании угля. Таким образом, можно рассматривать еще один вариант эксплуатации котельного агрегата при работе на водоугольном топливе – это увеличение перегрева пара на 40-50 ºС. При этом в теплообмене будет задействована полная площадь поверхности нагрева первой ступени пароперегревателя.

В результате расчетов определено, что при работе на номинальных режимах возникают технологические нарушения работы котла - существенна нагрузка на конвективные поверхности нагрева. А именно, происходит недогрев воды (на 10-30 ºС) на выходе из первой ступени до необходимой расчетной температуры. Это объясняется тем, что увеличение объема дымовых газов на 20% приводит к увеличению их скорости и к возрастанию коэффициента теплопередачи. При этом теплоотдача конвективных поверхностей возрастает пропорционально увеличению скорости в степени 0,6-0,8. Таким образом, тепловыделение превышает тепловосприятие, и поверхности теплообмена не обеспечивают необходимый теплосъем, что приводит к недогреву рабочего тела и, соответственно, к необходимости изменения их конструктивных размеров.

Серией расчетов установлено, что снижение производительности на 25% позволит ликвидировать описанные выше технологические нарушения работы парогенератора, при этом сохраняются номинальные параметры пара. При одновременном изменении ряда условий относительно номинального режима, работа котла подвергается различным воздействиям, которые могут складываться или взаимно компенсироваться. При снижении нагрузки до 75% номинальной устойчивость горения топлива не нарушается. Полезное тепловыделение в топке практически не меняется по сравнению с работой парогенератора при номинальной производительности, и температура газов на выходе из топки составляет 930 ºС. При этом температура дымовых газов за пароперегревателем и, соответственно, на входе в опускной газоход составляет 579 ºС. Задействованная площадь поверхности нагрева первой ступени перегревателя незначительно уменьшается по сравнению с существующей. Объем дымовых

газов снижается в 1,5 раза, по сравнению с номинальной производительностью, при неизменной температуре уходящих газов. Это приводит к более полному использованию поверхности нагрева, что обеспечивает достижение необходимых температур воды. Также это приводит к снижению температур подогрева воздуха и воды по сравнению с номинальным режимом, которые составляют, соответственно, 378 ºС и 187 ºС. При использовании водоугольного топлива температура уходящих газов перед дымососом повышается на 25-30 ºС и составляет 180 ºС

Анализ теплового баланса показал, что КПД котла при работе на водоугольном топливе уменьшается в большей степени из-за увеличения потерь с дымовыми газами. Известно, что потери теплоты с уходящими газами занимают основное место среди тепловых потерь котла, составляя 5-12% располагаемой теплоты топлива, и определяются объемом и составом продуктов сгорания, существенно зависящих от балластных составляющих топлива и от температуры дымовых газов. Отношение $V_г^o/Q_н^p$, характеризующее качество топлива, показывает относительный выход газообразных продуктов сгорания на единицу теплоты сгорания топлива и зависит от содержания балластных составляющих. Для водоугольного топлива отношение $V_г^o/Q_н^p$ составляет 0,32 м^3/МДж, что на 18,5% выше, чем при сжигании угля. С увеличением в топливе балластных составляющих, а, следовательно $V_г^o/Q_н^p$, потери теплоты с уходящими газами (при прочих равных условиях), соответственно, возрастают.

Важным фактором, влияющим на потери тепла с уходящими газами, является температура уходящих газов. Повышение температуры уходящих газов приводит к увеличению потерь с уходящими газами, и следовательно, к дополнительным затратам топлива на выработку той же единицы теплоты. В связи с этим оптимальная температура уходящих газов определяется на основе технико-экономических расчетов при сопоставлении затрат на теплоиспользующие элементы и затрат на топливо при различных значениях температуры уходящих газов. В общем, температура уходящих газов промышленных котлов в зависимости от производительности, качества и стоимости топлива, температуры поступающего воздуха принимается 110-170 ºС. При работе на водоугольном топливе теплота сгорания на выходе из котла ДКВр-10/13 составляет 170 ºС, а из котла ТП-35У – 180 ºС.

Полученные данные исследования паровых котлов ДКВр-10/13 и ТП-35У показывают, что достигнутый уровень снижения нагрузки котла близок к предельным значениям и с точки зрения стабильности горения для данного топлива, и с точки зрения оптимальных и допустимых технологических параметров работы котлов. При переводе парогенераторов на сжигание водоугольного топлива необходима разработка режимных карт в расчетном диапазоне производительности работы котельного агрегата. При анализе аэродинамического расчета котлов установлено, что при номинальной производительности парогенераторов тягодутьевое устройство работает на пределе своей пропускной способности.

Кроме того, необходимо рассматривать возможность использования водоугольного топлива и в комбинированном варианте отопления котлов с проектным топливом. Важно отметить, что при использовании водоугольного топлива газ и/или мазут могут выступать в качестве резервного топлива. Также для эффективной переработки водоугольного топлива возможно использование предтопков различных конструкций для предварительной термической переработки этого топлива с последующим дожиганием в котельных агрегатах продуктов его переработки [19-20].

При этом с экологической точки зрения внедрение водоугольного топлива целесообразно [21-23]. При сгорании водоугольного топлива на 80–90% сокращается образование и выброс твердых частиц микронных размеров. Процесс горения водоугольного топлива происходит с меньшим уровнем выбросов серо- и азотосодержащих веществ в атмосферу. Проведенная экологическая оценка сжигания угля и водоугольного топлива, полученного из этого угля, представлены в табл. 1 и 2 [23, 24].

Табл.1. Количество серо- и азотосодержащих веществ, образующихся при сжигании различных видов топлива

Вещество	Количество веществ в продуктах сгорания, мг/м^3	
	угля	водоугольного топлива
S	2,52 – 8,89	0,99 – 3,95
S_2	0,0011 - 0,0048	0,00056– 0,0027
SH	0,69 – 2,23	0,44 – 1,57
H_2S	0,071 - 0,21	0,078 – 0,24
HSO	0,013- 0,036	0,0079 – 0,024
SOH	0,14 - 0,34	0,098 – 0,26
COS	0,061 - 0,18	0,034 – 0,11

Табл.2. Количество SO_x и NO_x в продуктах сгорания различных видов топлива

Вещество	Количество веществ в продуктах сгорания, г/м^3	
	угля	водоугольного топлива
SO	2,39 – 4,62	1,47– 3,02
SO_2	563 - 569	569 - 572
SO_3	0,25 - 0,29	0,24 - 0,28
NO	389 - 519	218 - 308
NO_2	0,21 – 0,25	0,096 – 0,13

Таким образом, использование угля в виде водоугольного топлива для технологических и энергетических целей позволяет существенным образом улучшить экологические показатели термических способов переработки угля.

ВЫВОДЫ

Анализ свойств и характеристик водоугольного топлива и продуктов его переработки показал перспективность его использования в энергетике. Применение водоугольного топлива в энергетике может позволить решить основную задачу - снизить высокие топливные затраты в котлах, где сжигают дорогие газ и мазут, либо уголь сжигается неэффективно. При этом иногда целесообразнее говорить лишь о частичной замене газа или мазута, что позволит получить высокие экономические показатели.

Можно рассматривать несколько способов перевода котлов различной мощности на сжигание водоугольного топлива:

• кардинальная реконструкция и модернизация существующих котельных агрегатов с изменением поверхностей теплообмена, изменением сечений для прохода теплоносителей и заменой тягодутьевого оборудования;

• подбор необходимых режимных параметров для работы котельных агрегатов без существенной их реконструкции.

При горении водоугольного топлива необходимо предусматривать мероприятия по повышению стабильности горения и степени выгорания и поддержанию заданного температурного уровня. Особое внимание должно уделяться организации распыливания водоугольного топлива в топочном объеме, т.к. оптимальные условия распыливания позволяют избежать образования крупных капель, способствующих агломерации угольных частиц. Необходимым условием эффективного сжигания водоугольного топлива является обеспечение температур не ниже 900-1000 ºС в зоне воспламенения в районе расположения горелочных устройств. Кроме того, наибольшая полнота выгорания топлива наблюдается при коэффициенте избытка воздуха 1,05-1,2 и температуре подогрева воздуха не менее 300 ºС.

Из-за увеличения объема дымовых газов на 20% при сжигании водоугольного топлива при номинальной производительности парогенераторов возникают технологические нарушения процессов теплообмена в конвективных поверхностях нагрева, поэтому одним из вариантов устранения этих нарушений является снижение производительности парогенератора, но не более 50% от номинальной, что обеспечивает устойчивость работы котлов. Полученные данные исследования паровых котлов ДКВр-10/13 и ТП-35У показывают, что достигнутый уровень снижения нагрузки котла близок к предельным значениям и с точки зрения стабильности горения для данного топлива, и с точки зрения оптимальных и допустимых технологических параметров работы котлов.

Кроме того, необходимо рассматривать возможность использования водоугольного топлива и в комбинированном варианте отопления котлов с проектным топливом. Важно отметить, что при использовании водоугольного топлива газ и/или мазут могут выступать в качестве резервного топлива. Также для эффективной переработки водоугольного топлива возможно использование предтопков различных конструкций для предварительной термической переработки этого топлива с последующим дожиганием в котельных агрегатах продуктов его переработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров А.С., Егурнов А.И., Борук С.Д. Высококонцентрированные суспензии на основе отходов углеобогащения. Получение, реологические характеристики и энергетическая ценность // Хімічна промисловість України. – 2007. - №2(79). – С. 56-60.
2. Е.Г.Горлов, В.Г.Андриенко, К.Е.Нефедов. Прямоточная газификация водоугольных суспензий с сухим шлакообразованием высокозольных углей // Химия твердого топлива. 2009. № 2. С. 37 – 42.
3. Делягин Г.Н, Каган Я.М, Кондратьев А.С. Жидкое топливо на основе угольных суспензий: возможности и перспективы использования//Российский химический журнал. -1994.- №3.- С. 22-27.
4. Делягин Г.Н, Петраков А.П., Головин Г.С, Горлов Е.Г. Водные дисперсионные системы на основе бурых углей как энергетическое и технологическое топливо // Российский химический журнал. -1997.- №6.- С. 72-77.
5. Пинчук В.А., Губинский М.В. Потапов Б.Б. Использование водоугольного топлива и продуктов его переработки в энергетике и металлургии // Металургійна теплотехніка: Збірник наукових праць Національної металургійної академії України. – Дніпропетровськ: «Нова ідеологія». -2009.– Выпуск 1(16).- с. 144-149.
6. Крапчин И.П., Потапенко И.О. Экономическая эффективность приготовления и использования водоугольных суспензий – экологически чистого топлива для электростанций // Уголь. – 2003. - №11. – С. 50-52.
7. Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Котельные установки промышленных предприятий: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 258 с.
8. Тепловой расчет промышленных парогенераторов: Учеб пособие для вузов. Под ред. В.И Частухина. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1980. – 184 с.
9. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод). Под ред. Н.В. Кузнецова и др. - М.: Энергия, 1973. – 296 с.
10. Щеголев М.М., Гусев Ю.Л., Иванова М.С. Котельные установки. – М.: Стройиздат , 1965. – 424 с.
11. Аэродинамический расчет котельных установок (Нормативный метод). - М.: Энергия, 1977.
12. Смирнова З.В., Делягин Г.Н. О взаимодействии обводненного твердого топлива с кислородом / Сжигание высокообводненного топлива в виде водоугольных суспензий. - М.: Наука, 1967.- С. 68-77.
13. Делягин Г.Н., Сметанников Б.Н. Исследование процесса воспламенения капли водоугольной суспензии / Новые методы сжигания топлив и вопросы теории горения. - М.: Наука, 1965.
14. Делягин Г.Н. Об условиях совместного протекания процессов испарения воды и выгорания капли водоугольной суспензии / Сжигание высокообводненного топлива в виде водоугольных суспензий. - М.: Наука, 1967.- С. 55-67.
15. Давыдова И.В., Делягин Г.Н., Канторович Б.В., Леваневский В.С. Экспериментальное исследование процесса горения водоугольной суспензии. – Сб. «Новые методы сжигания топлив и вопросы теории горения». М., изд-во «Наука», 1965.
16. Вулканов Е.И., Делягин Г.Н., Кирсанов В.И., Леваневский В.С., Онищенко А.Г. Исследование топочного процесса в паровом котле при сжигании водоугольной суспензии. – «Сжигание высокообводненного топлива в виде водоугольных суспензий» М., изд-во «Наука», 1967, с. 122-135.
17. Делягин Г.Н. Вопросы теории горения водоугольной суспензии в потоке воздуха. - «Сжигание высокообводненного топлива в виде водоугольных суспензий» М., изд-во «Наука», 1967, с. 45-55.
18. Шарабура Т.А., Пинчук В.А., Шевченко Г.Л. Влияние температуры подогрева водоугольного топлива на его свойства и состав // Металургійна теплотехніка: Збірник наукових праць Національної металургійної академії України. – Випуск 2 (17). – Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2010. – с. 205-211.
19. Шарабура Т.А., Пинчук В.А., Губинский М.В., Шевченко Г.Л., Гордиенко И.В. Исследование влияния гидродинамических показателей на организацию сжигания водоугольного топлива в кипящем слое // Современная наука: идеи, исследования, результаты, технологии. Сборник научных статей. Выпуск 1(6). – Киев: «НПВК Триакон», 2011. – С. 65-69.

20. Кузнецов А.С., Токарев И.И. Научно-практические разработки и направления реализации технологии ВУТ в условиях возрастания доли угольного продукта в балансе промышленной и коммунальной теплоэнергетики // Современная наука: идеи, исследования, результаты, технологии. Сборник научных статей. Выпуск 1(6). – Киев: «НПВК Триакон», 2011. – С. 21-24.
21. Мурко В.И., Корочкин Г.К., Горлов Е.Г., Своров В.А., Горлова С.Е., Головина Н.Г. Экологические аспекты приготовления и транспорта водоугольных суспензий // Химия твердого топлива. – 1999. - №1. – С. 81-87.
22. Кондратьев А.С. Водоугольные суспензии – экологически чистое топливо // Жилищное и коммунальное хозяйство. – 1993. - №10. – С. 27-29.
23. Пинчук В.А., Шарабура Т.А., Потапов Б.Б., Живолуп С.Г. Технико-экологические показатели использования водоугольного топлива и продуктов его переработки в металлургии и энергетике // Nowe Technologie i Osiagniecia W Metalurgii i Inzynierii Materialowej. – Czestochowa (Polska). -2009. –P. 296 -299.
24. Пинчук В.А., Шарабура Т.А., Потапов Б.Б., Шеенко И.М., Живолуп С.Г. Экологическая характеристика процесса газификации водоугольлного топлива // Металургійна теплотехніка: Збірник наукових праць Національної металургійної академії України. – Дніпропетровськ: «Нова ідеологія». -2009.– Выпуск 1(16).-с. 144-149.