УДК 621.311

Шарабура Т.А. − ассистент, Национальная металлургическая академия Украины (НМетАУ), Днепропетровск, Украина

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ПАРОВОГО КОТЛА ТП-35 ПРИ РАБОТЕ НА ВОДОУГОЛЬНОМ ТОПЛИВЕ

Представлены результаты теплотехнических исследований перевода парового котла средней мощности ТП-35 на сжигание водоугольного топлива. Рассмотрены особенности работы указанного котельного агрегата при сжигании данного вида топлива. Оценены показатели работы парового котла при различных нагрузках и выполнен анализ полученных данных. Установлены зависимости конструктивных характеристик конвективных поверхностей парогенератора при изменении его производительности для получения перегретого пара требуемых параметров. Приведены тепловые режимы работы парового котла ТП-35 в расчетном диапазоне производительности.

Ключевые слова: водоугольное топливо, теплотехнические показатели, паровой котел, производительность, тепловой режим.

Введение

Сложившаяся в энергетической сфере ситуация требует быстрого и рационального перевода экономики страны на собственные дешевые энергоресурсы. Единственной реальной альтернативой нефти и газу в Украине является уголь. Украина располагает значительными запасами углей, широкое и эффективное применение которых позволит значительно расширить энергетическую базу страны.

Использование угля в качестве топлива для энергетических агрегатов эффективно, но имеет большое количество недостатков. Использование угля в энергетике и металлургии должно сопровождаться использованием новых угольных технологий, позволяющих максимально использовать преимущество угля, а также минимизировать сложность его применения. Высокозольный уголь и отходы углеобогащения, которые в настоящее время в своем натуральном виде практически нигде не используются, могут стать сырьем для экологически безопасных и экономически эффективных технологий использования угля в виде водоугольного топлива. Водоугольное топливо обладает свойствами, позволяющими заменить им твердое, жидкое или газообразное топливо в различных топливопотребляющих агрегатах. Энергетическое использование водоугольного топлива возможно по двум схемам: сжигание в чистом виде или сжигание в смеси с рядовым топливом. Важно отметить, что при использовании водоугольного топлива, газ и/или мазут могут выступать в качестве резервного топлива.

© Шарабура Т.А. 2013

Потребителями водоугольного топлива могут быть как малые, средние, так и крупные промышленные предприятия, а также предприятия ЖКХ [1-5].

Постановка задачи и результаты исследования

В связи с актуальностью использования водоугольного топлива в энергетических агрегатах необходимо детально исследовать теплотехнические характеристики и параметры работы таких агрегатов и установить оптимальные режимы при работе на этом топливе.

В связи с этим проведены оценочные теплотехнические расчеты для проверки целесообразности и эффективности перевода парового котла средней мощности ТП-35 на сжигание водоугольного топлива [6-9].

Расчеты производились применительно к водоугольному топливу из шлама угля марки ДГ с теплотой сгорания 13,8 МДж/кг, содержанием твердой фазы 57,3 % и зольностью 12,3%.

Парогенератор ТП-35 предназначен для камерного сжигания каменных и бурых углей, а также фрезерного торфа.

Парогенератор ТП-35 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.

Одним из показателей для предварительной оценки горения топлива является тепловое напряжение топки $q_v = B \cdot Q_н^p / V_m$, рекомендуемый диапазон которого составляет 100-300 кВт/м^3. При использовании водоугольного топлива на номинальных режимах работы котла ТП-35 тепловое напряжение объема топки составляет 163,8 кВт/м^3, а при снижении производительности вдвое тепловое напряжение топки уменьшается до 95 кВт/м^3, что ниже минимально рекомендуемых значений. 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. Известно [10,11], что возрастание температуры подогрева воздуха от 250 до 350 ^{o}C резко сокращает время выгорания топлива, однако дальней-

шее повышение температуры (выше 400-450°С) на закономерностях горения водоугольного топлива сказывается значительно слабее.

При сжигании водоугольного топлива в котле ТП-35 адиабатическая температура в топке составляет 1600-1750 °С в зависимости от температуры подогрева воздуха, идущего на горение. Степень черноты факела при горении водоугольного топлива снижается по сравнению с процессом горения угля на 20-22%.

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 °С в зоне воспламенения в районе расположения горелочных устройств. Кроме того, наибольшая полнота выгорания топлива наблюдается при коэффициенте избытка воздуха 1,1-1,2.

Для обеспечения надежной и бесперебойной работы парогенератора необходимо, чтобы температура газов на выходе из топки не выходила за допустимые пределы. При горении водоугольного топлива в топке котла происходит затягивание факела, связанное с увеличением времени воспламенения, включающее время испарения влаги топлива, и, соответственно, температура газов на выходе из топки повышается в сравнении с пылеугольным сжиганием. 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 950-1050 °С). Нижний предел температуры газов на выходе из топки определяется из условий сохранения устойчивости горения топлива: при низкой температуре в топке затрудняется воспламенение топлива, ухудшается выгорание частиц топлива в объеме факела. Минимально допустимые температуры газов на выходе из топки при камерном сжигании топлива составляют 800-820 °С [6]. При номинальной

производительности температура газов на выходе из топки составляет 1000-1020 °С. Со снижением нагрузки до 60% устойчивость горения водоугольного топлива не нарушается, однако температурный уровень на выходе из топки уменьшается, в среднем на 18-20%, и составляет 800-850 °С.

В результате расчетов определено, что при работе на номинальных режимах возникают некоторые технологические нарушения работы котла - существенна нагрузка на конвективные поверхности нагрева. А именно, происходит недогрев воды (на 5-10 °С) 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 к конвективным поверхностям нагрева 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.

Распределение температур по ходу движения продуктов сгорания при номинальной нагрузке котельного агрегата ТП-35 представлено на рисунке 1.

Серией расчетов установлено, что одним из способов обеспечения устойчивого технологического режима является снижение производительности парогенератора при сохранении номинальных параметров пара (445 ^{0}С, 3,8 МПа).

Всякое изменение нагрузки котла относительно номинального режима вызывает перераспределение соотношения теплоты, передаваемой радиационным и конвективным поверхностям нагрева. Снижение нагрузки и соответственно тепловыделения в топке при неизменных характеристике топлива, воздушном режиме топки и температуре питательной воды повышает долю теплоты, передаваемой экранам в топке, и уменьшает долю теплоты, воспринимаемой конвективным пароперегревателем, экономайзером и воздухоподогревателем. Такое перераспределение тепловосприятия объясняется снижением температуры на выходе из топки и далее по газовому тракту, а также уменьшением скорости газов в конвективных поверхностях нагрева. Удельная тепловая нагрузка экранов падает незначительно. В результате, несмотря на относительно большие удельные поверхности нагрева, снижаются температура подогрева воды в экономайзере, температура подогрева воздуха и температура уходящих газов, а также уменьшаются сопротивления пароводяного и газовоздушного трактов.

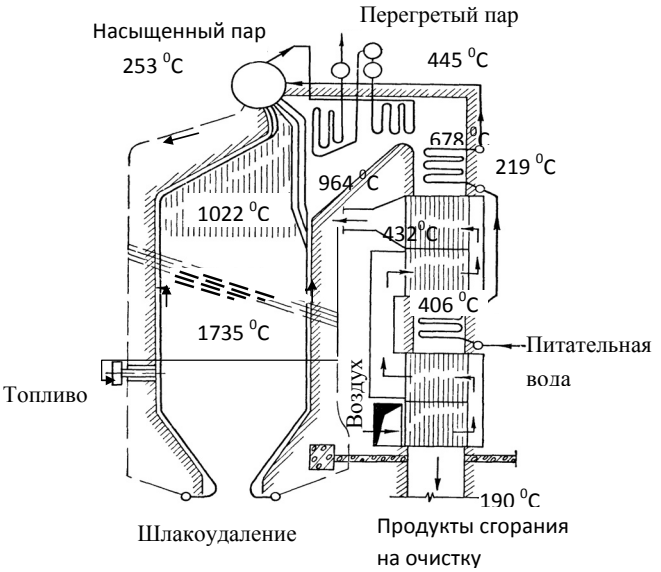

Рис. 1. Распределение температур в парогенераторе при номинальной нагрузке

В связи с этим при изменении производительности парогенератора необходимо изменять конструктивные размеры первых ступеней пароперегревателя и экономайзера, чтобы получить требуемые параметры перегретого пара. На рисунке 2 показана зависимость размеров конвективных поверхностей от производительности котельного агрегата.

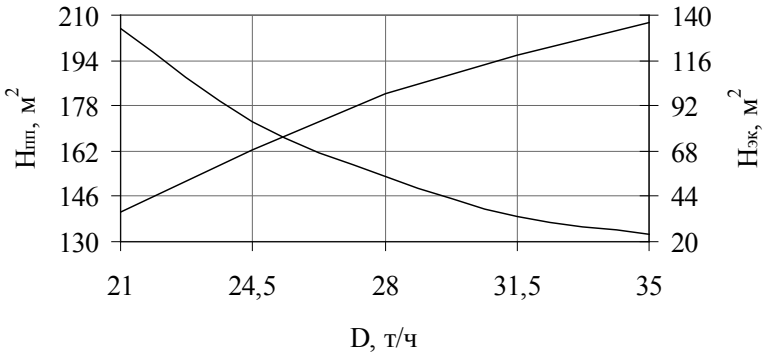

Рис. 2. Зависимость площади нагрева первых ступеней конвективных поверхностей от производительности котельного агрегата

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. Повышение затрат топлива приводит к увеличению объема продуктов сгорания, что в свою очередь также является ограничением в работе котельного агрегата, так как дымосос парогенератора ТП-35 рассчитан на объем продуктов сгорания, равный 15,34 м^3/с. При анализе аэродинамического расчета [12] установлено, что при номинальной производительности тяго-дутьевая система котла работает на пределе технических возможностей.

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 ^{o}C. При использовании водоугольного топлива температура уходящих газов перед дымососом повышается на 25-30 ^{o}C и составляет 190 ^{o}C.

В результате исследований установлено, что при переводе парогенератора ТП-35 на водоугольное топливо показатели работы котла близки к предельным значениям и с точки зрения стабильности горения для данного топлива, и с точки зрения оптимальных и допустимых технологических параметров работы котельного агрегата.

При переводе парогенераторов на сжигание водоугольного топлива необходима разработка режимных карт в расчетном диапазоне производительности работы котельного агрегата (таблица 1).

Таблица 1.

Тепловые режимы работы котла ТП-35 при сжигании водоугольного топлива

Наименование измеряемых величин		Размер-ность	Величина				
Нагрузка котла (паропроизводительность)		%	60	70	80	90	100
		т/ч	21	24,5	28	31,5	35
Пар и вода	Давление перегретого пара	МПа	3,8				
	Температура перегретого пара	°С	445				
	Температура питательной воды	°С	100				
Расход водоугольного топлива		т/ч	5,19	6,08	6,98	7,88	8,78
Воздух	Расход воздуха	тыс. $м^3/ч$	24,3	28,5	32,7	36,9	41,1
	Температура холодного воздуха	°С	25				
	Температура горячего воздуха за в/п	°С	333	363	390	412	432
Дымовые газы	Адиабатическая температура в топке	°С	1667	1701	1724	1730	1735
	Температура на выходе из топки	°С	853	907	952	990	1022
	Температура перед водяным экономайзером	°С	496	553	602	643	678
	Температура перед воздухоподогре-вателем	°С	403	450	493	528	562
	Температура за котлом	°С	170	175	180	185	190

Полученные данные позволяют установить оптимальные режимы работы парогенератора ТП-35 при сжигании водоугольного топлива, которые в дальнейшем можно применять для прогнозирования эффективной работы котельных агрегатов при переводе на данный вид топлива.

Выводы

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.

Для определения возможности и целесообразности перевода парогенераторов на водоугольное топливо необходимо детально исследовать теплотехнические характеристики и параметры, а также установить оптимальные режимы работы при сжигании этого вида топлива.

В результате расчетно-теоретических исследований установлено, что при переводе парового котла ТП-35 на водоугольное топливо производительность может меняться в пределах от 60 до 100% номинальной. Однако определено, что при работе на номинальных режимах возникают некоторые технологические нарушения работы котла. Серией расчетов установлено, что одним из способов обеспечения устойчивого технологического режима является снижение производительности парогенератора при сохранении номинальных параметров пара (445 ^{0}C, 3,8 МПа). Полученные данные показывают, что достигнутый уровень снижения нагрузки котла до 60% от номинальной близок к предельным значениям и с точки зрения стабильности горения для данного топлива, и с точки зрения оптимальных и допустимых технологических параметров работы данного парогенератора.

При изменении производительности парогенератора необходимо изменять конструктивные размеры первых ступеней пароперегревателя и экономайзера, чтобы получить требуемые параметры перегретого пара.

Анализ теплового баланса показал, что КПД котельного агрегата при работе на водоугольном топливе уменьшается в большей степени из-за увеличения потерь с дымовыми газами, так как при использовании водоугольного топлива температура уходящих газов перед дымососом повышается на 25-30 ^{o}C и составляет 190 ^{o}C при номинальной производительности.

Литература

1. Дроздник И.Д., Орлов А.В., Черкесов В.В. Рынок угля и перспективные направления его использования: информационно-аналитический обзор. – Харьков, 2004. – 189 с.

   Drozdnik I.D., Orlov A.V., Cherkesov V.V. Coal market and future directions of its use: the information-analytical review. - Kharkov, 2004. – 189 p.

2. Мурко В.И,, Пузырев Е.М., Садардинов И.В., Секчуров О.П. Водоуголыюе топливо — реальная альтернатива жидким и газообразным природным горючим ископаемым // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности. / Материалы международной научно-практической конференции. — Кемерово, 2000. — с. 122 -123.

Murko V.I., Puzyrev E.M., Sadardinov I.V., Sekchurov O.P. The water-coal fuel - a real alternative to liquid and gaseous fossil fuel natural // Energy Security of Russia. New approaches to the development of the coal industry. / Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. - Kemerovo, 2000. – P. 122-123.

3. Ходаков Г.С., Горлов Е.Г., Головин Г.С. Водоугольное топливо. Техноэкономические перспективы промышленного использования в период высоких цен на энергоносители // Уголь. — 2006. — № 10. — С. 46-48.

   Hodakov G.S., Gorlov E.G., Golovin G.S. The water-coal fuel. Techno-economical perspectives of industrial use in the period of high energy prices // Coal. – 2006. - №10. – P. 46-48.

4. Трубецкой К.Н., Зайденверг В.Е., Кондратьев А.С., Мурко В.И., Кассихин Г.А., Нехороший И.Х. Водоугольное топливо — технология будущего и перспективы применения в России. // Уголь. — 2007. — №11. — С. 28—31.

   Trobetzkoy K.N., Zaydenverg V.E., Kondratyev A.S., Murko V.I., Kassikhin G.A., Nehoroshiy I.H. The water-coal fuel - the technology of the future and prospects of application in Russia. // Coal. – 2007. - №11. – P. 28-31.

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.

   Pinchuk V.A., Gubinskiy M.V., Potapov B.B. The use of water-coal fuel and its products in the energy and metallurgy // Metallurgical Heat Engineering: Proceedings of the National Metallurgical Academy of Ukraine. - Dnipropetrovsk: «The new ideology.» -2009. – Issue 1(16). – p. 144-149.

6. Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Котельные установки промышленных предприятий: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 258 с.

   Sidelkovskiy L.N., Jurenev V.N. Boiler systems of industrial enterprises: Textbook for high schools. - 3rd ed., Rev. - M. Energoatomizdat, 1988. – 258 p.

7. Тепловой расчет промышленных парогенераторов: Учеб пособие для вузов. Под ред. В.И Частухина. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1980. – 184 с.

Thermal design of industrial steam generators: Study guide for high schools. Ed. V.I. Chastuhina. - Kiev: High School. Head Publishers, 1980. – 184 p.

8. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод). Под ред. Н.В. Кузнецова и др. - М.: Энергия, 1973. – 296 с.

   Thermal design of boilers (normative method). Ed. N.V. Kuznetsov and others - M.: Energy, 1973. – 296 p.

9. Щеголев М.М., Гусев Ю.Л., Иванова М.С. Котельные установки. – М.: Стройиздат , 1965. – 424 с.

   Shegolev M.M., Gusev J.L., Ivanova M.S. Boiler systems. - M. Stroyizdat, 1965. – 424 p.

10. 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.

    Vulkanov E.I., Delyagin G.N., Kirsanov V.I., Levanevskiy V.S., Onishenko A.G. The research of furnace process in the boiler combustion of water-coal slurry. - «Combustion of highly watered fuel in the form of water- coal slurry». M., Publishing House «Nauka», 1967, p.122-135.

11. 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.

    Sharabura T.A., Pinchuk V.A., Shevchenko G.L. The influence of heating temperature of the water-coal fuel for its properties and composition // Metallurgical Heat Engineering: Proceedings of the National Metallurgical Academy of Ukraine. - Dnipropetrovsk: «The new ideology.» -2010. – Issue 2(17). – p. 205-211.

12. Аэродинамический расчет котельных установок (нормативный метод). Под ред. С.И. Мочана. Изд. 3-е. - Л.: Энергия, 1977. – 256 с.

    Aerodynamic design of boiler plants (normative method). Ed. S.I. Mochana. Ed. 3rd. - L.: Energy, 1977. - 256 p.

Рукопись поступила 22.05.2013 г.