

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТОПОЧНЫХ УСТРОЙСТВ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ПРИ СЖИГАНИИ УГЛЕЙ КАНСКО-АЧИНСКОГО БАСЕЙНА

И. К. ЛЕБЕДЕВ

(Представлена семинаром кафедры котлостроения и котельных установок)

1. Выбор конструкции топочной камеры

В ряде наших работ [1, 2] было показано, что главным направлением борьбы с образованием связанных отложений на конвективных поверхностях нагрева при сжигании углей Канско-Ачинского бассейна является организация высокотемпературного сжигания этих углей в топочных устройствах с жидким шлакоудалением.

Необходимость высокотемпературного сжигания и высокотемпературной обработки золы в ходе топочного процесса выдвигает определенные требования к топочным устройствам. На основании тех выводов, которые были сделаны ранее [2], эти требования можно сформулировать в следующем виде.

В зоне горения основной части топлива должна поддерживаться высокая температура, которая обеспечивала бы полное протекание процессов преобразований с минеральной части топлива, при которых все минеральные составляющие должны быть переведены либо в прочные алюмосиликаты, алюмоферриты или в инертные стекла. Для организации должной интенсификации этих процессов необходимо, чтобы они протекали не в виде твердофазовых реакций в диффузионной области, а в кинетической области, что может быть обеспечено прохождением всей минеральной массы через расплавленное (жидкое) состояние. Поэтому топочные устройства должны быть с жидким шлакоудалением.

Для того, чтобы обеспечить высокотемпературное сжигание всей или большей массы топлива, подаваемого в топочную камеру, в той части топочного объема, где происходит сжигание, должна поддерживаться равномерность температурных полей как по горизонтальному сечению топочного объема, так и по длине пути горящего факела, а сама камера горения должна иметь высокие теплонапряжения единицы объема.

Для протекания наиболее глубоких преобразований в минеральной части топлива после завершения основных стадий горения необходимо обеспечить по возможности максимальную длительность пребывания золовых частиц в высокотемпературных условиях. Поэтому в топочных устройствах должны быть интенсифицированы все стадии горения, с таким расчетом, чтобы они протекали на наикратчайшем пути факела. Отсюда вытекают требования к горелочным устройствам, которые должны обеспечивать хорошее начальное смесеобразование, хорошую турбулизацию факела в зоне горения и наиболее полный и интенсивный выжиг топлива в наикратчайшее время.

Таковы основные требования, которые, по нашему мнению, предъявляются к топочным устройствам для сжигания углей Канско-Ачинского бассейна.

Рассмотрим различные современные конструкции топочных устройств с точки зрения того, насколько они отвечают сформулированным требованиям. Разумеется, что будем рассматривать только топки с жидким шлакоудалением.

Наиболее простой по устройству и наиболее дешевой является однокамерная открытая топка с жидким шлакоудалением. Одной из особенностей открытых топок с жидким шлакоудалением является неравномерность температурных полей как по сечению топочной камеры, так и по длине пути факела. В силу этого ядро горения с наивысшими температурами занимает небольшую долю топочного объема. Поэтому значительная (если не большая) часть топлива в открытой топке сжигается в низкотемпературных условиях, а зола не получает должной высокотемпературной обработки. Таким образом, топочные устройства открытого типа не отвечают требованиям, сформулированным выше, и не могут быть рекомендованы для сжигания углей Канско-Ачинского бассейна. Это подтверждается и практикой. Так, например, с переводом котлоагрегатов ПК-38 Назаровской ГРЭС с сухого на жидкое шлакоудаление не только не прекратилось образование связанных отложений на конвективных поверхностях нагрева, но и мало снизилась интенсивность протекания этого процесса.

Наиболее полно отвечают сформулированным требованиям топочные устройства с выделенными зонами горения в виде предтопок различных конструкций с возможно полным завершением в них процессов горения основной части топлива при высоких температурах. К таким топочным устройствам относятся топочные устройства ВТИ с вертикальными циклонными предтопками, топочные устройства ЦКТИ с горизонтальными циклонными предтопками, полуоткрытые топочные устройства БКЗ-ЦКТИ с восьмигранными предтопками и гамма-топка ВТИ.

При сжигании углей Канско-Ачинского бассейна во всех перечисленных выше топочных устройствах, за исключением гамма-топки ВТИ, не наблюдается образование связанных отложений на конвективных поверхностях нагрева котлоагрегатов. Что касается гамма-топки ВТИ, опыт эксплуатации ее имеется на Красноярской ТЭЦ-1, где образование связанных отложений все-таки происходит. Возникновение связанных отложений объясняется тем, что применение в этой установке системы пылеприготовления с полупрямым вдуванием [3] не позволило получить нужного уровня высокотемпературной обработки золы.

2. О выборе температуры газов на входе в конвективные поверхности котлоагрегатов при сжигании углей Канско-Ачинского бассейна

В настоящее время существуют различные мнения по поводу выбора температуры газов на входе в конвективные поверхности нагрева при проектировании котельных агрегатов для сжигания углей Канско-Ачинского бассейна. Так, проектом норм теплового расчета котельных агрегатов [4] температуру на выходе из точки рекомендуется принимать 900°C , при этом предусматривается, что продукты сгорания входят в разреженную часть конвективных поверхностей (фестоны, разреженные ряды труб пароперегревателя), в которых температура газов понижается дополнительно на $50\text{--}100^{\circ}\text{C}$. В работе [5] рекомендуется для этих углей принимать температуру газов на входе в конвективные поверхности нагрева $650\text{--}850^{\circ}\text{C}$, а в работе [6] — $850\text{--}900^{\circ}\text{C}$.

Данные наших исследований углей трех месторождений Канско-Ачинского бассейна, хорошо согласующиеся с данными ВТИ, показыва-

ют, что минимальные температуры начала деформации золы составляют: для углей Назаровского месторождения — 1160°C , для Ирша-Бородинского месторождения — 1180°C и для Березовского месторождения — 1200°C . Таким образом, рассмотренные выше предложения значительно снижают температуру газов на входе в конвективные поверхности по сравнению с температурой t_1 . Основанием для таких рекомендаций послужил опыт эксплуатации котлоагрегатов типа ПК-38, ПК-10 и др. в системе Красноярскэнерго, снабженных шахтномельничными топками открытого типа с сухим и жидким шлакоудалением, где происходит интенсивное загрязнение связанными отложениями конвективных поверхностей нагрева при повышении в них температуры газов выше 850°C .

Изучение природы и механизма образования связанных отложений при сжигании углей Канско-Ачинского бассейна на разных установках показало, что явление загрязнения поверхностей нагрева связанными отложениями может быть исключено применением высокотемпературного сжигания этих углей с высокотемпературной обработкой золы в ходе топочного процесса в топочных устройствах специальных конструкций с жидким шлакоудалением [2]. Эти выводы подтверждаются практикой. Так, котельные агрегаты БКЗ-320-140, в топочных устройствах которых обеспечивается высокотемпературное сжигание и высокотемпературная обработка летучей золы, не имеют признаков образования связанных отложений на конвективных поверхностях [7]. Не наблюдалось признаков образования связанных отложений и при опытном сжигании назаровского угля на котлоагрегатах БКЗ-220-100 БЦ, снабженных топочными устройствами с вертикальными предтопками ВТИ.

Температура газов при входе в конвективные пароперегревательные поверхности на котлоагрегате БКЗ-320-140 при сжигании ирша-бородинского угля с нагрузками котлоагрегата от 125 до 290 т/час по замерам, выполненным ЦКТИ, изменялась в пределах $930\text{—}1070^{\circ}\text{C}$, а при опытном сжигании назаровского угля при нагрузках котлоагрегата 160—320 т/час в пределах $950\text{—}1100^{\circ}\text{C}$; температуры перед ширмами соответственно были: при сжигании ирша-бородинского угля $1030\text{—}1250^{\circ}\text{C}$, а при сжигании назаровского угля — $1050\text{—}1300^{\circ}\text{C}$. Несмотря на то, что конвективный пароперегреватель имеет довольно тесные пучки ($\frac{\bar{S}_1}{d} = 2,5$, $\frac{\bar{S}_2}{d} = 2,0$) шлакования, образования связанных отложений и заносов пучков летучей золой не наблюдалось как при сжигании ирша-бородинского, так и назаровского углей. Обдувка пароперегревателей производилась лишь при нагрузках котлоагрегатов выше 220 т/час два-три раза в сутки выдвижными сажеобдувочными аппаратами ОПК-7, расположенными между 1-й и 3-й ступенями пароперегревателя.

Как при сжигании ирша-бородинского, так и при сжигании назаровского углей на нижних гиах труб ширмовых поверхностей наблюдалось возникновение незначительной величины наростов (рис. 1), состоящих из слегка слипшихся частичек шлака темно-коричневого цвета. Эти отложения очень слабо связаны между собой и поверхностью труб и самопроизвольно разрушаются по мере их роста более 30-40 мм .

Исследования этих отложений под микроскопом показали, что они состоят из сильно деформированных частичек золы, то есть являются результатом простого шлакования, так как температуры газов перед ширмовыми поверхностями превышают температуру начала деформации золы. При исследовании под микроскопом сыпучих отложений с поверхностей пароперегревателя, расположенных на входе газов, в них обнаруживается некоторое количество деформированных частичек золы, что свидетельствует о том, что на входе в пароперегревательные поверхности не все частицы золы находятся в полностью затвердевшем состоянии.

Этот факт указывает на то, что при должной высокотемпературной обработке золы в топочном процессе даже некоторое повышение температуры газов выше температуры начала деформации золы еще не вызывает шлакования конвективных поверхностей нагрева.

Таким образом, опыт эксплуатации котлоагрегатов БКЗ-320 при сжигании углей Канско-Ачинского бассейна с должной высокотемпературной обработкой золы не вызывает необходимости ограничивать температуру газов при входе в конвективные поверхности нагрева условиями образования связанных отложений. Эти ограничения должны определяться, как обычно, только температурой начала деформации золы, а исходя из этого, температура газов на входе в конвективные поверхности нагрева может приниматься 1100°C . Учитывая возможность некоторых ошибок в расчетах теплообмена в топочных устройствах, а также возможность возникновения некоторых перекосов температурных полей на выходе из топки, можно с полной уверенностью рекомендовать при проектировании котельных агрегатов для сжигания углей Канско-Ачинского бассейна принимать температуру на входе в конвективные поверхности нагрева 1000°C .

В работе [8] убедительно показано, что снижение температуры газов на выходе из топки вызывает резкое снижение теплонапряжения топочной камеры прежде всего за счет снижения средней удельной плотности теплопоглощения экранными поверхностями, ведет к увеличению габаритов котельного агрегата и в конечном итоге к увеличению его стоимости. Поэтому снижение температуры газов на входе в конвективные поверхности, основанное на опыте работы котлоагрегатов с явно неудовлетворительными для сжигания канско-ачинских углей топочными устройствами, рекомендовать нельзя.

Иногда считают, да это вытекает и из уравнения (3) работы [8],

$$(q_v)_{\text{охл}} = \left(\frac{q_{нэ}}{q_d} \right) \left(\frac{H_э}{V_m} \right),$$

где $(q_v)_{\text{охл}}$ — тепловая мощность, выделяемая на 1 м^3 топочного пространства, исходя из условий охлаждения дымовых газов в топке, $\text{Мвт}/\text{м}^3$;

$q_{нэ}$ — удельная средняя мощность теплопоглощения экранными поверхностями, $\text{Мвт}/\text{м}^2$;

$q_d = \frac{Q_n^p + Q_v - I_m''}{Q_n^p}$ — доля тепла топлива, с учетом тепла воздуха, воспринимаемая экранными поверхностями за счет лучистого теплообмена в топке;

$H_э$ — эффективная лучевоспринимающая поверхность топочной камеры, м^2 ;

V_m — объем топочного пространства, м^3 ;

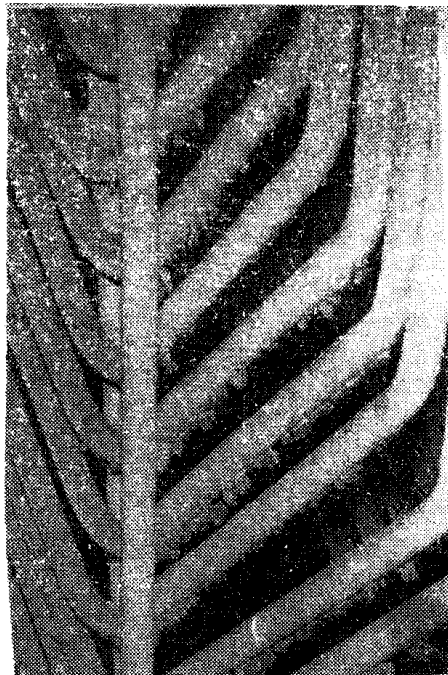


Рис. 1. Вид нижней части ширмовых поверхностей котлоагрегата БКЗ-320—140 при сжигании канско-ачинских углей

что снижение первого комплекса этого уравнения может быть компенсировано увеличением второго комплекса путем применения двухсветных экранов и полурадационных (ширмовых) поверхностей нагрева. При этом теплонпряжения и габариты топочной камеры, а следовательно, габариты котельного агрегата в целом могут сохраниться приемлемыми. Но и стоимость котельного агрегата все равно возрастет из-за увеличения металлоемкости топочной камеры и снижения эффективности лучевоспринимающих поверхностей нагрева. Кроме того, применение двухсветных экранов вызовет усложнение конструкции котлоагрегата и значительные трудности их очистки в эксплуатации, так как средства очистки ширмовых поверхностей, в том числе и виброочистка, еще далеки от совершенства. В связи с тем, что зола углей некоторых месторождений Канско-Ачинского бассейна (например, Березовского) имеет высокую температуру плавления золы при малых зольностах (при $A^c < 5\%$) и внедрение топок с жидким шлакоудалением встретит некоторые затруднения, существует мнение о том, что топочные устройства для сжигания этих углей можно проектировать однокамерные, открытого типа с сухим шлакоудалением, а за счет развития глубокоопущенных в топочную камеру ширмовых поверхностей температуру на входе в конвективные поверхности поддерживать ниже 850°C и этим самым исключить или резко снизить интенсивность образования связанных отложений на конвективных поверхностях нагрева. Близкие к этим предпосылки были положены в основу реконструкции котлоагрегатов ПК-38 Назаровской ГРЭС (2-й этап реконструкции). При этой реконструкции вторая ступень вторичного пароперегревателя, которая до реконструкции была первой поверхностью на пути газов на входе в конвективную шахту и наиболее интенсивно загрязнялась связанными отложениями, вынесена в топку в виде дополнительных ширм. За счет этого (по расчетам) температура газов на входе в конвективные поверхности должна снизиться до 790°C и, как предполагалось, привести к резкому снижению интенсивности загрязнения их связанными отложениями. Практика показала, что эта реконструкция без коренного изменения топочного процесса и конструкции топочного устройства не привела к ожидаемым результатам. Ширмовые поверхности оказались в температурной зоне наиболее интенсивного образования связанных отложений, поэтому котельный агрегат мог надежно вести нагрузку только при условии бесперебойной работы виброочистки ширм и дробевой очистки конвективных поверхностей нагрева с принудительной подачей дробь дробеметами, при запуске в работу всех средств комплексной очистки два-три раза в смену. Кратковременный выход из строя виброочистки приводит к резкому повышению температуры в поворотной камере из-за интенсивного загрязнения ширм и к интенсивному образованию связанных отложений на конвективных поверхностях нагрева. Поэтому нельзя признать нормальным методом борьбы с образованием связанных отложений снижение температуры газов на входе в конвективные поверхности нагрева без внедрения высокотемпературного сжигания топлива и высокотемпературной обработки золы в топочном процессе. С этой точки зрения применение открытых топок с сухим шлакоудалением и снижение температуры газов на входе в конвективные поверхности нагрева ниже 850°C при сжигании углей Канско-Ачинского бассейна не обеспечит надежной работы котлоагрегата.

Выводы

1. Для обеспечения высокотемпературного сжигания углей Канско-Ачинского бассейна топочные устройства должны отвечать следующим основным требованиям:

а) основная масса топлива должна сжигаться при температурах, обеспечивающих прохождение минеральной массы угля через расплавленное (жидкое) состояние; топки должны быть с жидким шлакоудалением;

б) в зоне горения основной части топлива должна обеспечиваться равномерность температурных полей как по сечению, так и по длине пути факела;

в) для обеспечения высокотемпературного сжигания топлива и высокотемпературной обработки золы необходимо интенсифицировать все стадии горения топлива с тем, чтобы обеспечить наиболее полное их завершение в пределах камеры горения, обладающей высокими теплонапряжениями;

г) для обеспечения наиболее полного завершения процессов высокотемпературных превращений в минеральной массе необходимо стремиться к тому, чтобы время нахождения золовых частиц в зоне высоких температур было максимальным.

2. Наиболее полно этим требованиям отвечают топочные устройства с выделенными зонами горения в виде предтопок (циклонные топки, вихревые топки).

3. Из числа известных современных конструкций, доказавших их способность обеспечить высокотемпературное сжигание и высокотемпературную обработку золы с полной ликвидацией признаков образования связанных отложений, являются топки ВТИ с вертикальными циклонными предтопками, топки ЦКТИ с горизонтальными циклонными и полуоткрытые топки БКЗ-ЦКТИ с восьмигранными предтопками.

4. При сжигании углей Канско-Ачинского бассейна в топочных устройствах, обеспечивающих высокотемпературное сжигание и высокотемпературную обработку золы в топочном процессе, температура на входе газов в конвективные поверхности нагрева должна определяться, как обычно, температурой начала деформации золы и приниматься при проектировании котельных агрегатов равной 1000°C .

5. Снижение температуры газов на входе в конвективные поверхности нагрева до величины ниже 850°C за счет внедрения ширмовых поверхностей нагрева без организации высокотемпературного сжигания топлива не обеспечит ликвидацию интенсивного загрязнения конвективных поверхностей нагрева связанными отложениями, является экономически невыгодным и не может быть рекомендовано при сжигании углей Канско-Ачинского бассейна.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. К. Лебедев. Сжигание углей Канско-Ачинского бассейна в топках мощных парогенераторов. Ст. Итоги исследований по энергетике и энергомашиностроению за 50 лет. Изд-во Томского университета. Томск, 1968.

2. И. К. Лебедев. По поводу статьи М. П. Сморгунова и др. Сжигание бурых углей в шахтномельничной топке с жидким шлакоудалением. «Эл. станции», № 5, 1968.

3. С. Н. Миرونюк, В. Р. Котлер. Пуск и наладка котла, оборудованного опытной топкой с гамма-образным факелом на канско-ачинских углях. Ст. материалы научно-технического совещания по сжиганию канско-ачинских углей.

4. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. (Проект) Л., 1966.

5. В. И. Резник, И. П. Эпик, Х. Х. Арро, М. З. Гудкин. Рекомендации по проектированию котлоагрегатов для сжигания канско-ачинских углей. Тезисы докладов совещания по сжиганию углей Канско-Ачинского бассейна. МЭиЭ СССР, М., 1967.

6. Э. П. Дик, Р. А. Сирюха. Изучение условий образования золовых отложений при сжигании назаровского угля. «Теплоэнергетика», № 10, 1969.

7. И. К. Лебедев, А. И. Гнатюк. Поведение минеральной части праша-бородинского и азейского углей при сжигании их в топке котла БКЗ-320-140 ПТ Иркутской ТЭЦ-6. Тезисы докладов совещания по сжиганию углей Канско-Ачинского бассейна. МЭиЭ СССР, М., 1967.

8. В. П. Романин. Основные топочные характеристики и их значение в мировой практике. «Теплоэнергетика», № 10, 1969.