

УДК 621.311

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА В КОТЛАХ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ

Радцевич В.Ф., Свирилин М.В.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Жихар Г.И.

В условиях современных энергетических проблем и роста цен на дефицитные виды топлива (газ и мазут) экономия топлива является важнейшей задачей энергетической отрасли Республики Беларусь. Признано необходимым широко использовать ресурсосберегающую технику, малоотходную и безотходную технологию, местные топлива и утилизировать вторичные энергоресурсы. Задача экономии топлива тесно связана с проблемой защиты окружающей среды. В настоящее время и в обозримой перспективе решение проблемы охраны окружающей среды становится определяющим не только при сооружении крупных топливно-энергетических комплексов, но также при реконструкции, расширении, техническом перевооружении действующих топливо потребляющих установок.

Одним из наиболее сложных и актуальных направлений среди экологических проблем теплоэнергетики является сокращение выбросов оксидов азота котельными установками. Проблема охраны окружающей среды от выбросов объектов теплоэнергетики приобрела особую социальную значимость. Оксиды азота относятся к числу наиболее токсичных выбросов теплоэнергетического оборудования. Они являются загрязнителями атмосферы при сжигании всех видов органического топлива, в том числе и природного газа. Поскольку токсичность оксидов азота превышает токсичность большинства других вредных компонентов, то сокращение выбросов оксидов азота крупнейшими источниками, которыми являются котельные агрегаты и промышленные печи - есть одна из актуальнейших задач по защите атмосферного воздуха от загрязнений.

Как известно, в уходящих газах котлов, сжигающих природный газ, содержится около 15 % водяных паров. Их скрытая теплота парообразования (СТП) составляет около 15 % теплоты сгорания газа. На эту величину низшая теплота сгорания газа меньше ее истинной - высшей теплоты сгорания. Соответственно при рассчитанном по $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ КПД котла $\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}} = 94 \%$, фактически его КПД $\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}} = 80 \%$.

В последнее время широкое применение для использования скрытой теплоты парообразования получили контактные экономайзеры на котлах малой и средней мощности. Подольский завод «ИК» ЗИОМАР» несколько лет назад приступил к разработкам установок использования СТП в мощных газовых энергоблоках [1].

По мнению представителей завода, эти установки решают следующие задачи:

- глубокое охлаждение уходящих газов;
- получение конденсата из уходящих газов;
- использование полученной теплоты конденсации водяных паров для подготовки конденсата системы регенерации;
- использование теплоты для нагрева подпиточной воды для нужд тепличного хозяйства, для отопления и вентиляции главного корпуса ТЭС, для предварительного подогрева воздуха;
- решение экологических задач.

Наиболее рациональным представляется использование скрытой теплоты парообразования для нагрева конденсата в системе регенерации турбины взамен ПНД-1. Расчеты показывают, что в газовом энергоблоке мощностью 300 МВт при температуре уходящих газов 101 °С их теплом, включая СТП, можно нагреть конденсат с расходом 639,5 т/ч от 27 до 58 °С (как в ПНД-1). При этом освободившийся отборный пар вырабатывает дополнительную бестопливную мощность $\Delta N = 1,2$ МВт, за счет чего снижение удельного расхода топлива на энергоблок составляет 0,4 %. Если часть дымовых газов (около 6 %)

байпасировать мимо РВП, то температура уходящих газов составит 85 °С. Эта температура вполне приемлема для газоходов и дымовой трубы. Одновременно из установки выделяется конденсат с расходом 25 т/ч. Конечно, он не может служить непосредственно для подпитки энергоблока СКД, но по мнению ВТИ, его доведение до кондиции химобессоленной воды требует существенно меньших затрат, чем получение химобессоленной воды из сырой воды. Также уменьшается парциальное давление водяных паров в уходящих газах с 0,183 до 0,158 со снижением температуры конденсации с 58 °С до 54,5 °С. Поэтому опасность конденсации водяных паров на газоходах и дымовой трубе уменьшается.

Вместо подогрева конденсата можно подогревать подпиточную воду. Если принять величину подпитки 5 %, то для котла производительностью 1000 т/ч подпитка может воспринять тепло конденсата в размере 20 Гкал/ч.

Другой способ использования скрытой теплоты парообразования - это воздушное отопление главного корпуса ТЭС и подогрев дутьевого воздуха в холодное время. При воздушном отоплении главного корпуса водяные пары конденсируются в трубчатом воздухоподогревателе, работающем в шунтовом газоходе дымовых газов. Скрытая теплота воспринимается воздухом, вентилирующим здание. Система воздушного отопления замещает систему калориферного отопления, на которое расходуется тепло отборного пара турбины при некоторой потере ее электрической мощности.

При номинальной зимней температуре наружного воздуха $t_{нар.} = -15$ °С, нагрев до номинальной вентиляционной температуры +14 °С требует теплоты для энергоблока мощностью 300 МВт 9,3 Гкал/ч, которые при $t_{нар.} \sim -30$ °С возрастает до 14 Гкал/ч, а при $t_{нар.} = 0$ °С снижается до 4,5 Гкал/ч. При этом энергоблок может вырабатывать дополнительную электрическую мощность 5 МВт, замещая отборы пара на подогреватели низкого давления. Как видно, для холодного времени года данная система является достаточно эффективно.

В связи с отсутствием при сжигании природного газа потерь теплоты в результате механической неполноты сгорания, близостью к нулю потерь в результате химической неполноты сгорания и весьма небольшой потерей теплоты в окружающую среду единственной потерей теплоты в котлах, о дальнейшем снижении которой может идти речь, является лишь потеря с уходящими газами, которая равна по отношению к низшей теплоте сгорания газа 5-6 %, а при составлении баланса по высшей теплоте сгорания - 16-18 %.

На основании изложенного можно сделать вывод, что в котельных установках, работающих на природном газе, единственным путем существенного улучшения использования топлива является глубокое охлаждение продуктов сгорания до такой температуры, при которой удастся сконденсировать максимально возможную часть водяных паров, содержащихся в газах, и использовать выделяющуюся при конденсации скрытую теплоту. Необходимо учитывать и то, что глубокое охлаждение газов позволяет полнее использовать физическую теплоту газов.

В газифицированных котельных другого пути заметного повышения коэффициента использования топлива (к.и.т.) кроме глубокого охлаждения продуктов сгорания до температуры, при которой происходит конденсация водяных паров из дымовых газов, нет. Есть все основания считать глубокое охлаждения продуктов сгорания природного газа в промышленных топливоиспользующих установках и особенно в энергетике наиболее эффективным путем значительного повышения к.и.т. и экономии газа в народном хозяйстве. Не случайно именно это направление начало усиленно развиваться в странах Западной Европы и США в начале 70-х годов, когда в капиталистических странах начался топливный кризис. Поэтому вполне закономерно, что на XIII конгрессе МИРЭК глубокое охлаждение продуктов сгорания признано одним из наиболее важных энергосберегающих методов[2].

Должное охлаждение газов следует обеспечить либо, в самом котле, либо в утилизационном теплообменнике, установленном после основного агрегата. Необходимо обеспечить такое течение процесса охлаждения газов, чтобы выпадение конденсата в максимально возможной и экономически оправданной степени было осуществлено в пределах основного или утилизационного агрегата, что позволяет облегчить работу

находящихся за теплообменником газоходов, дымососа и дымовой трубы, поскольку в этом случае в газоходы поступает лишь остаточные водяные пары, выпадение которых легче предотвратить.

Глубокое охлаждение дымовых газов возможно в любом теплообменнике с большой поверхностью теплообмена в единице объема и достаточно высоким коэффициентом теплообмена, что обеспечивает приемлемые металлоемкость и габаритные размеры. Важно также, чтобы аэродинамическое и гидравлическое сопротивление подобных аппаратов не требовали большой затраты электроэнергии на привод насосного и тягового оборудования, а также замены его в действующих котельных.

Широкое применение получили контактные теплообменники, которые чаще всего называют контактными экономайзерами. Они соответствуют всем ранее упомянутым требованиям, кроме сохранения неизменным качества нагреваемой в них воды.

Стремление обеспечить получение горячей воды питьевого качества привело к созданию комплексных контактно-поверхностных теплообменников, состоящих из контактного экономайзера и водо-водяного подогревателя, в котором теплоносителем служит вода, нагретая в контактном экономайзере. В последнее время получили развитие, особенно за рубежом, так называемые конденсационные поверхностные теплообменники и котлы, в которых глубокое охлаждение газов обеспечивается путем применения поверхностей нагрева с высоким коэффициентом оребрения, благодаря чему, такой важный показатель компактности аппарата, как площадь поверхности нагрева в единице объема, вполне соизмерим с этим показателем в контактных аппаратах или даже превышает его. В результате в конденсационных поверхностных теплообменниках могут быть достигнуты те же параметры уходящих газов, что и контактных экономайзерах.

Процессы охлаждения газов в поверхностных и контактных теплообменниках существенным образом отличаются друг от друга. В поверхностном теплообменнике охлаждение газов происходит сначала при постоянном влагосодержании. После достижения газами 100 %-ой относительной влажности начинается процесс осушения газов путем конденсации из них водяных паров. Анализ процесса охлаждения газов в поверхностном теплообменнике показывает, что конденсация водяных паров из газов начинается только после достижения ими точки росы.

Механизм охлаждения газов в контактном теплообменнике намного сложнее, поскольку с самого начала наряду с теплообменом происходит и массообмен. Тепло и массообмен между дымовыми газами и водой при их непосредственном соприкосновении имеет место благодаря разности температур и парциальных давлений водяных паров. В отличие от поверхностных теплообменников, подогрев воды в контактных аппаратах возможен лишь до так называемой температуры мокрого термометра, примерно равной температуре кипения воды при парциальном давлении паров в дымовых газах.

В контактных экономайзерах происходит одновременно "сухой" и "мокрый" теплообмен, т.е. теплообмен без изменения и с изменением агрегатного состояния воды. Характер процесса и относительная доля сухого и мокрого теплообмена в суммарном количестве переданной теплоты из дымовых газов для снижения потери теплоты с уходящими газами и соответственно повышения к.и.т. на 1 % достаточно охладить дымовые газы всего лишь на 2-3 °С.

Главным преимуществом контактных экономайзеров и котлов, равно как и конденсационных поверхностных теплообменников, являются возможности конденсации, содержащихся в продуктах сгорания водяных паров и использования выделяющейся при этом теплоты для нагрева воды. Поэтому эффективность применения контактного нагрева воды дымовыми газами при прочих равных условиях возрастает с увеличением их начального влагосодержания.

Влагосодержание продуктов сгорания природного газа зависит в основном от коэффициента избытка воздуха в дымовых газах, а также от влагосодержания дутьевого воздуха, поступающего на горение в топку котла и присосами воздуха в газоходы.

Механизм тепло и массообмена в контактном экономайзере при соприкосновении горячих дымовых газов с холодной водой весьма сложен. Здесь одновременно происходят процессы конвективного теплообмена, диффузии, теплообмена при изменении агрегатного состояния и теплопроводности. Движущей силой этих процессов являются разность не только температур газов и воды, но и парциальных давлений водяных паров в дымовых газах и у поверхности воды. Коэффициент теплообмена от газов к воде в контактном экономайзере и от газов к поверхности нагрева в конденсационном поверхностном теплообменнике существенно выше при одинаковой скорости газов и других равных условиях, чем при чисто конвективном теплообмене, т.е. при "сухом". Увеличение этого коэффициента может быть значительным в связи с высокой интенсивностью "мокрого" теплообмена.

В поверхностных теплообменниках только при температуре газов в пристенном слое ниже точки росы возможна конденсация содержащихся в них водяных паров, являющаяся иногда более значительным источником выделения теплоты, чем только физическая теплота газов, выделяющаяся при их охлаждении

В контактных теплообменниках при условии, если температура воды, контактирующей с газами, ниже точки росы, конденсация влаги из газов начинается и при их температуре, превышающей точку росы. Но интенсивная конденсация паров начинается при температуре газов, близкой к точке росы. При этом с началом конденсации паров из дымовых газов существенно увеличивается цена каждого процесса охлаждения дымовых газов, причем она тем больше, чем выше влагосодержание газов. Особенно четко цена глубокого охлаждения газов видна из характера зависимости потери теплоты с уходящими газами от их температуры в контактных теплообменниках при противотоке и прямотоке газов и воды. Если для повышения к.и.т. в котле на 1 % в установках без конденсации паров требуется охладить дымовые газы на 15-20 °С, то в зоне конденсации паров из дымовых газов для снижения потери теплоты с уходящими газами и соответственно повышения к.и.т на 1 % достаточно охладить дымовые газы всего лишь на 2-3 °С.

Для повышения надежности работы дымовой трубы важно, чтобы газы в контактном экономайзере охлаждались ниже точки росы. При охлаждении газов ниже точки росы в контактном экономайзере сконденсируется определенное количество паров и дымовые газы войдут в газоходы и дымовую трубу с более низкой температурой, но вместе с тем и с заметно более низкой точкой росы. Расчеты и экспериментальные исследования многих авторов показывают, что при противотоке газов и воды и нагреве ее ниже точки росы, относительная влажность газов на выходе из контактного экономайзера не превышает 80-90%. В результате получается, что разность между температурой газов на выходе из контактного экономайзера и новой точкой росы, соответствующей состоянию газов на выходе из экономайзера, такова, что создает некоторый запас и задерживает начало конденсации остаточных водяных паров.

Таким образом, хотя вероятность конденсации паров в дымовой трубе при нормальном режиме работы контактных экономайзеров сохраняется, возможное количество выпадающего в трубе конденсата уменьшается в несколько раз, а выпадение его при благоприятных условиях происходит не по всей высоте трубы.

Если рассматривать вопрос, до какой температуры следует охлаждать газы в контактном экономайзере, то ясно, что с точки зрения глубокого охлаждения газов целесообразно подавать в экономайзер воду с возможно более низкой температурой и нагревать ее до температуры ниже точки росы. Следовательно, глубина охлаждения дымовых газов определяется в каждом отдельном случае потребностью в воде и по возможности необходимой температурой ее, если она не превышает температуру мокрого термометра.

Эффективность глубокого охлаждения продуктов сгорания природного газа оценивается снижением потери теплоты с уходящими газами, определяемой при расчете по высшей теплоте сгорания топлива. Если принять умеренную температуру уходящих газов 40 °С, которая характерна для большинства действующих контактных экономайзеров, то потеря

теплоты с уходящими газами q_2^E составляет 2-5 %. Если основной котельный агрегат имеет температуру уходящих газов 150 °С, то экономия газа при наличии контактного экономайзера составляет не менее 10-12 % и коэффициент использования топлива (к.и.т.) может составить 96-97 % по Q_E^E .

Однако, несмотря на такую высокую эффективность использования контактных экономайзеров, следует отметить недостаточный объем использования их на электростанциях. Такое положение становится совершенно недопустимо в условиях, когда доля природного газа в топливном балансе электростанций Республики Беларусь составляет порядка 90-95 %. При этом стоимость природного газа, используемого на электростанциях, в последнее время возросла в несколько раз.

Литература

1. Об использовании скрытой теплоты парообразования водяных паров уходящих газов в мощных энергетических котлах/А.У. Липец [и др.]//Энергетик. -2002- №2 –С.19 -20.
2. XIII конгресс МИРЭК и мировая энергетическая ситуация/ М.А. Стырикович [и др.]//Теплоэнергетика. -1987- №3 –С.2 -11.