

ПЕРЕВОД СТАНЦИОННЫХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ В КОНДЕНСАЦИОННЫЙ РЕЖИМ. СПОСОБ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА

Е. Г. Шадек, канд. техн. наук, независимый эксперт, Москва

Ключевые слова: глубокая утилизация, продукты сгорания, конденсационный экономайзер, теплонасосная установка, экономия теплоты

Статья является продолжением публикации [1]. В ней предложена дальнейшая разработка технологии глубокой утилизации теплоты продуктов сгорания стационарных котлов и конкретировано схемное решение и работа узла глубокой утилизации. Также выполнен расчет эффективности системы для котельной установки в технологической схеме ТЭЦ.

Состояние проблемы

В передовых западных странах глубокая утилизация теплоты продуктов сгорания осуществляется применением водогрейных котлов конденсационного типа, оборудованных конденсационным экономайзером (КЭ) без искусственного хладоносителя, т. е. без применения теплонасосной установки [2, 3].

Отопительные конденсационные котлы получили на Западе массовое применение. За рубежом разрабатываются технологии глубокой утилизации и для паровых котлов [4]. В США начато освоение и выпуск поверхностных конденсационных экономайзеров для паровых котлов. В котельной фирмы «Тимкен» (информация из Интернета) испытан поверхностный экономайзер, установленный за котлом паропроизводительностью 20 т/ч. Температура газов на входе в экономайзер 200 °С, на выходе – 45 °С. Вода в нем (22 т/ч) нагревается с 17 до 46 °С. Теплопроизводительность – более 1,1 Гкал/ч, срок окупаемости – 1,5 года.

В типичной для паротурбинных электростанций технологической схеме конденсат подогревают в газовом подогревателе (ГПК), размещенном в хвостовых поверхностях котла. В нем продукты сгорания охлаждаются до температуры не ниже 60 °С во избежание конденсации [5].

После конденсатора насосами (иногда через блочную обессоливающую установку – БОУ) конденсат направляется в газовый подогреватель, после которого поступает в деаэрактор. При нормативном качестве конденсата БОУ байпасируют. Для того чтобы исключить конденсацию на последних трубах газового подогревателя, температуру конденсата перед ним поддерживают не ниже 60 °С посредством рециркуляции на вход в него подогретого конденсата. С целью дополнительного снижения температуры уходящих газов в линию рециркуляции конденсата нередко включают водоводяной теплообменник, охлаждаемый подпиточной водой теплосети.

Решение проблемы

Конденсат паротурбинной установки с температурой 20–35 °С позволяет охладить продукты сгорания в поверхностном газодляном конденсационном теплообменнике до требуемых 40 °С и обеспечить глубокую утилизацию теплоты.

В основе конструктивного решения (рис.) лежит известная схема: последняя по ходу дымовых газов секция хвостовых поверхностей является водяным конденсационным теплообменником-экономайзером (КЭ) 8. Отличие в том, что КЭ работает в конденсационном режиме, т. е. продукты сгорания охлаждаются не до температуры около 60 °С, а до $T_{гв} = 40 \pm 5$ °С (см. Общие положения. Расчетные данные).

Общие положения. Расчетные данные

Надежная конденсация водяных паров продуктов сгорания требует их охлаждения до температуры ниже точки росы T_p (для продуктов сгорания природного газа $T_p = 50\text{--}55$ °С), примерно до $T_{гв} = 40 \pm 5$ °С. При этом конденсируются пары, содержащиеся в дутьевом воздухе и образующиеся при сжигании углеводородов топлива (метан, водород и пр.).

КПД котла в конденсационном режиме¹ $\eta_k = 105$ % (по Q_p^H) [2]. Очевидно, по сравнению с паспортным режимом газового котла с КПД² 92–94 % выигрыш в КПД, а следовательно, экономия топлива, при глубокой утилизации составит 11–13 % от тепловой мощности котла Q_k . При КПД котла $\eta_k = 100$ % удельный расход условного топлива $q_{уд}$ по определению равен $1 \times 10^6 \text{ ккал} / 7000 \text{ (ккал/кг)} = 142,86 \text{ кг у. т./Гкал}$, а при $\eta_k = 105$ %, пересчетом 136,06 кг у. т./Гкал. Таким образом можно подсчитать указанные величины для любого случая.

С целью получения простых и достаточно надежных соотношений для расчета процесса глубокой утилизации³ обработан большой массив данных для 13 котлов различных марок в диапазоне Q_k от 8 до 58 МВт и T_{yx} от 98 до 194 °С [1]. Коэффициент теплопередачи «продукты сгорания – конденсат» в конденсационном теплообменнике определялся по эмпирической методике завода – изготовителя теплообменника (ОАО «Калориферный завод», Кострома).

Получены следующие значения:

1. Отношение $Q_{гвт} / q_2$ находится в пределах 1,22–1,52, где $Q_{гвт}$ – количество утилизируемой теплоты при глубокой утилизации; q_2 – потеря теплоты с уходящими газами по температуре газов за котлом T_{yx} .
2. Отношение q_2 / Q_k варьируется в пределах 0,080–0,106.
3. Отношение $Q_{гвт} / Q_k$ изменяется в пределах 0,108–0,143 [4].

Как видно, при глубокой утилизации в 1,22–1,52 раза больше утилизируется теплоты, чем при обычной (сухой). Потенциал сухой утилизации – от 8,0 до 10,6 %, а глубокой – от 10,8 до 14,3 % теплоты от мощности котла Q_k .

Существенный разброс результатов связан в основном с неопределенностью значений температуры T_{yx} , меняющейся резко и непрерывно. При всем при этом полученные соотношения позволяют оценить возможности, потенциал и качественно-конкретные показатели исследуемого процесса. Так, по литературным данным 55–60 % теплосодержания продуктов сгорания природного газа составляет теплота парообразования (конденсации), остальное – физическая теплота. Этой пропорции, 60/40, соответствует соотношение $Q_{гвт} / q_2 = 1,47$, что хорошо вписывается в полученный диапазон. Как надежные расчетные характеристики можно принимать величины количества сэкономленной в результате глубокой утилизации теплоты – 10–12 % от мощности котла и удельный расход условного топлива порядка 136 кг у. т./Гкал.

¹ Объяснение, почему КПД котла в конденсационном режиме превышает 100 %, дано в справке в полной версии статьи: www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6475, там же приведен пересчет по высшей теплотворной способности топлива (как принято в США и Великобритании).

² На практике КПД не превышает 90 %.

³ Расчет процесса глубокой утилизации (определение $Q_{гвт}$ и др.) проводили по инженерной методике, описанной в [2].

Температура продуктов сгорания сразу за конденсационным экономайзером равна 40 ± 5 °С, а после байпаса – 70–90 °С. Поэтому ограждения газохода с узлом глубокой утилизации не требуют огнеупорной футеровки и выполняются из листовой нержавеющей стали с покрытием теплошумоизоляции. Возможен другой вариант⁴ схемы – установка конденсационного теплообменника-утилизатора в газоходе сразу за котлом. Узел содержит ту же систему сбора, удаления и очистки конденсата продуктов сгорания.

Конденсационный экономайзер включен в конденсатную линию станции. Этот вариант в статье не рассматривается.

Описание схемы с узлом глубокой утилизации

В распределительном коллекторе 29 (рис.) конденсат при помощи системы автоматического регулирования станции разделяется на два потока:

- первый подается в узел глубокой утилизации в конденсационный экономайзер 8;
- второй – на подогреватель низкого давления 34, а затем в деаэратор 31.

Запорно-регулирующая арматура 30 оборудована приводом и интегрирована в общую систему автоматического регулирования.

Выделяющийся из продуктов сгорания конденсат оседает на трубах КЭ и сливается по наклонному днищу газохода в поддон и резервуар 13. Из бака 16 конденсат подается на участок обработки конденсата (не показан), где производят его очистку по известной технологии: нейтрализация – декарбонизация, дегаза-

ция. Очищенный конденсат продуктов сгорания подают в подогреватель низкого давления 34 и далее в деаэратор 31 (либо сразу в деаэратор). Далее поток чистого конденсата поступает в подогреватель высокого давления 33, а из него в котел 1.

Работу конденсационного экономайзера и заданный теплосъем в нем поддерживают регулированием количества подаваемого конденсата и объема проходящих дымовых газов посредством байпасирования через байпас 9. Тепловую нагрузку КЭ определяют как оптимальную (не обязательно максимальную) по технико-экономическим и конструктивным соображениям.

Обычно степень байпасирования в аналогичных условиях составляет 0,20–0,25, а в наших расчетах для исследованных котлов – 0,113–0,300 при заданной температуре за узлом глубокой утилизации, после байпаса $T_{гв2} = 70$ °С.

Оптимальный режим – работа с байпасом в холодное время года, а летом, если опасности конденсации нет, – без него. Отметим, что в данном случае при надежной конденсации и работе каплеуловителя брызгоунос в газовый тракт невелик, и требования к байпасированию, к его степени, температуре $T_{гв2}$ снижаются. Каплеуловитель 11 (его установка не обязательна) размещен в газоходе, в камере со съемной крышкой для обслуживания узла (очистки, смены фильтров, кассет и пр.).

Возможные типы теплообменников

На приведенной схеме показан теплообменник змеевикового типа. В качестве конденсационного экономайзера применимы различные типы теплообменников: кожухотрубные, прямотрубные, с накатанными ребрами, пластинчатые или эффективная конструкция с новой формой теплообменной поверхности с малым радиусомгиба (регенератор РГ-10, НПЦ «Анод»). Рассматриваются также и другие виды:

- теплообменные блоки-секции на базе биметаллического калорифера марки ВНВ123–412–50 АТЗ (ОАО «Калориферный завод», Кострома).
- разборные теплообменники компании «ГЕА Машинпэкс» или цельносварные (типа GEABloc) пластинчатые теплообменники из нержавеющей стали, отличающиеся высокой эффективностью и компактностью.

Сам теплообменник – конденсационный экономайзер, газоход, камера, частично газовый тракт – выполняется из коррозионно-стойких материалов, покрытий, в частности нержавеющей сталей, пластиков – это общепринятая

⁴ Данный вариант в статье не рассматривается.

практика [1, 2]. Технология применима и для котлов, использующих другие виды топлива, например древесные отходы, био-синтез-газ и др. Отметим достоинства древесных отходов:

- возобновляемый источник энергии, выбросы CO_2 которого нейтральны⁵;
- низкая коррозионная агрессивность продуктов сгорания;
- возможность конденсировать влагу продуктов сгорания и утилизировать скрытую теплоту парообразования.

Оценка эффективности глубокой утилизации

При оценке системы глубокой утилизации следует сравнивать ее эффективность с эффективностью традиционной схемы с газовым подогревателем конденсата как ближайшего аналога и конкурента.

Принимаем для расчетного примера следующие исходные данные⁶: котел с $Q_K = 10 \text{ МВт}/8,6 \text{ Гкал/ч}$, работающий на природном газе с $Q_p^H = 8000 \text{ ккал/м}^3$, $T_{yx} = 130 \text{ }^\circ\text{C}$, $\eta_{к2} = 0,92$ (см. выше), удельный объем продуктов сгорания $v = 13,1 \text{ м}^3/\text{м}^3$ (при $\alpha = 1,25$), расход газа $V_r = 8,6 \cdot 10^6 / 8000 \cdot 0,92 = 1168 \text{ м}^3/\text{ч}$, потери теплоты с уходящими продуктами сгорания $q_2 = C \cdot W \cdot T_{yx} = 763 \text{ кВт}$, где C – теплоемкость, W – объем. T_{yx} – температура ПС за котлом.

Далее, принимая отношение $Q_{гвт}/q_2$ равным 1,4 (см. Общие положения. Расчетные данные), получим для системы глубокой утилизации $Q_{гвт} = 763 \cdot 1,4 = 1068 \text{ кВт}$. Эту величину следует сравнить с теплосъемом в газовом подогревателе конденсата (ГПК). Если температура конденсата на входе в ГПК по требованиям как минимум $60 \text{ }^\circ\text{C}$ (см. выше), то температура продуктов сгорания на выходе из него будет не ниже $80 \text{ }^\circ\text{C}$. Тогда теплосъем в ГПК составит $[0,33 \times 13,1 \times 1168 \times (130 - 80)] / 860 = 294 \text{ кВт}$.

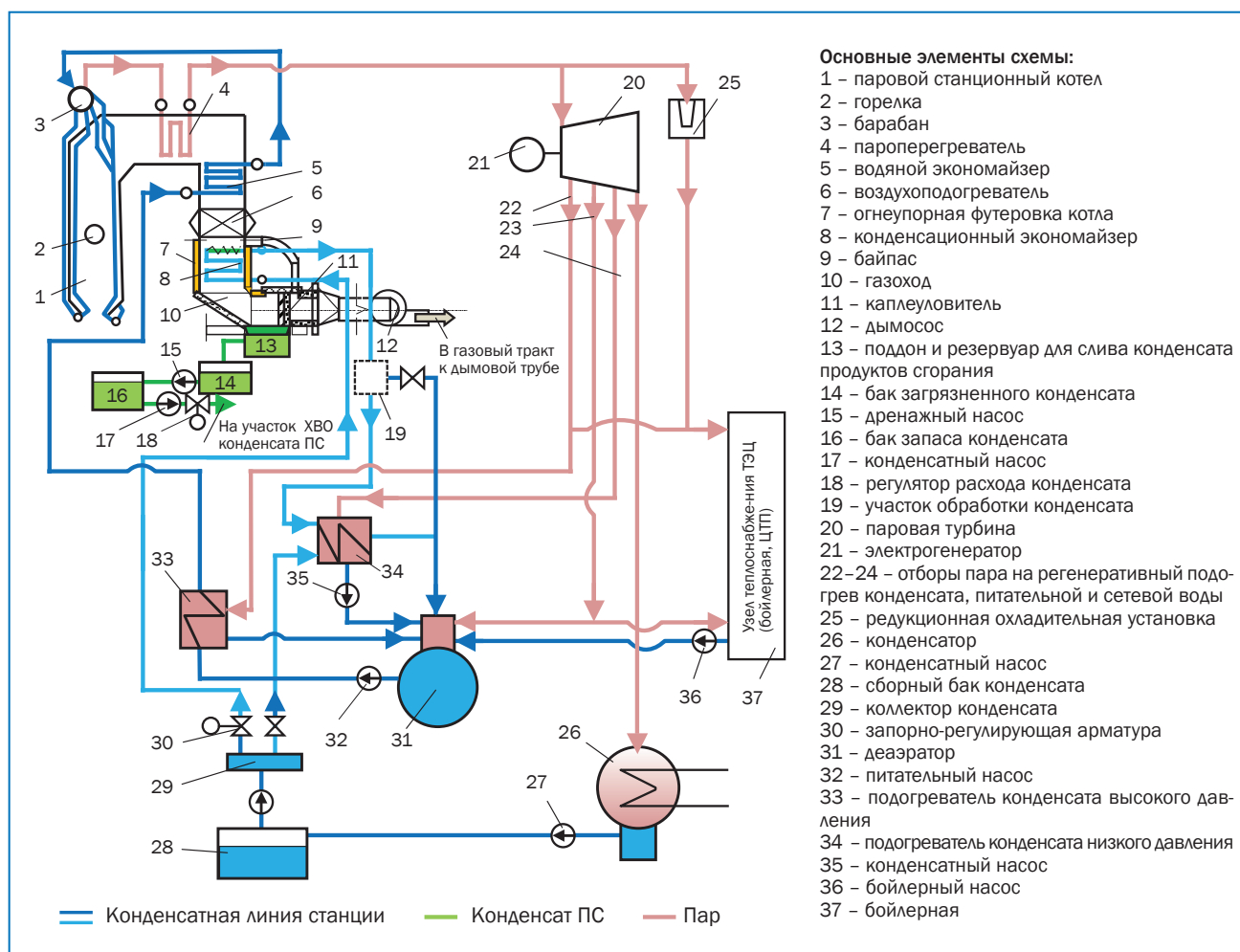


Рис. Система глубокой утилизации теплоты продуктов сгорания котлов электростанций

⁵ Древесные отходы не считаются в общем балансе выбросов парниковых газов.

⁶ Подробнее см. справку «Пример простейшего расчета баланса котла» в [1].

Это в 3,64 раза (1068 / 294) меньше, чем при глубокой утилизации. Таким образом, выигрыш в теплоте (1068 – 294) = 774 кВт, что при коэффициенте использования мощности для стационарного котла, равном 0,7, даст экономию 554 500 м³ газа в год, или около 3 млн руб. при цене 5 руб./м³. Выигрыш растет пропорционально величине $Q_{\text{гуп}}$ прямо зависящей от мощности котла.

Реконструкция котла требует капложений. Повышаются эксплуатационные затраты (обслуживание узла глубокой утилизации, расходные материалы для химводоподготовки). Повышение аэродинамического сопротивления газового тракта (узел глубокой утилизации, байпас, каплеуловитель) частично или полностью компенсируется снижением объема продуктов сгорания за счет уменьшения их выхода благодаря экономии топлива и удалению водяных паров. При работе котла под наддувом проблема снимается, что характерно для ряда типов котлов, режимов их работы.

Другие преимущества глубокой утилизации

Кроме повышения тепловой экономичности, система глубокой утилизации обеспечивает:

- снижение эмиссии оксидов NO_x с уменьшением температуры продуктов сгорания и в результате подавления водяными парами (орошения продуктов сгорания капельной влагой), вплоть до достижения экологически чистого процесса;
- выработку избыточной воды за счет конденсации; исключается потребность в подпиточной воде и необходимость в рециркуляционной насосной установке (экономия электроэнергии) и др. [1].

Важно также отметить, что работа системы глубокой утилизации, заменяющей газовый подогреватель конденсата, в технологической схеме станции не снижает доли электроэнергии в общей комбинированной выработке тепловой и электрической энергии на ТЭЦ и не отражается на общем КПД станции.

Перевод стационарного котла в конденсационный режим требует реконструкции котельного агрегата. Последняя сводится в основном к замене на существующем котле водяного экономайзера на конденсационный, переделке главного газохода на участке узла глубокой утилизации с установкой системы слива, удаления и обработки конденсата продуктов сгорания, а также каплеуловителя.



ЗАО «НПО «ТЕПЛОВИЗОР»
Разработка, производство
и обслуживание
расходомеров, счётчиков
и теплосчётчиков
ВИС.Т
109428, г.Москва, Рязанский проспект, 8а
Тел./факс: (495) 730-47-44, (495)231-45-84
E-mail: mail@teplovizor.ru
www.teplovizor.ru

Реклама

Конденсационный экономайзер отличается от водяного несколько большей поверхностью теплообмена, материалом труб (коррозионно-стойкий), их оребрением. Как видно, предлагаемая схема позволяет минимизировать объем и стоимость работ по реконструкции.

Реализация пилотного проекта откроет перспективы перевода стационарных котлов паротурбинных ЭС в конденсационный режим. Станет возможной реконструкция существующих или создание отечественных энергетических конденсационных котлов, тиражирование и масштабная модернизация котельных. В любом случае в порядке предпроектной проработки для выбранного объекта выполняются ТЗ, ТЭО, рекомендации, экспертиза, выбор решения и пр., и в случае положительных результатов – проектирование и реализация.

Литература

1. Шадек Е. Г. Оценка эффективности глубокой утилизации тепла продуктов сгорания котлов электростанций // Энергосбережение. 2016. № 2.
2. Шадек Е., Маршак Б., Анохин А., Горшков В. Глубокая утилизация тепла отходящих газов теплогенераторов // Промышленные и отопительные котельные и мини-ТЭЦ. 2014. № 2 (23).
3. Шадек Е., Маршак Б., Корыкин И., Анохин А., Горшков В. Конденсационный теплообменник-утилизатор – модернизация котельных установок // Промышленные и отопительные котельные и мини-ТЭЦ. 2014. № 5 (26).
4. ООО «Бош Термотехника». Полное использование теплоты сгорания // Промышленные и отопительные котельные и мини-ТЭЦ. 2014. № 5 (26). С. 26–31.
5. Березинец П., Ольховский Г. Перспективные технологии и энергоустановки для производства тепловой и электрической энергии. Раздел шестой. 6.2. Газотурбинные и парогазовые установки. 6.2.2. Парогазовые установки. ОАО «ВТИ». «Современные природоохранные технологии в энергетике». Информационный сборник под ред. В. Я. Путилова. М. : Издательский дом МЭИ, 2007. ■