

## **Технология утилизации энергии пыленасыщенных газов с самоочищающимся котлом**

Статья Эрика Мелаэна и Хокон Кр. Делбек,  
из норвежской Ассоциации потребителей и поставщиков энергии (КНЕ)

В течение 15 лет компания «КНЕ» разрабатывала концепцию утилизации энергии отходящих газов топков в ферросплавной промышленности. Потенциал утилизации энергии довольно значительный. Только для Норвегии имеется возможность рекуперации приблизительно 1,000 ГВтч электроэнергии и приблизительно 500 ГВтч – тепловой энергии. Технология использования котлов-утилизаторов (КУ) с пароперегревателями позволяет данной концепции конкурировать с практикой применения обычного водогрейного котла. Концепция КУ – простая и недорогая, что позволяет, считать ее экономически целесообразной.

### **Введение**

В Норвегии имеется 15 ферросплавных и Si-металлургических заводов. Норвегия является одним из ведущих мировых производителей в данной отрасли. Ферросплавы состоят из металла и одного или более химических элементов, таких как: Si, Mg, Cr. Ферросплавы являются важными составляющими современных металлов и материалов.

Производство ферросплавов основано на химических реакциях, осуществляемых при высоких температурах с использованием восстановителей, таких как: уголь, кокс или биомасса. Достижение высокой температуры (1.200 – 2.000°C) обычно производится при помощи электричества. Плавильная печь – открытая, полузакрытая или закрытая, в зависимости от производства и условий эксплуатации. Температура газов отводящих газоходов обычно находится в диапазоне 300 – 900 °C, но она также может быть выше во время загрузки и топки печи.

В данной статье представлена концепция утилизации тепла для открытых и полузакрытых печей.

### **Утилизация энергии отходящих газов**

Основные компоненты установки утилизации энергии следующие:

- Отводящий газоход с дутьевыми воздуховодами;
- Котел-утилизатор (самоочищающийся КУ или периодически очищающийся водогрейный котел);
- Система подогрева питательной воды
- Система распределения тепла или паровая турбина с генератором и конденсатором.

Поток энергии из 75% ферросилиция с использованием угля и биомассы, представлен на диаграмме Сэнки на рис. 1. На диаграмме представлены оптимальные условия утилизации для данной печи. Отводящий газоход и дутьевой воздуховод обычно охлаждаются водой, но они также могут являться частью установки. Для утилизации энергии газа, содержащего пыль и частицы, в настоящее время применяются следующие теплообменники:

- Котел-утилизатор
- Водогрейный котел.

Рисунок 1: Поток энергии при утилизации из 75% ферросилиция.



На рисунках 2 и 3 представлен принцип утилизирующих установок, основанный на применении котла-утилизатора и водогрейного котла. Отходящие газы проходят внутри труб котла-утилизатора и за пределами трубы водогрейного котла. Нагревательная поверхность обычно представляет собой трубы, по которым проходит газ, и которые очень часто покрыты пылью от печи. Обычно пыль удаляется при помощи механического оборудования, либо пара, либо ультразвука. Однако, исходя из опыта эксплуатации, следует признать, что периодическая чистка котла все же необходима.

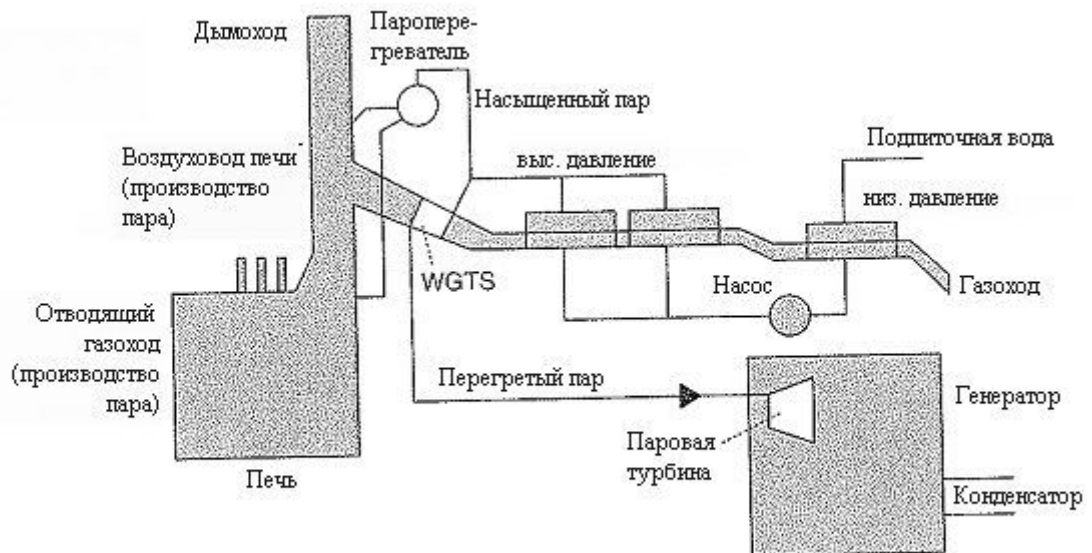


Рисунок 2: Котёл-утилизатор

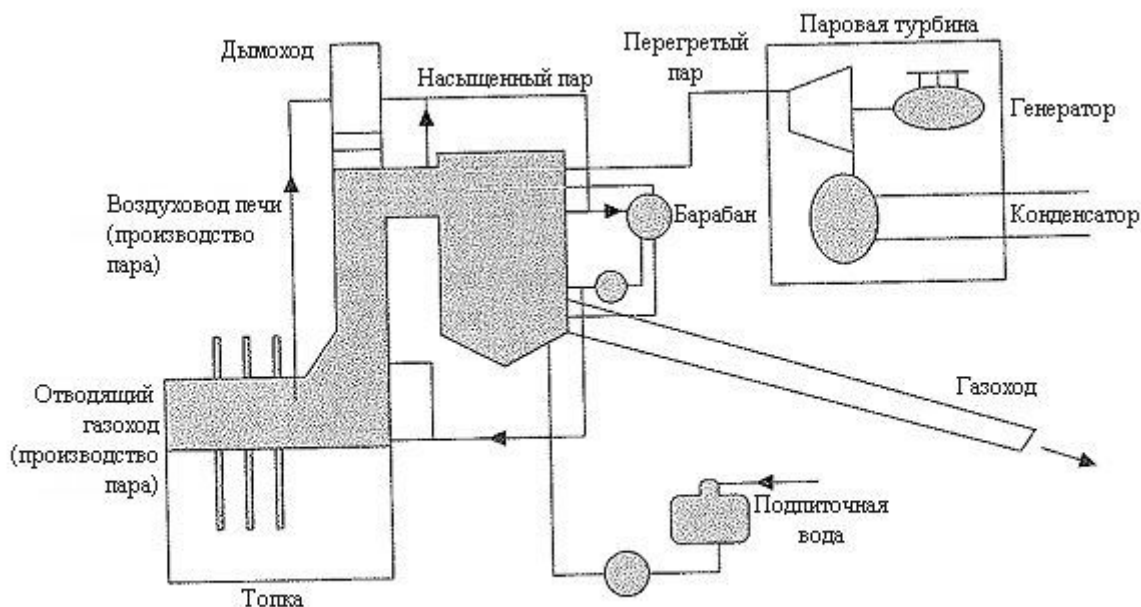


Рисунок 3: Установка утилизации энергии для водогрейного котла.

### Котел-утилизатор

Концепция применения котла-утилизатора была разработана в середине 80-х в целях определения простого с технической точки зрения и экономически целесообразного способа утилизации энергии. Первый котел-утилизатор пыленасыщенных газов от ферросилиция был установлен в «Тиннфос Дженверк», в Ноттодон, Норвегия. Подобная система была также установлена в «Элкем Брэменгер», также в Норвегии, где производится 50 ГВтч пара для потребления в технологических процессах. Эта установка эксплуатируется уже в течение 10 лет. Два года назад компания «Рана Металл» в Норвегии установила котел-утилизатор для нагревания воды (50ГВтч) для централизованного отопления. Другая норвежская компания, «Финфьорд Смелтеверк» недавно установила газоохладитель, основанный на той же самой концепции, который в будущем возможно будет модернизировать в установку для утилизации тепла. В настоящее время температура газов ниже 450<sup>0</sup>С.

Концепция применения котла-утилизатора постоянно улучшается. За последний год она получила дальнейшее развитие путем установки пароперегревателя на опытной модели для повышения эффективности утилизации энергии. Финансирование разработки данной концепции было предоставлено Норвежским Исследовательским Советом (НИС), компаниями «Норгес Вассдраг Энергиверк» (НВЕ), Элкем, Хафслунд Металл» и Норвежской Ассоциацией Поставщиков и Потребителей Энергии (НАППЭ). Для усовершенствованных установок утилизации энергии при производстве электроэнергии через котел-утилизатор чем выше температура газа, тем лучше. Оптимальный уровень давления находится в диапазоне 16 бар при перегреве выше 300<sup>0</sup>С. Идеальная температура отходящих газов составляет 600 – 800<sup>0</sup>С.

Пыль и частицы в отходящих газах становятся вязкими при высоких температурах. Засорение газоходов, которые не охлаждаются, очень часто приводит к проблемам.

Поэтому для проверки функции самоочистки была установлена опытная модель в компании «Хафслунд Металл», как указано на рис. 4.

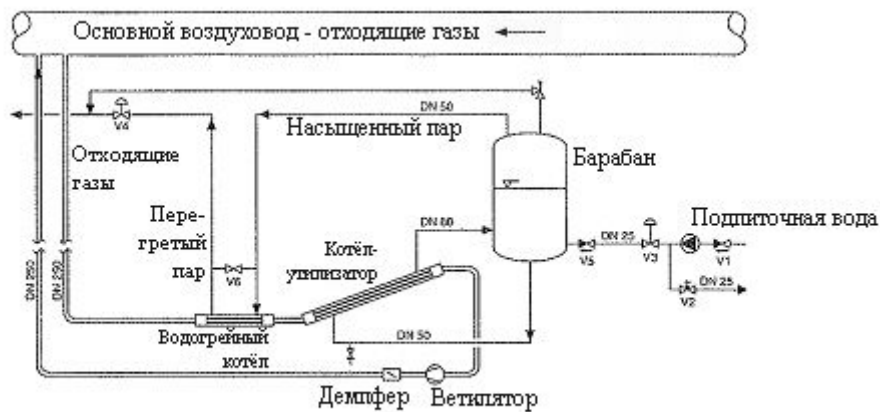


Рисунок 4: Модель котла-утилизатора

В самом начале проекта был установлен только котел-утилизатор. Однако после 3-х месячной эксплуатации котла был установлен пароперегреватель. Установка находилась в эксплуатации приблизительно семь месяцев. Основной целью проекта являлось подтверждение того, что котел-утилизатор и пароперегреватель самоочищаются при высоких температурах газа, даже при изменении условий эксплуатации топки во время загрузки и топки печи. Другие цели заключались в подтверждении коэффициента теплопередачи и перепада давления при изменении условий эксплуатации (изменении давления пара и скорости газа).

В котле-утилизаторе кипение у периметра корпуса происходит при очень высокой теплопередаче с охлаждением отапливаемой поверхности. Однако ситуация в пароперегревателе иная, и температура на поверхности намного выше. Эта установка имеет такую же структуру, как и котел, но на ее корпусе установлены экраны для повышения скорости пара. Пароперегреватель эксплуатировался при высокой нагрузке на поверхность (температура газа выше  $600^{\circ}\text{C}$  и температура пара выше  $450^{\circ}\text{C}$ ) в течение длительного периода тестирования. В течение семи месяцев эксплуатации проблем с загрязнением поверхности плавки не было, и замеры указали на то, что теплопередача в теплообменниках была на ожидаемом уровне. Замеренный перепад давления также находился в пределах ожидаемого уровня.

Функция самоочистки осуществляется при топке печи. Данное изменение условий эксплуатации повышает температуру отходящих газов и скорость, крупные частицы уходят вместе с потоком газа. В результате этого очистительные импульсы проходят через всю систему. Функцию самоочистки можно очень легко измерить. Высокий коэффициент теплопередачи и низкая степень загрязнения сопутствуют высокой температуре газа. Когда топка печи завершена, температура опускается до обычного уровня, и коэффициент теплопередачи снижается до тех пор, пока не будет начат следующий цикл загрузки печи. В настоящее время длина установленных агрегатов достигает 7,5 метров. Количество выбранных труб для достижения приемлемой скорости газа основано на оптимальном коэффициенте теплопередачи и перепада давления. Для обеспечения функции самоочистки и достаточной теплопередачи необходим достаточно высокий перепад давления. При сравнении переданной энергии следует отметить, что перепад давления в котлах-утилизаторах несколько выше, чем в водогрейных котлах.

Котел-утилизатор имеет ограничения в давлении пара, обычно оно не должно превышать 20 бар. Для водогрейных котлов уровень давления обычно составляет 40 - 60 бар.

Оптимальное производство энергии и максимальная утилизация энергии достигаются при высоком давлении пара и при высокой температуре газа на входе. Так как котел-утилизатор работает при низком давлении, водогрейный котел позволит увеличить производство энергии для высокотемпературного газа на входе. Выбор относительно

установки водотрубного котла, либо котла-утилизатора основан на удельной себестоимости на кВтч.

Поверхность нагрева котла-утилизатора с умеренным давлением пара обходится на 50% дешевле, чем подобная поверхность водогрейного котла. При этом удельная себестоимость водогрейного котла на 20-30% выше себестоимости котла-утилизатора.

Дутьевой воздухопровод и отводящий газоход, охлаждаемые водой/паром, вместо обычного водяного охлаждения могут быть компонентами котла. Подобное решение позволит существенно (на 10-15%) повысить эффективность установки утилизации энергии. Закрытые системы водяного/парового охлаждения дутьевого воздухопровода обычно требуют меньше затрат в течение своего технологического срока службы.

При сравнении электроэнергии, затраченной на осуществление процесса, с объемом энергии, произведенном в турбине, следует отметить, что эффективность установки на основе водогрейного котла превышает 30%, а эффективность котла-утилизатора – выше 20%. Инвестиционная стоимость водогрейного котла приблизительно в 1,7 раз выше стоимости котла-утилизатора.

## **Выводы**

Подтверждение наличия функции самоочистки и высокого коэффициента теплопередачи котла-утилизатора и пароперегревателя с пыленасыщенными газами при высокой температуре (до 700<sup>0</sup>С) открывает новые возможности утилизации энергии в ферросплавной промышленности. По сравнению с технологией применения водогрейного котла концепция использования котла-утилизатора позволяет утилизировать меньшее количество энергии в качестве электроэнергии, но простые и дешевые решения обычно являются более приемлемыми для ферросплавных заводов, а подобные капиталовложения более выгодными. В Норвегии котлы-утилизаторы эксплуатируются уже в течение нескольких лет с хорошими результатами.

Другие национальные и зарубежные ферросплавные заводы рассматривают вопрос внедрения технологии вместе с пароперегревателем.

**Для получения более детальной информации свяжитесь с Норвежской Ассоциацией Потребителей и Поставщиков Энергии.**