

УДК 620.97

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ВЭР МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Янчук В.В., Шалабодова К.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Иокова И.Л.

Тепловой КПД нагревательных и термических печей в среднем равен 12-18%. Это обусловлено в основном большими потерями тепла с отходящими дымовыми газами, достигающими иногда 70-80% от количества энергии, подведенной в установку с топливом. Поэтому такие установки являются крупными источниками высокотемпературных тепловых ВЭР, используя которые можно повышать эффективность использования топлива, что всегда было и остается немаловажной целью.

Наиболее часто применяемым в промышленности способом регенерации теплоты отходящих дымовых газов является термическая регенерация – это подогрев воздуха и/или топлива, идущего на горение. Схема такой установки представлена на рисунке 1. Предварительный подогрев одного из компонентов горения значительно увеличивает скорость и температуру горения.

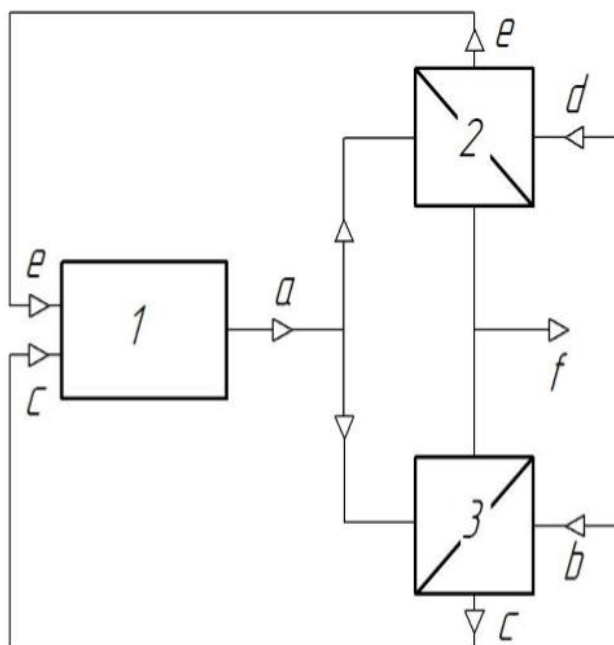


Рисунок 1. Принципиальная схема технологической установки с регенеративным теплоиспользованием за счет подогрева компонентов горения.

1 – теплотехнологическая установка; 2 – подогреватель природного газа;
3 – воздухоподогреватель; a – отходящие дымовые газы; b – холодный воздух; c – горячий воздух;
d – холодный природный газ; e – горячий природный газ; f – уходящие дымовые газы.

Теплотехнологическая установка с элементами регенеративного теплоиспользования – это установка с встроенными в её структурную схему устройствами для использования тепловых отходов в рамках теплотехнологического цикла установки. Регенерация энергетических отходов – прямой способ снижения энергозатрат на теплотехнологический процесс.

В промышленности для подогрева воздуха используются рекуператоры и регенераторы различных конструкций. Первые используются для подогрева воздуха до температур до 500-600 °С, вторые для подогрева воздуха до более высоких температур.

При подогреве воздуха до 300-350 °С, который можно осуществить в рекуператорах обычного типа, экономия топлива в нагревательных печах при сжигании природного газа

достигает 20-25 %. В термических камерных печах при подогреве воздуха до 300-350 °С получают экономию топлива 15-20 %.

К основным недостаткам способа термической регенерации за счет подогрева воздуха следует отнести, прежде всего, невозможность глубокой регенерации выбрасываемой теплоты. Это связано с тем, что нагрев воздуха выше оптимальной температуры хотя и дает положительный энергетический эффект, но снижает экономическую выгоду от реализации данного мероприятия.

Подогрев топлива применяется в промышленности редко по следующим причинам:

а) при подогреве природного газа до температур выше 250...300 °С становится возможным протекание реакции крекинга метана: $\text{CH}_4 = \text{C} + \text{H}_2 - 74,8 \text{ кДж/моль}$.

В результате отложения сажистого углерода снижается и без того низкий коэффициент теплопередачи, что в свою очередь приводит к снижению эффективности работы теплообменного аппарата – подогревателя топлива.

б) природного газа обычно на горение подается примерно в 10 раз меньше, чем воздуха, поэтому теплосъем, который возможен в случае подогрева топлива, гораздо ниже, чем при подогреве воздуха.

Также редко применяется и предварительная тепловая обработка сырья.

Для утилизации низкопотенциальной теплоты отходящих дымовых газов использование теплообменников, в которых теплота передается через стенку, зачастую экономически нецелесообразно, т. к. в этом случае площадь поверхности нагрева ввиду невысокого температурного напора и низкого коэффициента теплопередачи будет крайне большой. Поэтому для использования теплоты отходящих дымовых газов с низкой температурой применяют контактные теплообменные аппараты. Одним из вариантов подобных теплообменников является контактный теплообменник с активной насадкой (КТАН). Он является аппаратом рекуперативно-смесительного типа и предназначен для глубокой утилизации теплоты дымовых газов (рисунок 2). Состоит из корпуса, системы орошения, активной насадки и сепарационного устройства (каплеуловителя). В КТАНе организуются два независимых друг от друга потока воды: «чистая» вода, подогреваемая через поверхность; орошаемая вода, которая нагревается в результате непосредственного контакта с дымовыми газами.

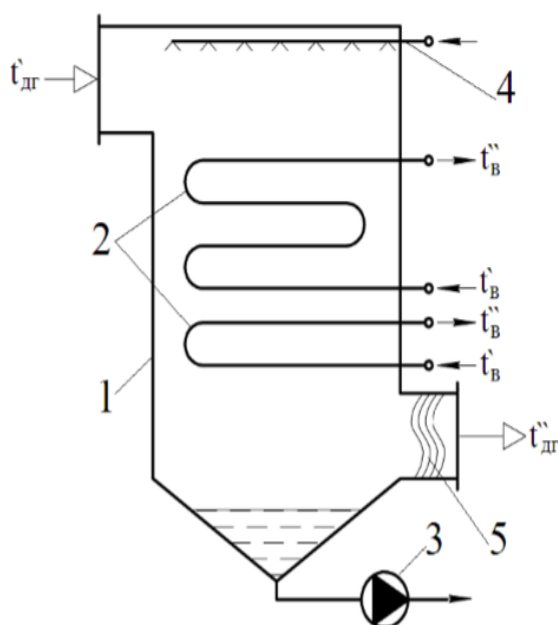


Рисунок 2. Контактный теплообменник с активной насадкой.

1 – корпус; 2 – теплообменная поверхность (пучок трубок); 3 – циркуляционный насос; 4 – распылитель; 5 – каплеуловитель.

Чистая вода, протекающая в пучке трубок, отделена стенкой от загрязненной орошающей воды. Пучок трубок выполняет роль насадки, предназначенной для создания развитой поверхности контакта орошаемой воды и дымовых газов. Одновременно такая поверхность, внутри которой циркулирует чистая вода, участвует в теплообмене и в этом отношении является активной по сравнению с традиционными насадками (например, кольца Рашига). Наружная поверхность активной насадки в КТАНе омывается дымовыми газами и орошается водой, что интенсифицирует теплообмен в насадке. «Чистая» вода, протекающая в трубном пучке, нагревается как за счет непосредственной передачи теплоты дымовых газов и орошающей воды, так и за счет конденсации водяных паров, содержащихся в дымовых газах на поверхности насадки.

Температура воды на выходе из насадки ограничивается температурой мокрого термометра дымовых газов. Дымовые газы, после прохождения насадки, поступают в сепарационное устройство, в котором происходит отделение капель воды от дымовых газов. После сепарационного устройства влажные дымовые газы подсушиваются путем подмешивания горячих газов и удаляются в атмосферу через дымовую трубу.

Наиболее распространенным способом внешнего теплоиспользования является установка котла-утилизатора (КУ), который вырабатывает либо горячую воду, либо пар различных параметров. При наличии обводных дымоходов выход из строя котла-утилизатора практически не отражается на надежности и длительности работы теплотехнологической установки. Котлы-утилизаторы, подключенные к дымовому тракту после элементов регенеративного теплоиспользования, обладают высокой металлоемкостью (из-за низкого температурного напора) и низкого коэффициента теплопередачи. Как правило, котлы-утилизаторы устанавливаются после регенеративных воздухоподогревателей. Температура дымовых газов, поступающих в котел-утилизатор, составляет от 200-300 °С для среднетемпературных теплотехнологических установок и до 900-1500 °С для высокотемпературных теплотехнологических установок.

В большинстве случаев для теплотехнологической операции высокое качество пара не является обязательным и допускается использование так называемого «грязного» пара, или газопаровой смеси. Газопаровая смесь (ГПС) является дешевой альтернативой водяному пару со схожими теплофизическими свойствами. В своем составе она содержит водяной пар и продукты сгорания. В смесительной камере генератора ГПС вырабатывается теплоноситель методом впрыска питательной воды из водяной рубашки в поток горячих дымовых газов (рисунок 3). В качестве основных преимуществ использования данной схемы можно выделить следующие:

1. Компактность генератора, низкая металлоемкость;
2. Практически полное использование теплоты отходящих дымовых газов;
3. Возможность выработки теплоносителя (ГПС) любой температуры при атмосферном давлении;
4. Гибкий режим работы, короткое время отклика;
5. Возможность работы без химической водоподготовки.

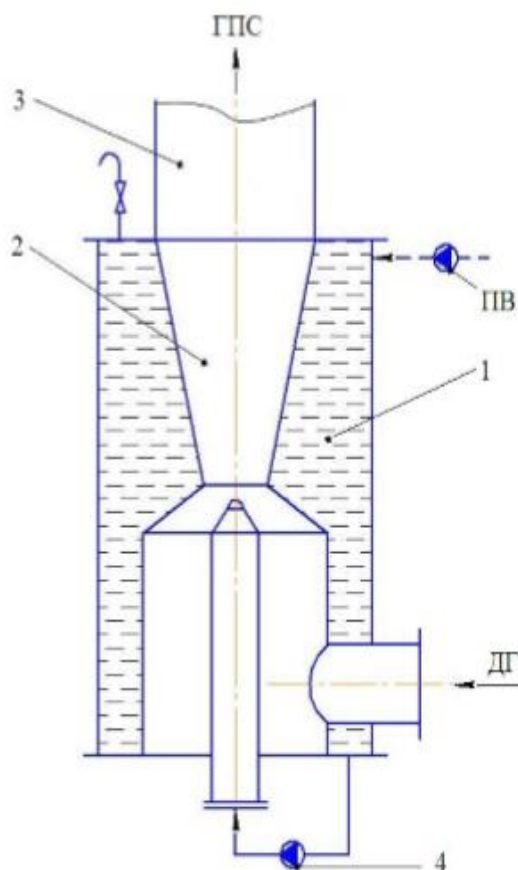


Рисунок 3. Использование тепловых отходов продуктов сгорания в генераторе газопаровой смеси.

ГПС – газопаровая смесь; ПВ – питательная вода; ДГ – дымовые газы; 1 – вода в водяной рубашке; 2 – смесительная камера; 3 – трубопровод; 4 – насос.

Помимо схем внешнего энергетического есть еще схемы внешнего технологического теплоиспользования, когда в элементах и установках внешнего теплоиспользования вырабатывается не энергетическая, а технологическая продукция, отличная от основной продукции, вырабатываемой теплотехнологической установкой. Такая организация внешнего теплоиспользования печей, формулируемая как «теплоиспользование, основанное на комбинировании технологических процессов» и встречающаяся в элементах схем ступенчатого теплоиспользования, в последние годы нашла широкое применение.

Внешнее технологическое теплоиспользование обладает многими важными преимуществами перед внешним энергетическим теплоиспользованием: более широкими возможностями выбора и реализации этого варианта тепловых схем на предприятиях с развитой теплотехнологией, созданием более благоприятных режимных условий работы, более стабильным уровнем потребления дополнительной продукции в течение года, существенно большими возможностями экономии топлива.

Одним из решений проблемы достижения высокой степени регенерации выбрасываемой теплоты после теплотехнологической установки является использование термохимической регенерации теплоты отходящих дымовых газов. Принципиальная схема такой установки представлена на рисунке 4.

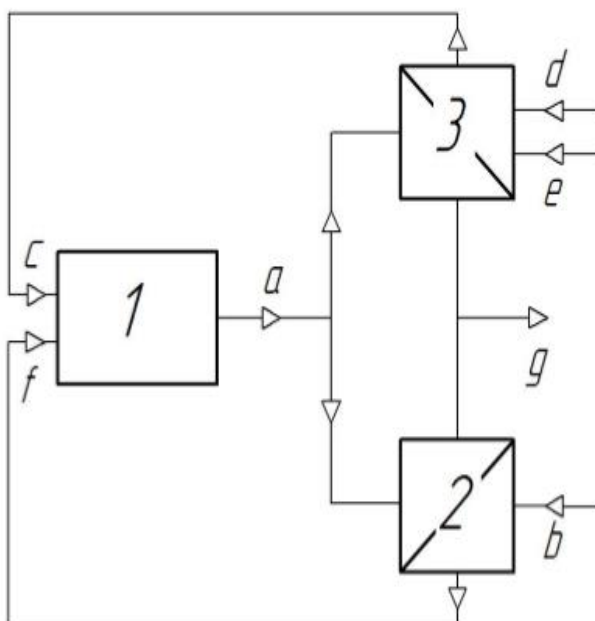
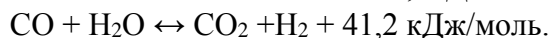
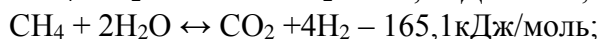


Рисунок 4. Принципиальная схема теплотехнологической установки с термохимической регенерацией теплоты дымовых газов за счет паровой конверсии метана.

1 – теплотехнологическая установка; 2 – рекуперативный воздухоподогреватель; 3 – реактор паровой конверсии; а – отходящие дымовые газы; б – холодный воздух; с – конвертированный газ; d – водяной пар; e – топливо; f – горячий воздух; g – уходящие дымовые газы.

Сущность термохимической регенерации (ТХР) тепла отходящих дымовых газов заключается в использовании их физической теплоты для предварительной эндотермической переработки исходного топлива, которое при этом получает бóльший запас химически связанного тепла и нагревается до высокой температуры. Это дополнительное химически связанное и физическое тепло топлива, а также тепло нагретого дутьевого воздуха реализуется в рабочей камере печи, что обеспечивает соответствующее повышение ее температурного уровня и снижение удельного расхода топлива. Чаще применяется для природного газа, состоящего на 90-95 % из метана. Одним из способов термохимической регенерации является применение паровой конверсии метана, который включает в себя ряд реакций, протекающих с поглощением и выделением теплоты. Как показали исследования химической кинетики, наиболее вероятным является протекание следующих реакций:



Общую реакцию конверсии, как правило, проводят при соотношении пара к метану, близком к 2:1. Для осуществления паровой конверсии метана необходим внешний подвод теплоты с температурой не менее 750 °С. Реакторы паровой конверсии для максимально полной степени конверсии метана активируют различными катализаторами. Надо отметить, что каталитическая паровая конверсия углеводородов по тепловому эффекту и количеству получаемого водорода в несколько раз превосходит некаталитические эндотермические процессы типа пиролиза, крекинга и деполимеризации углеводородов. Сложность состоит в создании развитой каталитической поверхности теплообмена и в поддержании ее свойств в течение всего времени эксплуатации изделия.

Конверсия 1 моль метана с теплотой сгорания 802,3 кДж/моль стехиометрическим количеством водяного пара (0,018 кг/моль) при условии полного окисления метана дает конвертированный газ (синтез-газ) составом $\text{CO}:\text{H}_2 = 1:3$ с суммарной низшей теплотой сгорания 1008,4 кДж. Определяемое этим повышение химически связанного тепла конвертированного газа равно, 206,1 кДж/моль.

Одним из крупных недостатков термохимической регенерации теплоты за счет паровой конверсии метана является повышенный (почти в два раза по сравнению со стехиометрическим) удельный расход пара высокой температуры, подаваемый от стороннего парогенератора.

Решением проблемы дополнительной генерации пара является использование в качестве окислителя природного газа продукты его полного сгорания. Схема такой установки представлена на рисунке 5.

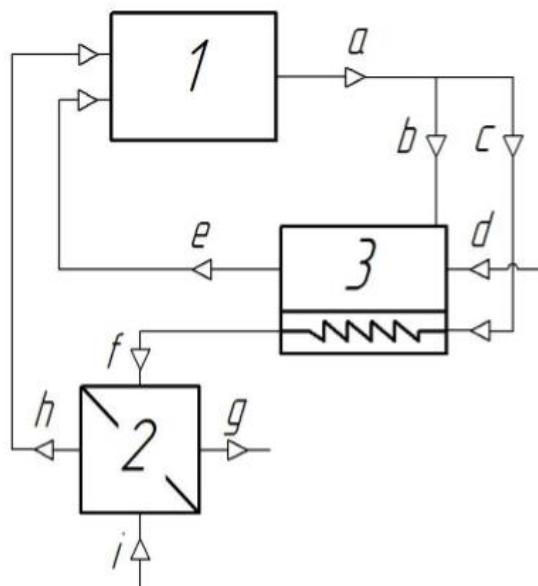
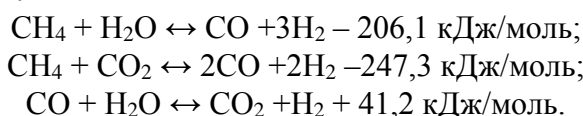


Рисунок 5. Принципиальная схема теплотехнологической установки с термохимической регенерацией теплоты отходящих дымовых газов.

1 – теплотехнологическая установка; 2 – воздухоподогреватель; 3 – термохимический реактор; a, b, c – отходящие дымовые газы; d – природный газ; e – конвертированный газ (синтетическое газовое топливо); f – частично охлажденные дымовые газы; g – уходящие дымовые газы; i – холодный воздух; h – горячий воздух.

В основу процесса положены эндотермические процессы совместной паровой и углекислотной конверсии метана – основного компонента природного газа, описываемые следующими уравнениями:



Реакции паровой и углекислотной конверсии глубоко эндотермичны и для их протекания необходим подвод теплоты. При наличии необходимого температурного потенциала для ТХР имеются все необходимые условия: водяные пары, углекислый газ и высокая температура для осуществления реакции конверсии метана, в результате которой происходит трансформация физической теплоты дымовых газов в химическую энергию конвертированного газа. В этом случае, в качестве окислителя природного газа используются одновременно как водяные пары, так и углекислый газ, содержащиеся в дымовых газах.

Основные преимущества данного способа ТХР: отсутствие необходимости дополнительного производства водяного пара и углекислого газа и нагрева их до высокой температуры; высокая степень регенерации теплоты отходящих дымовых газов.

Также для увеличения эффективности работы промышленных печей и с целью увеличения срока их службы отдельные детали печей подвергаются принудительному охлаждению. Потери тепла с охлаждением в ряде случаев составляют 10–20 %. Это тепло может быть использовано в системах испарительного охлаждения (СИО), которыми оборудуют мартеновские, доменные, нагревательные печи. В СИО вырабатывается насыщенный пар давлением до 4 МПа.

При испарительном охлаждении тепло от нагретых элементов печи отводится водой, нагревающейся до образования пароводяной эмульсии. При этом используется скрытая теплота парообразования, т. е. тепло, отбираемое охлаждающей водой, затрачивается на ее испарение. Получаемый пар используется на технологические нужды завода.

При испарительном охлаждении 1 кг воды, испаряясь, отбирает у охлаждаемой детали 2300 кДж. Кроме того, поступающая в систему вода, нагреваясь до кипения, отбирает еще 300 кДж. Чтобы отобрать такое же количество тепла при водяном охлаждении при повышении температуры воды на 10 °С потребовалось бы $(2300+300)/(4,187 \cdot 10) \sim 60$ кг воды, т. е. в 60 раз больше, чем при испарительном охлаждении.

В схеме с принудительной циркуляцией вода из бака-сепаратора подается к детали с помощью специального насоса, при этом давление в системе может быть доведено до 18–40 кгс/см².

Испарительное охлаждение имеет следующие достоинства:

- 1) вода необходима на охлаждение деталей лишь нижнего строения металлургических печей, т. е. требуется примерно 30 % ее общего расхода при водяном охлаждении;
- 2) обеспечивается надежность работы печи и сокращаются ее простои для ремонта охлаждаемых деталей;
- 3) используется тепло охлаждающей среды в виде пара;
- 4) уменьшаются в три раза объем сооружений и мощность системы водоснабжения.

В Республике Беларусь в настоящее время наиболее часто применяют регенеративное, внешнее энергетическое и технологическое теплоиспользование.

Литература

1. Водоснабжение. – [электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-15/152.htm>. – Дата доступа: 03.04.2017.
2. Металлургия: инженерная экология. – [электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://metalspace.ru/production-science/ecology/811-ver-chnoj-metallurgii.html>. – Дата доступа: 03.04.2017.
3. Пашенко Д.И. Теплотехнологические комплексы и безотходные системы: учеб. пособие / Д.И.Пашенко; Самар.гос.техн.ун-т. – Самара, 2012. – 118 с.