

**Черниговская Марина Алексеевна**,  
к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: pm888@mail.ru

**Орлова Екатерина Сергеевна**,  
магистрант, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: pm888@mail.ru

## **МЕТОДЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ДЛЯ ТРУБЧАТОЙ ПЕЧИ**

**Chernigovskaya M.A., Orlova E.S.**

### **ENERGY SAVING METHODS FOR TUBE FURNACE**

**Аннотация.** В работе рассмотрены основные причины низкой энергоэффективности работы трубчатых печей. Выявлено, что основной причиной потерь тепла является неэффективное использование теплоты дымовых газов. Предложены пути устранения данной проблемы.

**Ключевые слова:** энергосбережение, трубчатые печи, теплопередача.

**Abstract.** The main reasons for the low energy efficiency of tube furnaces are discussed. It was revealed that the main cause of heat loss is the inefficient use of the heat of flue gases. Ways to eliminate this problem are proposed.

**Keywords:** energy saving, tube furnaces, heat transfer.

Современные масштабы промышленности диктуют требования по экономии не только материальных, но и энергетических ресурсов. Особенно вопрос энергосбережения актуален для химической промышленности, в том числе для тех процессов, где требуется применение высоких температур.

Одними из аппаратов, работающих в условиях высоких температур, являются трубчатые печи. Они могут выступать не только в роли теплообменного оборудования, применяясь с целью нагрева технологических сред до высоких температур, но также использоваться в качестве реакционных аппаратов для проведения химических процессов, сопровождающихся существенными энергетическими затратами [1].

Трубчатая печь состоит из:

- корпуса, включающего верхнюю (свод) и нижнюю (под) часть и вертикальные стенки;
- змеевика, по которому проходит нагреваемая среда;
- узла горения топлива, включающего собственно горелки, а также форсунки различных конструкций для распыливания топлива и улучшения его смешивания с воздухом – окислителем;
- системы отвода дымовых газов, состоящей из дымовой трубы, дымососов, различных заслонок (шиберов).

Основным показателем энергоэффективности работы печи является ее энергетический КПД, который по сути представляет собой отношение полезно используемого тепла печи к общему количеству энергии, получаемой в ходе сгорания топлива. Потери тепла принимают достаточно высокие значения по

сравнению с другими аппаратами химической технологии и в ряде случаев могут достигать 40-50 % [2]. Подобные энергозатраты свидетельствуют о низкой эффективности использования тепла в печах и являются сигналом о необходимости оценки энергопотребления и применения энергосберегающих технологий.

Целевым направлением использования теплоты сгорания топлива является нагрев некоторой среды до необходимой температуры. В свою очередь, основными направлениями потерь тепла для печей являются [2]:

1. потери через корпус печи вследствие недостаточной теплоизоляции оборудования (5-10 % от общего количества тепла);
2. потери с дымовыми газами при низкой степени их охлаждения, т.е. неэффективное использование тепла (15-50 % от общего количества тепла);
3. потери за счет неполноты сгорания топлива (около 1,5 % от общего количества тепла).

Если оценить величины данных направлений потерь тепла, то можно увидеть, что основное количество приходится на потери с дымовыми газами. Поэтому основные направления энергосбережения в первую очередь должны быть направлены на устранение именно этой проблемы.

Одной из причин недостаточного охлаждения дымовых газов является высокая температура нагреваемого потока, подаваемого в змеевик печи. Это означает, что для обеспечения достаточной движущей силы процесса нагрева необходимо, чтобы разница температур между поступающим в печь потоком и выходящими из печи дымовыми газами была значима, т.е. поток дымовых газов должен выходить из печи с более высокой температурой, по сравнению с потоком, поступающим в змеевик печи.

Снизить температуру дымовых газов в этом случае можно путем организации дополнительной зоны теплообмена, но с более низкими температурами сред. Часто этот процесс переносится в конвективную зону печи, где процессы переноса тепла протекают за счет механизма конвекции, т.е. теплопереноса с потоками вещества при высоких скоростях его течения.

В качестве второго теплоносителя в конвективной зоне печи может быть использован непосредственно исходный поток, который затем подается в топочную камеру печи. Таким образом можно исключить стадию предварительного нагрева сырья перед входом в печь.

Дополнительно можно установить в конвективную зону печи змеевик экономайзера, в котором тепло дымовых газов будет передаваться воде с целью генерации водяного пара с давлением до 13 МПа (130 кгс/см<sup>2</sup>) или получения горячей воды для технологических и бытовых нужд производства.

Еще одной причиной, затрудняющей процесс охлаждения дымовых газов, является низкая эффективность переноса тепла через стенку змеевика. Это может быть связано с:

1. высоким термическим сопротивлением теплопередающей поверхности, вызванным тепловыми свойствами материала стенки или наличием термических загрязнений, затрудняющих перенос тепла через стенку;
2. низкими коэффициентами теплоотдачи со стороны обеих теплопередающих сред, что может быть связано с тепловыми свойствами самих сред, а также с режимом их движения.

Часто повышение термического сопротивления стенки связано с процессами коксоотложения, которые неизбежно протекают в органических средах при высоких температурах. Причем данный процесс реализуется не только со стороны дымовых газов вследствие неполного сгорания топлива, но и со стороны нагреваемой среды, в особенности, если в ней содержатся соединения, склонные к реакциям конденсации (непредельные соединения различных классов, нафтеновые и ароматические соединения).

Снизить процесс коксообразования со стороны дымовых газов можно путем увеличения количества воздуха, подаваемого на горелки, а также установкой распыливающих устройств, которые позволяют организовать более полное сжигание топлива, а также более равномерное горение пламени

Для снижения коксообразования со стороны нагреваемой среды можно применять разбавители, которые помогут снизить парциальное давление компонентов сырья и не дадут образоваться крупным частицам кокса (сажи), которые могут оседать на поверхности змеевика. Также в некоторых случаях в качестве разбавителя используют водяной пар, который путем взаимодействия с коксом превращает его в газообразные компоненты (СО или СО<sub>2</sub>) и отводит вместе с нагретым потоком.

Проблема низких коэффициентов теплоотдачи сред является достаточно распространенной в химической промышленности. Основным вариантом ее решения – организация турбулентных течений рабочих сред. Для печей этот вопрос решается путем установки завихрителей потока со стороны трубного пространства змеевика печи или уменьшением площади свободного сечения со стороны дымовых газов.

Рассмотренные мероприятия позволят существенно снизить температуру выходящих из печи дымовых газов, а, следовательно, повысить эффективность работы печи.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Ентус, Н.Р.** Трубчатые печи в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности / Н. Р. Ентус, В. В. Шарихин. – М.: Химия, 1987. – 304 с.
2. **Адельсон, С.В.** Технологический расчет и конструктивное оформление нефтегазовых печей. М.: Гостоптехиздат, 1952. – 240 с.