

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра нефтехимии
и техногенной безопасности

Проектирование воздухонагревательной каталитической печи

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 431 группы

направления 18.03.01 «Химическая технология»

код и наименование направления, специальности

Института химии

Макагон Андрея Николаевича

Научный руководитель

профессор, д.т.н.

должность, уч. ст., уч. зв.

подпись, дата

Ю.Я.Печенегов

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

д.х.н., профессор

должность, уч. ст., уч. зв.

подпись, дата

Р.И. Кузьмина

инициалы, фамилия

Саратов 2018

ВВЕДЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа содержит 51 страницу, 12 таблиц, 16 рисунков, 30 литературных источников, чертёж общего вида воздухонагревательной каталитической печи мощностью 5 кВт.

Цель работы: проектирование воздухонагревательных каталитических печей мощностью 3, 5, 7, 10 кВт.

Актуальность темы связана с исключительной важностью отопительных аппаратов в жизни и быту человека. Так, например, в условиях отсутствия централизованного отопления, теплоснабжение ложится на плечи самого потребителя тепла. Такая проблема остро поставлена в дачных поселках, гаражных кооперативах, частном секторе, а так же местности, отдаленной от теплоцентралей. Особенности расчёта печей связаны с выбором в качестве топлива угля Кузнецкого угольного бассейна, как следствие котел относится к виду твердотопливных. Второй же, важной особенностью является – использование катализатора для полного окисления оксида углерода и восстановления оксидов азота. Третьей особенностью является детальное произведение расчетов, таких как расчет горения топлива, тепловой, гидравлический, экономический.

Повышение КПД отопительных печей основывается на детальном продумывании дымогазового тракта для максимального теплообмена с отапливаемой средой. В домашних печах, чаще всего, ими выступают вода и воздух. Интенсификацию теплообмена в дымогарных трубках изучали многие исследователи и теоретическим, и практическим путями. Очевидно, что для экономичности расчетов и возможности быстро сравнивать полученные данные был выбран теоретический метод. В связи с этим при выполнении выпускной квалификационной работы основными задачами были:

- Провести литературный и патентный обзор по данной теме.
- Изучить методику проектирования печей.
- Провести расчет горения топлива.

- Провести тепловой, гидравлический, экономический расчет.

Как результат – был проведён сравнительный анализ полученных данных и были предложены четыре воздухонагревательных каталитических печи разной мощности для отопления помещений разного объема.

Выпускная квалификационная работа состоит из двух разделов: «литературный обзор» и «расчётная часть».

Литературный обзор состоит из двух подразделов:

1. Конструкция и работа печи;
2. Катализаторы окисления;

Расчётная часть состоит из семи подразделов:

1. Расчет процесса горения топлива;
2. Гидравлический расчет;
3. Гидравлический расчёт при мощности 5КВт;
4. Гидравлический расчёт при мощности 3КВт;
5. Гидравлический расчёт при мощности 7КВт;
6. Гидравлический расчёт при мощности 10КВт;
7. Экономический и балансовый расчеты;

Предлагаемая методика основывается на формулах, наилучшим образом, описывающих поведение газовых потоков при их прохождении по дымогазовому тракту и охлаждении в секции теплообмена. По ним рассчитываются коэффициенты теплоотдачи со стороны дымового газа и гидравлического сопротивления трению по всему тракту от топки до выхода из дымовой трубы. Следствием расчетов стали размеры аппарата (прилагаемый чертеж), расход топлива, стоимость аппарата и его содержания.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Для расчета технологических параметров, а так же габаритов оборудования необходимо произвести ряд расчетов. Первым, из которых является аэродинамический расчет.

Производя данный вид расчета, примем в качестве исходных данных мощность печи Q , кВт. Теплота сгорания угля $Q_H^p = 25 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$, К.П.Д. печи принимаем равным $\eta = 0,8$. Время сгорания топлива $\tau = 8$ часов. Это время выбрано из учета упрощения работы оператора. Топливо нужно будет закладывать 3 раза в день без надобности просыпаться ночью. Заполнив топку необходимым объемом топлива, можно будет не опасаться умереть от угарного газа во сне. При этом, оптимальный расход топлива составит:

$$B = \frac{Q}{\eta * Q_H^p}, \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (1)$$

При загрузке на $\tau = 8$ часов, расход топлива составит:

$$B_8 = B * \tau, \text{ кг} \quad (2)$$

Для проведения дальнейших расчетов, рассматривая аэродинамику отходящих дымовых газов, необходимо рассчитать объемы дымогаза, получаемые при сгорании этого топлива.

$$V_{\text{п.г.}} = \frac{Q_H^p}{3,8} * B_8, \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad (3)$$

Принимая коэффициент теплопроводности $K = 5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{К}}$, и расчетную разность температур дымогаза на входе и выходе ΔT , °С, тогда площадь теплообмена будет равной:

$$F = \frac{Q}{K * \Delta T}, \text{ м}^2 \quad (4)$$

Эту площадь теплообмена можно реализовать ВГП трубами диаметром $\emptyset 33,5/25$ и длиной 1 м. При этом, их количество составит:

$$n = \frac{F}{\pi * d * l}, \text{ штук} \quad (5)$$

Расположение дымогарных трубок, а так же их геометрические размеры подбираются индивидуально для каждого числа трубок. Расположение выбирается в шахматном порядке с вертикальным шагом в 40 мм между центрами трубок, а так же горизонтальным шагом в 100 мм между центрами для интенсификации теплообмена. С учетом необходимости простоты конструкции и снижения габаритов аппарата было выбрано

следующее расположение дымогарных труб, представленное на рисунке 1. В качестве примера было выбрано расположение труб печи мощностью 5 кВт.

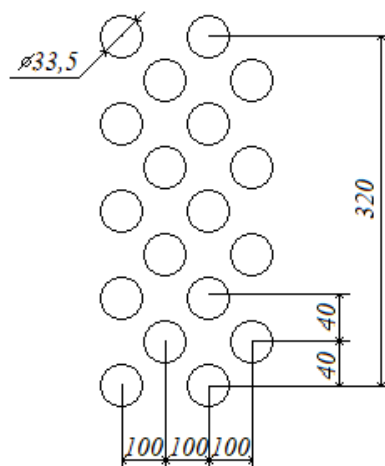


Рисунок 1 – Расположение дымогарных трубок.

Для расчета прочих габаритов необходимо определить и проанализировать скорость газа в трубках:

$$w_H = \frac{4V_{п.г.}}{n \cdot \pi \cdot d^2} \cdot \frac{m^3}{c} \quad (6)$$

При действительных условиях, отличающихся от нормальных температурой получим:

$$w = w_H \cdot \frac{T}{273} \cdot \frac{m}{c} \quad (7)$$

Используя уравнение неразрывности, определим число Рейнольдса:

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} \quad (8)$$

Очевидно, что тип потока – ламинарный, так как меньше 2300. Этот тип потока является ожидаемым, так как дымогаз совершает путь по длинному тракту и оптимальным, так как обеспечивает большую теплоотдачу из-за низкой скорости потока газа.

Для расчета сопротивлений, создаваемых аппаратом по всей длине дымогазового тракта, необходимо рассмотреть строение печи, представленное на рисунке 2. Путь отходящих дымовых газов начинается в топке печи, затем они огибают перевал – вынужденное препятствие для кратковременного снижения диаметра пути и как следствие повышение создаваемого давления и скорости дымовых газов.

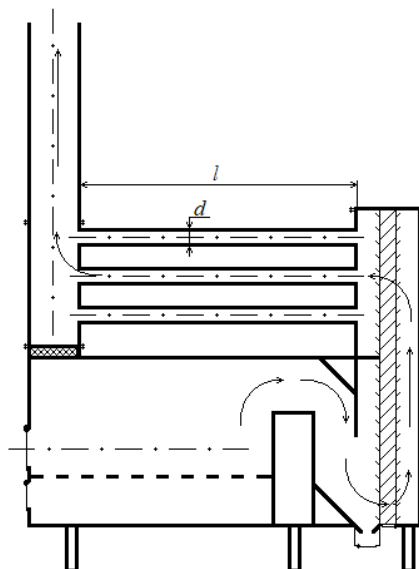


Рисунок 2 – Дымогазовый тракт в воздухонагревательной печи.

Далее дымовые газы проходят в каталитический узел, где происходит полное доокисление оксида углерода и восстановление оксида азота. Катализатор представляет собой шарики размером 5-10 мм в диаметре, засыпанные через верхний люк. При необходимости заменить катализатор свежей порцией, заменить его аналогичным катализатором с иным по составу, и т.д. предусмотрен люк сброса катализатора в нижней части печи под катализаторным патроном. Стенки катализаторного патрона представлены металлической трубкой с «ежом» из отогнутых частей стенок трубки, образованных отверстиями. Отверстия располагаются в шахматном порядке с размерами, соизмеримыми с размерами зерен катализатора. «Ёж» позволяет делать отверстия произвольного размера, не давая зернам катализатора выпадать из каталитического патрона.

После каталитического узла следует пучок параллельных дымогарных трубок. Особенность параллельного пучка труб одного диаметра в сечении в том, что при расчете перепада давлений достаточно рассчитать в одной трубке. Во всех трубках, в таком случае, перепад давления равен перепаду давлений в одной дымогарной трубке. В этом пучке происходит целевая теплоотдача и нагрев окружающего трубки воздуха.

Далее следует блок смешения, в котором охлажденные дымовые газы собираются после дымогарных трубок и переходят в одну дымовую трубу.

Следовательно, можно выделить следующие зоны перепада давления, вызванные местными сопротивлениями:

- 1) $\Delta P_{1 \text{ пов.}}$ – потери давления при повороте на зубе перевала печи;
- 2) $\Delta P_{\text{кат. пов.}}$ – потери давления при проходе через катализатор, так как поворота через катализатор 2, то при расчетах используем удвоенное $\Delta P_{\text{кат. пов.}}$;
- 3) $\Delta P_{2 \text{ пов.}}$ – потери давления при повороте в межкатализаторном пространстве;
- 4) $\Delta P_{\text{сужения}}$ – потери давления от сужения при переходе от катализаторного узла к дымогарным трубкам;
- 5) $\Delta P_{\text{трубок}}$ – потери давления при проходе через дымогарные трубки;
- 6) $\Delta P_{\text{выхода}}$ – потери давления на выходе из печи;

Общий перепад давлений, который необходимо преодолеть при помощи $\Delta P_{\text{самотяги}}$ будет иметь вид:

$$\Delta P = \Delta P_{1 \text{ пов.}} + 2 * \Delta P_{\text{кат.пов.}} + \Delta P_{2 \text{ пов.}} + \Delta P_{\text{сужения}} + \Delta P_{\text{трубок}} + \Delta P_{\text{выхода}} + 30 \text{ Па} = \Delta P_{\text{самотяги}} \quad (9)$$

При дальнейшем расчёте необходимо ввести допущение, что дымогазовый тракт имеет термоизоляционный слой, что позволит вести расчет только с двумя температурами. Первая температура ($T_1=700^\circ\text{C}$) сохраняется на промежутке между топкой и входом в пучок труб. Вторая температура сохраняется от выхода из пучка труб до выхода из дымовой трубы. Это важно учесть при расчёте перепада давлений, так как при такой большой разнице температур у дымового газа меняются физические характеристики.

Каждый из перепадов давления можно найти по формуле:

$$\Delta P_n = \zeta_n \frac{\rho w^2}{2} \quad (10)$$

При этом, $\Delta P_{\text{самотяги}}$ можно рассчитать и по другой формуле:

$$\Delta P_{\text{самотяги}} = H * g * (\rho_{\text{д.с.}} - \rho_0), \text{ следовательно}$$

$$H = \frac{\Delta P_{\text{самотяги}}}{g * (\rho_0 - \rho_{350})}, \text{ м} \quad (11)$$

Размеры $r_{\text{топки}}$, $h_{\text{смесителя}}$, $h_{\text{трубы}}$ наглядно представлены на рисунке 3.

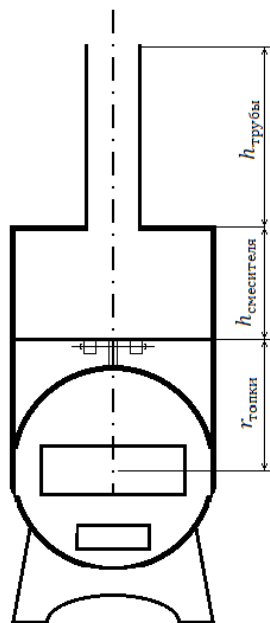


Рисунок 3– Геометрические характеристики печи.

Однако мы можем рассчитать $r_{\text{топки}}$. Как известно, высота топки не должна быть меньше четырехкратного диаметра топлива. В нашем случае, высота топки составит:

$$h_{\text{топки}} \geq 4 * d_{\text{топлива}} \quad (12)$$

В таком случае,

$$H = r_{\text{топки}} + h_{\text{смесителя}} + h_{\text{трубы}} \quad (13)$$

Таким образом, можно выразить высоту трубы и найти её:

$$h_{\text{трубы}} = H - (r_{\text{топки}} + h_{\text{смесителя}}), \text{ м} \quad (23)$$

Расчёт показал, что трубы длиной в 4 метра достаточно, чтобы создать необходимую самотягу для преодоления разрежения в топке и ряда местных сопротивлений. Увеличивая длину трубы можно увеличивать запас создаваемого перепада давлений для экстренных ситуаций.

Зависимость давления самотяги от высоты трубы линейна. Данная функция представляет собой функцию прямой $y=kx+b$, где $k=g*(\rho_k-\rho_n)=tg\alpha$; $b=(r_{\text{топки}}+h_{\text{смесителя}})*g*(\rho_k-\rho_n)+30$

В таком случае, имея ряд графиков можно подобрать высоту трубы, варьируя коэффициентами местного сопротивления, входящими в ΔP , самим ΔP , высотой камеры смешения или радиусом топки. (рисунок 4).

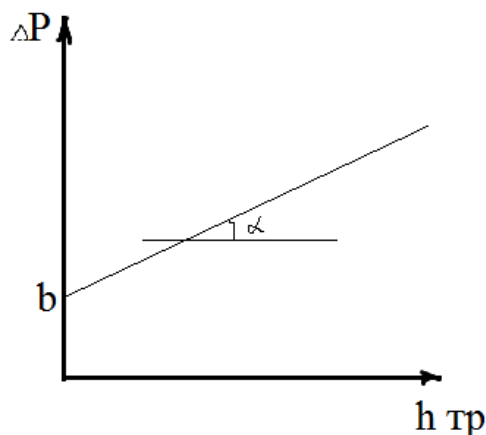


Рисунок 4 – График зависимости давления самотяги от высоты трубы.

Из учёта необходимости оптимизации экономики при подборе оборудования и составляющих печи, высота трубы достаточна в диапазоне 4-5 метров в диапазоне мощностей печи 3-10КВт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Зачастую людям приходится жить и работать в местах, отдалённых от городов, газовых сетей, а значит лишённых возможности получать центральное отопление. Это вызывает необходимость разработки и производства оборудования, предназначенного для обогрева помещений.

В выпускной квалификационной работе в качестве такого оборудования рассматриваются и предлагаются воздухонагревательные печи с каталитическим сжиганием топлива. В качестве топлива выбран уголь. Если сравнивать с нефтью и газом - его более удобно транспортировать в отдалённые и малодоступные участки и более безопасно хранить.

Сжигание предлагается проводить в присутствии катализаторов, обеспечивающих полное сгорание топлива и отсутствие в газах токсичных

оксидов азота, угарного газа и прочих вредных для здоровья человека и окружающей среды компонентов. В качестве образца при расчётах был выбран уголь Кузнецкого месторождения. Именно на основе его особенностей проводился расчёт состава дымовых газов, а значит и процессов теплопередачи.

В ходе выполнения работы были разработаны и спроектированы печи различных мощностей: от 3 до 10 Вт, позволяющих отопить помещения размеров от вагончика для жилья рабочих до полноценного многоквартирного одноэтажного дома.

Для разработки конструктивных особенностей печей были произведены гидравлические расчёты местных сопротивлений, слоя катализатора, потерь давления на трение - итогом которых стало определение необходимой высоты трубы. Тепловой расчёт для определения характеристик теплообменной секции. Как результат, получены параметры печей и составлены их чертежи.

При оценке работы печей и расхода в них топлива использовались различные временные интервалы, связанные с особенностями использования помещения. Так, если оно предназначено для отдыха рабочих в ночное время и пустует в дневное, рационально его будет топить только на время вечера и сна - для этого проводились расчёты на 8 часов работы. Если же это, наоборот, рабочее помещение, или жилое, где люди находятся круглосуточно - на 24 часа работы.

Таким образом, в выпускной квалификационной работе были разработаны четыре печи разных мощностей, предназначенных для отопления помещений в местах, лишённых централизованного отопления.