

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

Модернизация трубчатой печи ПЗ установки АВТ-6 на Саратовском НПЗ

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 4 курса 431 группы

направления 18.03.01 «Химическая технология»

Института химии

Тимралиевой Александры Акбулатовны

Научный руководитель

профессор, д.т.н.

должность, уч. ст., уч. зв.

Ю. Я. Печенегов

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

д.х.н., профессор

должность, уч. ст., уч. зв.

Р.И. Кузьмина

инициалы, фамилия

Саратов 2019

ВВЕДЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа содержит 45 страниц, 10 таблиц, 7 рисунков, 24 литературных источника, чертеж технологической схемы, чертеж рекуператора.

Цель работы: расчет рекуперативного теплообменника как модернизации печи ПЗ установки АВТ-6 Саратовского НПЗ.

Актуальность темы связана с проблемой недостаточно полного использования энергетических ресурсов для обеспечения непрерывающейся работы нефтеперерабатывающих предприятий. Для решения данной проблемы было принято решение рассчитать модернизацию печи, основанную на снятии избыточного тепла дымовых газов. Рабочим телом в данной разработке выступает воздух, поступающий на смешение с топливом в трубчатую печь для обеспечения процесса горения. Разработка может быть использована для внедрения нефтеперерабатывающими заводами на любых установках первичной и вторичной переработки при необходимости нагрева сырья до высоких температур, в том числе на установках гидрогенизационных процессов, каталитического риформинга, изомеризации, каталитического крекинга и т. д.

Особенности расчёта связаны с выбором в качестве топлива топливного газа топливной сети завода, чья теплота сгорания заметно выше теплоты сгорания природного газа. Второй важной особенностью является использование рекуперативного металлического теплообменника с U-образными трубками. Третьей особенностью является детальное произведение расчетов, таких как расчет горения топлива, тепловой, аэродинамический, экономический.

Для расчета теплотехнических характеристик рекуператора был выбран последовательный методический расчет. Так, при выполнении выпускной квалификационной работы основными задачами были:

- Провести литературный и патентный обзор по данной теме,
- Провести тепловой расчет печи,

– Провести теплотехнический, аэродинамический и экономический расчеты рекуператора.

В результате были представлены основные теплотехнические характеристики рекуперативного теплообменника, определены затраты на его установку и экономию при его эксплуатации.

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

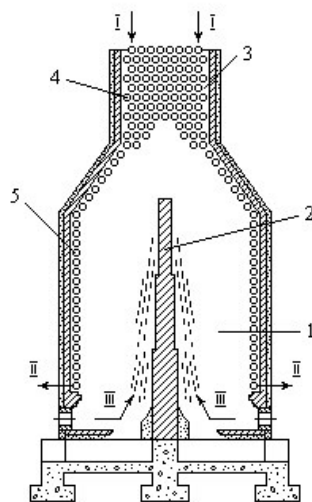
Литературный обзор в свою очередь состоит из трех подразделов: «характеристика печи ПЗ», «конструкция трубчатых печей», «конструкция рекуператоров».

Расчетная часть состоит из трех подразделов: «расчет процесса горения топлива», «расчет рекуператора» и «экономический расчет». Следствием расчета стали определенные размеры и экономическая выгода аппарата.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Печь П-3 представляет собой вертикальный, камерный аппарат. В верхней части печи расположены конвективные змеевики, отвод газов в дымоход также предусмотрен из верхней части. Нагреваемой средой является мазут (фракция $>360^{\circ}\text{C}$) с низа колонны К-2 для перегонки в вакуумной колонне К-10. Проектный расход мазута – 300 т/ч, подается в радиационную камеру шестью потоками.

Трубчатые печи – это печи, применяемые для нагрева сырья до определенных температур. Они разделяются на нагревательные и нагревательно-реакционные печи [1]. Трубчатые печи в основном применяются в тех случаях, когда добиться нагрева другими способами, в том числе теплообменниками, невозможно [2]. В качестве основных элементов трубчатых печей используются: рабочая камера, змеевик, горелка, на которую подается топливо для сгорания, и дымовая труба [3]. Общий вид трубчатой печи представлен на рисунке 1.



- 1 – топочная камера, 2 – пристеночные горелки, 3 – конвекционная камера,
4 – конвекционный змеевик, 5 – радиантный змеевик

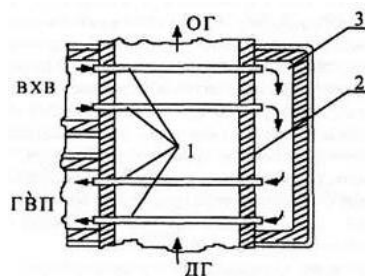
Рисунок 1 – Принципиальная схема трубчатой печи

Печь разделена на две секции; первая – радиантная камера, где происходит сжигание газообразного или жидкого топлива на горелках. Дымовые газы под высокой температурой поступают в конвекционную камеру, где отдают тепло через стенку нагреваемому продукту, после чего выводятся в атмосферу по дымовой трубе [4].

При выводе дымовых газов из печей происходит отвод с ними и части тепла, величина которой тем выше, чем выше температура дымовых газов. Снятие тепла дымовых газов может осуществляться двумя методами: регенеративным методом и методом глубокой утилизации тепла дымовых газов [5].

Регенеративный способ представляет собой систему замкнутого охлаждения. Существует два подхода к снятию тепла дымовых газов данным способом: принцип рекуперации и принцип регенерации [6].

Рекуперативный подход к снятию тепла дымовых газов сводится к постоянному и параллельно происходящему омыванию и горячим, и холодным теплоносителем твердого тела с разных сторон, при этом прямого контакта между теплоносителями не происходит [7]. Также, по материалу, из которого сделаны рекуперативные теплообменники, различают металлические и керамические рекуператоры. Керамические рекуператоры работают при более высоких температурах уходящих газов, что препятствует их применению в нефтеперерабатывающей промышленности. Принцип действия простейшего керамического рекуператора представлен на рисунке 6.



ДГ/ОГ – дымовые/отходящие газы, ВХВ – ввод холодного воздуха, ГВП – горячий воздух в процесс, 1 – керамические трубы, 2 – воздуховод, 3 – коллектор

Рисунок 6 – Принцип действия керамического рекуператора

В данной работе в качестве материала рекуператора по вышеуказанным причинам выбран металлический сплав, форму трубок – U-образная.

В качестве топлива принимаем топливный газ из топливной сети завода.

Таблица 1 – Примерный состав топливного газа

CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	н-C ₄ H ₁₀	H ₂ S	H ₂	Сумма
6,7 об. %	27,4 об. %	39,2 об. %	20,1 об. %	0,6 об. %	6,0 об. %	100 %

Низшая теплота сгорания топливного газа

$$\begin{aligned}
 Q_p^H = & 360,33 \cdot CH_4 + 590,40 \cdot C_2H_4 + 631,80 \cdot C_2H_6 + 868,80 \cdot C_3H_6 + \\
 & + 913,80 \cdot C_3H_8 + 1092,81 \cdot i - C_4H_{10} + 1195,00 \cdot n - C_4H_{10} + 1146,00 \cdot C_4H_8 + \\
 & + 1460,22 \cdot C_5H_{12} + 251,20 \cdot H_2 = 360,33 \cdot 6,7 + 631,80 \cdot 27,4 + 913,80 \cdot 39,2 + \\
 & + 1195,00 \cdot 20,1 = 79565,9 \text{ кДж/м}^3,
 \end{aligned} \tag{1}$$

Практическое количество воздуха, необходимого для процесса горения

$$L_D = L_0 \cdot \alpha = 16,90 \cdot 1,28 = 21,63 \text{ кг / кг} \tag{2}$$

Считаем суммарное количество продуктов сгорания.

$$\sum m_{\text{прод.сгорания}} = 2,97 + 1,68 + 1,37 + 16,66 = 22,68 \text{ кг / кг} \tag{3}$$

Суммарный объем продуктов сгорания

$$\sum V_{\text{прод.сгорания}} = 1,51 + 2,09 + 0,96 + 13,33 = 17,89 \text{ м}^3 / \text{кг} \tag{4}$$

Определим calorиметрическую температуру горения t_K , то есть максимальную температуру процесса горения, жаропроизводительность топливного газа.

$$t_K = \frac{Q_p^H + V_{\text{возд.}} \cdot \bar{C}_{\text{возд.}} \cdot t'_{\text{возд.}} + \bar{C}_{\text{топл.газа}} \cdot t'_{\text{топл.газа}}}{V_{\text{прод.сгор.}} \cdot \bar{C}_{\text{прод.сгор.}}} \tag{5}$$

Расчетная calorиметрическая температура равна:

$$t_K' = \frac{79565,9 + 21,63 \cdot 1,4055 \cdot 273 + 2,7492 \cdot 358}{22,68 \cdot 1,85} = 2117,6^\circ\text{C} \tag{6}$$

Таким образом, тепловой коэффициент полезного действия печи равен:

$$\eta = \frac{t_{\max} - t_{\text{ух.газов}}}{t_{\max} - t_{\text{окр.среды}}} \cdot 100, \% \quad (7)$$

Для трубчатой печи без снятия тепла дымовых газов получаем:

$$\eta = \frac{2117,6 - 477}{2117,6 - 0} \cdot 100 = 74,1\% \quad (8)$$

При установке рекуператора для снятия тепла и снижения температуры дымовых газов, как мы полагаем, от 477°С до 155°С, получаем:

$$\eta = \frac{2117,6 - 155}{2117,6 - 0} \cdot 100 = 91,6 \quad (9)$$

Целью теплового расчета рекуператора является расчет величины площади поверхности теплопередачи.

$$F = \frac{q_6}{k \cdot \Delta t_{cp}}, \text{ м}^2 \quad (10)$$

Принимая потери теплоты в рекуператоре за 5%, практическое количество тепла, которое нужно передать воздуху в теплообменнике, равно

$$q_6 = \frac{2,267 \cdot 1350 \cdot (300 - 0)}{0,95} = 966458 \text{ Вт} \quad (11)$$

Объем дымовых газов, поступающих в рекуператор за секунду, соответственно равен 1,323 м³/с.

В данной работе выбрано противоточное движение. Таким образом, получаем, что воздушный поток нагревается от температуры 0°С до 300°С, а дымовые газы охлаждаются от температуры 477°С до 155°С.

Определяем площадь поверхности теплопередачи

$$F = \frac{966458}{20,5 \cdot 165} = 285,7 \text{ м}^2 \quad (12)$$

Общие сведения по тепловому расчету сведены в таблицу 5, по техническому – в таблицу 6.

Таблица 2. Тепловые характеристики рекуператора

Количество переданной теплоты, Вт	Средняя температура дымовых газов, °С	Средняя температура воздушного потока, °С	Температура стенки, °С	Площадь теплопередачи, м ²
966458	316,0	150,0	282,8	285,7

Таблица 3. Технические характеристики рекуператора

Сечение одной трубы, м ²	Количество труб, шт.	Диаметр труб, мм
0,0029	150	33/40

Аэродинамический расчет сводится к расчету сопротивления дымового тракта. Потери давления складываются из потерь на трения, потерь на местные сопротивления и потери, направленные на преодоление геометрического напора. Таким образом, получаем

$$\Delta P_{\text{пот}} = \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{ме}} + \Delta P_{\text{геом}} \quad (13)$$

Суммарные потери давления в вертикальных каналах

$$\Delta P_{\text{пот}}^{\text{верт}} = 2,64 + 1,85 + 40,72 = 45,21 \text{ Па} \quad (14)$$

Суммарные потери на участке от вертикальных труб до рекуператора

$$\Delta P^{\sigma} = 8,52 + 10,37 = 18,89 \text{ Па} \quad (15)$$

Потери в самом рекуператоре включают в себя потери на плавное расширение, плавное сужение и потери при обтекании трубного пучка. Суммарные потери давления в рекуператоре составили

$$\Delta p_{м.р} = 0,63 + 0,32 + 15,36 = 16,31 \text{ Па} \quad (16)$$

Общие потери давления в дымовом тракте составили

$$\sum \Delta p = 45,21 + 18,89 + 16,31 = 80,41 \text{ Па} \quad (17)$$

При экономическом расчете выделяют три группы расходов, которые в основном различны по времени их существования. Таким образом, они разделяются по периодичности и периоду этих затрат на капитальные затраты, эксплуатационные и ремонтные.

Для определения капитальных затрат положим, что в качестве материала выбрана 3,5мм сталь марки Ст20. Цена листа стали размером 1,5*2,5м равна примерно 52000 руб. Стоимость необходимых для выполнения трубчатого пучка листов стали при поправочном коэффициенте на затраты на рабочих составляет 391,2 тыс. руб.

В качестве топлива в печи используется топливный газ сети завода, может быть в его отсутствие заменен на природный газ, закупаемый газоориентированных компаний.

При температуре дымовых газов на входе в рекуператор, равной 477°С, и температуре нагретого в рекуператоре воздуха, равной 155°С, возможно определить экономию топлива.

Экономия на 1м² составляет

$$\mathcal{E} = 22191 \cdot 4600 \cdot 10^{-3} = 102078 \text{ руб./ м}^2 \quad (18)$$

Экономия на весь рекуператор составляет

$$\mathcal{E} = 22191 \cdot 4600 \cdot 10^{-3} \cdot 285,7 = 29163,7 \text{ тыс. руб.} \quad (19)$$

Срок окупаемости установки составляет

$$\tau_{\text{окупаемость}} = \frac{37,5 + 391,2}{29163,7} = 0,08 \text{ год.} \quad (20)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для нефтеперерабатывающей отрасли проблема энергоэффективности стоит крайне остро. Так, трубчатые печи, необходимые для высокотемпературного нагрева сырья перед колоннами и реакторами, потребляют значительное количество жидкого и газообразного топлива. Для сокращения потребления энергоресурсов выполняются конструкционные модификации печи.

В выпускной квалификационной работе в качестве такой модифицированной формы печи рассматриваются и предлагаются нагревательные сырьевые трубчатые печи с рекуперативным теплообменником. В качестве топлива выбран топливный газ из сети завода.

Сжигание предлагается проводить с избытком воздуха 1,28, воздух подогревается путем съема тепла с дымовых газов. При установке рекуператора также требуется установка вентилятора для подвода и отвода дымовых газов и воздуха. При сгорании 1 кг топливного газа образуется 17,9 м³ дымовых газов.

В ходе выполнения работы были разработаны рекуперативный теплообменник со следующими техническими характеристиками, представленными в таблице 9. В качестве основных конструктивных характеристик выбраны размерные характеристики.

Таблица 4 – Технические характеристики рекуператора

Сечение одной трубы, м ²	Площадь теплопередачи, м ²	Количество труб, шт.	Диаметр труб, мм
0,0029	285,7	150	33/40

Для разработки конструктивных особенностей печей были произведены тепловой расчет процесса горения топлива, тепловой расчет теплообменника и аэродинамический расчет потерь давления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Баранов Д. А. Процессы и аппараты: Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Д. А. Баранов, А. М. Кутепов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 304 с.

2 Коршак, А. А. Основы нефтегазового дела: учебник для вузов / А. А. Коршак, А. М. Шаммазов. – 2-е изд., доп. и испр. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2002. – 544 с.: ил.

3 Сугак А. В. Процессы и аппараты химической технологии: Учеб. пособие для нач. проф. образования / А. В. Сугак, В. К. Леонтьев, В. В. Туркин. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 224 с.

4 Леффлер Уильям Л. Переработка нефти. — 2-е изд., пересмотренное / У. Леффлер. Пер. с англ. — М.: ЗАО «Олимп—Бизнес», 2004. — 224 с: ил.

5 Кузнецов А.А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности / А. А. Кузнецов, С. М. Кагерманов, Е. Н. Судаков. – Изд. 2-е пер. и доп. – Л., "Химия", 1974г. – 344с.

6 Пат. 2016134493 А, Российская Федерация, МПК F24F7/00 (2018.03), Рекуператор тепла / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Оренбургский государственный аграрный университет" (RU)

7 Тебеньков Б.П. Рекуператоры для промышленных печей. – М.: Изд-во «Металлургия», 1975. – 295 с.