

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ  
Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

**Технико-экономическая оценка применения различных видов топлив  
для трубчатых печей**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

студента 4 курса 431 группы

направления 18.03.01 «Химическая технология»

код и наименование направления, специальности

Института химии

Новосельцева Михаила Николаевича

Научный руководитель

доцент, к.х.н. доцент

должность, уч. ст., уч. зв.

\_\_\_\_\_

подпись, дата

И.А. Никифоров

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

д.х.н., профессор

должность, уч. ст., уч. зв.

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Р.И. Кузьмина

инициалы, фамилия

Саратов 2022

## Введение

В химической технологии существует огромное количество различных аппаратов в установках нефтепереработки, которые отвечают за различные параметры сырья. В данной работе рассмотрен отдельно взятый аппарат, который используется на различных установках нефтегазовой промышленности, а именно — трубчатые печи.

Трубчатая печь — высокотемпературное термотехнологическое устройство.

Печь предназначена для нагрева углеводородного сырья теплоносителем, а также для нагрева и осуществления химических реакций за счет тепла выделенного при сжигании топлива непосредственно в этом аппарате, в качестве топлива могут применяться продукты отходов различных процессов, в результате чего не только используется тепло, получаемое при их сжигании, но часто устраняются и затруднения, связанные с обезвреживанием этих отходов. Трубчатые печи используются при необходимости нагрева среды (углеводородов) до температур более высоких, чем те, которых можно достичь с помощью пара, т. е. примерно свыше 230 °С. Несмотря на сравнительно большие первоначальные затраты, стоимость тепла, отданного среде при правильно спроектированной печи, дешевле, чем при всех других способах нагрева до высоких температур. В качестве топлива могут применяться продукты отходов различных процессов, в результате чего не только используется тепло, получаемое при их сжигании, но часто устраняются и затруднения, связанные с обезвреживанием этих отходов. [1]

Задачи работы:

1. Провести обзор конструкций трубчатых печей, используемых на производстве;
2. Выявить возможные виды топлива, которые можно применять в трубчатых печах;
3. Рассчитать технологические параметры различных видов топлив;
4. Провести сравнительный технико-экономический анализ топлив.

Бакалаврская работа Новосельцева Михаила Николаевича на тему «Технико-экономическая оценка применения различных видов топлив для трубчатых печей» представлена на 57 страницах, содержит 13 рисунков и 11 таблиц, и состоит из трёх глав:

1. Трубчатые печи в нефтеперерабатывающей промышленности
2. Технологическая оценка применения различных видов топлив для трубчатых печей
3. Экономическая оценка применения различных видов топлив для трубчатых печей

# **Трубчатые печи в нефтеперерабатывающей промышленности**

## **Трубчатые печи. Классификация**

Существует различные виды печей. Для нагревания нефтяного сырья применяют трубчатые печи с огневым обогревом. Печи могут быть классифицированы на:

- 1) Нагревательные – происходит только нагрев нефтепродуктов, причем учитывают специфику данного процесса, т. е. в одном случае на начальной стадии нагрева дают максимальное количество тепла, в других — минимальное.
- 2) Реакционно-нагревательные – нагрев нефтепродукта совмещен с соответствующими технологическими реакциями. В этих печах необходимо учитывать оптимальные условия подачи тепла для нагрева и протекания реакции.

Также печи классифицируют по способу передачи тепла:

- 1) Конвекционные – печи в которых тепло нефтепродукту передается главным образом конвекцией, а теплопередача излучением ничтожна.
- 2) Радиантные – тепло нефтепродукту передается главным образом излучением, а камера конвекции является вспомогательной или отсутствует.
- 3) Радиантно-конвекционные – промежуточная группа, тепло нефтепродукту передается главным образом конвекцией (в камере конвекции), а теплопередача излучением имеет вспомогательное значение [3]

## **Типы трубчатых печей**

Кубовые трубчатые печи, которые еще сохранились в первоначальном своем виде на многих нефтегазоперерабатывающих заводах, являются старейшим типом радиантно-конвективных печей.

В радиантной секции печей такого типа трубами покрыты только своды и стены, параллельные расположению пламени. На двух других стенах в верхней половине размещены горелки. Под радиационной секции выложен огнеупорным кирпичом, который не подвергается коррозии. Кирпич укладывается на балках таким образом, чтобы через щели между ней могли проходить продукты сгорания. В конвективной секции обычно размещается оборудование для орошения труб водой, которое при остановке печи используется для удаления части осадка, растворимого в воде; подача и отвод воды должны быть спроектированы таким образом, чтобы вода не соприкасалась с огнеупорной футеровкой.

Кубовые печи самых различных мощностей применялись главным образом для нагрева продукта при дистилляции нефти. [4]

Трубчатая печь типа А2Б2 - узкокамерная с верхним отводом дымовых газов, центральным горизонтальным экраном и излучающими стенами из панельных беспламенных горелок. Горелки расположены во фронтальных стенах радиантных камер по пять рядов в каждой стене, образуя два противоположных излучающих блока. Между излучающими стенками установлен трубный экран двустороннего облучения. Трубный экран может быть двухрядным, однорядным, однорядным и двухрядным с переменным шагом. С целью обеспечения независимого регулирования теплопроизводительности для горелок каждого ряда предусмотрен свой газовый коллектор. В зависимости от длины труб радиантной камеры, которая имеет два исполнения (с кладкой из подвесного шамотного кирпича и футеровкой из легковесного жароупорного кирпича), печи изготавливают 5 типоразмеров. Печи данного типа предусматривают беспламенное сжигание чистого обессеренного газа.

На действующих установках нефтегазопереработки широко распространены шатровые печи типа Ш, которые в настоящее время отнесены к печам устаревшей конструкции.

Печь состоит из двухпоточных камер радиации и одной общей конвекционной камеры с нижним отводом дымовых газов, имеет одну или чаще два радиантных секции со сводом, наклоненным от центра к наружной стене, в которой горизонтально установлены форсунки. Трубы в радиантной секции заключены на поду и на своде. В печи на стенах радиантной камеры имеются муфели, в которых размещаются форсунки. Горение топлива практически завершается в муфельном канале, и в топку поступают раскаленные продукты сгорания. Из-за высоких удельных затрат металла и огнеупоров и низкой эффективности эксплуатации строительство двухскатных печей прекращено, вместо них строятся более эффективные трубчатые печи.

На установках АВТ, термокрекинга, каталитического крекинга, в масляном производстве и других производствах продолжают эксплуатироваться конструкции печей шатрового типа. [4]

### **Показатели работы печи**

Трубчатые печи характеризуются 3-мя основными параметрами:

- 1) Производительность;
- 2) Полезная тепловая нагрузка;
- 3) Коэффициент полезного действия;

Производительность печи выражается количеством сырья, нагреваемого в трубных змеевиках в единицу времени (обычно в т/сутки).

Она определяет пропускную способность печи, т.е. количество нагреваемого сырья, которое прокачивается через змеевики при установленных параметрах работы (температуре сырья на входе в печь и на выходе из нее, свойствах сырья и т.д.).

Следовательно, для каждой печи производительность является наиболее полной ее характеристикой.

Полезная тепловая нагрузка — это количество тепла, переданного в печи сырью (МВт, Гкал/ч). Она зависит от тепловой мощности и размеров печи. Тепловая нагрузка большинства эксплуатируемых печей 8-16 МВт. Перспективными являются более мощные печи с тепловой нагрузкой 40-100 МВт и более.

Коэффициент полезного действия печи характеризует экономичность ее эксплуатации и выражается отношением количества полезно используемого тепла  $Q_{\text{пол}}$  к общему количеству тепла  $Q_{\text{общ}}$ , которое выделяется при полном сгорании топлива.

Полезно использованным считается тепло, которое принято всеми нагреваемыми продуктами: сырьем, перегреваемым в печи паром и в некоторых случаях - воздухом, нагреваемым в рекуператорах.

Значение коэффициента полезного действия зависит от полноты сгорания топлива, а также от потерь тепла через обмуровку печи и с уходящими в дымовую трубу газами.

Трубчатые печи, эксплуатируемые в настоящее время на нефтеперерабатывающих заводах, имеют КПД в пределах 0,65-0,87.

Повышение коэффициента полезного действия печи за счет более полного использования тепла дымовых газов возможно до значения, определяемого их минимальной температурой. Как правило, температура дымовых газов, покидающих конвекционную камеру, должна быть выше начальной температуры нагреваемого сырья не менее чем на 120-180 °С. [5]

### **Топливо трубчатой печи**

Топливо – это органические вещества, сжигаемые с целью получения теплоты. Главными горючими компонентами топлива являются углерод и водород. Кроме них, в состав топлива могут входить сера, азот, кислород и даже молибден. Все эти элементы нежелательны.

В химической технологии используются жидкое и газообразное топливо, мазут и газ различного происхождения. Жидкое топливо с экологической точки зрения является худшим вариантом, так как в мазуте концентрируются все вредные примеси и, самое главное, соединения серы. Помимо мазута и

газа, можно использовать абсолютно разные органические соединения в качестве топлива трубчатой печи.

При сгорании соединений серы в атмосферу поступает диоксид серы  $SO_2$ , который наносит большой вред окружающей среде. Кроме того, перед сжиганием мазута его необходимо распылять с помощью водяного форсуночного пара. Это дополнительные затраты и определенное усложнение технологии.

Для обеспечения процесса горения требуется кислород, который берётся из воздуха. При горении протекают реакции окисления, в результате которых образуются продукты сгорания  $CO_2$ ,  $H_2O$  и балласт азот.

Азот является балластом, потому что в реакциях горения не участвует, но забирает выделившуюся теплоту на свой нагрев до очень высокой температуры. Азот – двухатомный газ. А двухатомные газы ни излучают, ни поглощают в инфракрасной области спектра. Кроме того, при высокой температуре азот сам окисляется. [6]

### **Технологическая оценка применения различных видов топлив для трубчатых печей**

В качестве объекта исследования была использована типовая трубчатая печь П-1/1 с установки ЭЛОУ-АВТ-6 ПАО «Саратовский НПЗ».

Обеспечение теплового режима колонны К-1 осуществляется циркуляцией частично отбензиненной нефти («горячая струя») насосами Н-7/1,2 из нижней части колонны К-1 через два змеевика печи П-1/1 с возвратом в колонну К-1. Другая часть отбензиненной нефти через оставшиеся два змеевика печи П-1/1 подаются в атмосферную колонну К-2. [11]

Исходные параметры печи регламента установки ЭЛОУ-АВТ-6 ПАО «Саратовский НПЗ»

#### **Порядок расчета**

Величина	Формула
Низшая теплотворная способность, $Q_p^H$ , кДж/кг	$Q_p^H = (81C + 256H + 26(S - O) - 6W) * 4,1868$
Фактический расход воздуха, $L_d$ , кг/кг	$L_d = \alpha * L_0$
Количество $CO_2$ , образующихся при сгорании 1 кг топлива, $m_{CO_2}$ , кг/кг	$m_{CO_2} = 0,03667C$
КПД, $\eta$	$\eta = 1 - \frac{q_{ух}}{Q_p^H} - \frac{q_{пот}}{Q_p^H}$

Полная тепловая нагрузка печи, $Q_{\text{полн}}$ , МВт	$Q_{\text{полн}} = \frac{Q_{\text{полез}}}{\eta}$
Расход топлива, $B$ , кг/ч	$B = \frac{Q_{\text{полн}}}{Q_p^n \cdot \eta}$

## Экономическая оценка применения различных видов топлив для трубчатых печей

### Результаты расчетов

	$Q_p^n$ , кДж/кг	$Q_{\text{полн}}$ , МВт	$B$ , кг/ч	$\eta$	$L_d$ кг/кг	$m_{\text{CO}_2}$ кг/кг	Цена
Диз.топ	43543,98	81,64	6749,51	0,814	18,50	3,165	48руб/кг
Мазут	41666,20	81,33	7027,79	0,817	17,41	3,120	20,1 руб/кг
Природ. газ	46978,38	79,54	6095,93	0,830	19,57	2,620	4,2р/м <sup>3</sup>
Жирный газ	45474,48	71,76	5681,47	0,920	18,82	3,100	Не нормируется
Тощий газ (сухой)	48720	70,23	5190,20	0,94	0,064	0,01	Не нормируется

### Выводы

Проведен расчет основных видов топлив (дизельное топливо, мазут, природный газ, жирный газ, тощий газ) для трубчатой печи П-1/1 установки ЭЛОУ-АВТ-6 ПАО «Саратовский НПЗ»

Показано, что с экономической и экологической точки зрения, природный газ в качестве топлива по всем расчетным параметрам предпочтительнее, чем жидкое топливо

Если производство сможет обеспечить требуемое количество жирного газа, то им можно будет полностью заменить природный газ в качестве топлива печи

## Список литературы

1. Ерандаева Ю.В., Воробьев Е.С., Воробьева Ф.И., Вестник Казанского технологического университета. 2011, т.14, в.11, с.88-91
2. Ахметов, С. А. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа: учебное пособие / С. А. Ахметов, Т. П. Сериков, И. Р. Кузеев, М. И. Баязитов; под ред. С. А. Ахметова. -- Санкт - Петербург: Недра, 2011. -- 868 с.; ил.
3. Шарихин, В. В. Трубчатые печи нефтегазопереработки и нефтехимии: учебное пособие / В. В. Шарихин, Н. Р. Ентус, А. А. Коновалов, А. А. Скороход. М.: Сенсоры. Модули. Системы, 2000. - 392 с.
4. Трубчатые печи: Каталог / Сост. А. А. Казеннов, Г. В. Филатов, Ю. Д. Ханин и В. И. Мешков. – изд. 5-е., исправ. и доп. – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1998. – 29 с., ил.
5. Казеннов, А. А. Трубчатые печи: каталог / А. А. Казеннов, Г. В. Филатов, Ц. А. Бахшиян, М. Н. Вергасов. - 4-ое издание, исправленное и дополненное. - Москва: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 2010. - 31 с.
6. Ентус, Н.Р. Трубчатые печи в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности: пособие для студентов нефтяных вузов и техникумов / Н. Р. Ентус, В. В. Шарихин. - Москва: Химия, 2011. - 304 с.
7. Пат. RU 63 800 U1 Трубчатая печь / И.И. Растопчук. Заявка № 2005122137/22. Оpubл. 10.06.2007.
8. Пат. RU 2 296 926 С2 Трубчатая печь / В.К. Базиян, А.Г. Пятницков, В.И. Мальков. Оpubл. 10.04.2007.
9. Пат. RU 2 202 591 С1 Трубчатая печь / В.Н. Ермолаев, А.А. Казеннов, В.И. Мешков, Г.В. Филатов, Л.Л. Лаврентьев, Т.И. Галкина, Л.Е. Моисеева, Г.В. Петровичева. Оpubл. 20.04.2003
10. Хафизов А.М., Баширов М.Г., Чурагулов Д.Г., Аслаев Р.Р. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ «УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ» ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕСУРСА ТРУБЧАТОЙ ПЕЧИ И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12-3. – С. 536-539;
11. Технологический регламент установки ЭЛОУ-АВТ-6 Саратовского НПЗ. – станция Князевка, 2018. - 76 с.
12. Кузнецов. А. А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности: учебное пособие для студентов специальностей «Химическая технология переработки нефти и газа» / А. А. Кузнецов, С. М. Кагерманов, Е. Н. Судаков. - Москва: Химия, 2012. - 330 с.



13. Гуревич, И.Л. Общие свойства и первичные методы переработки нефти и газа: учебное пособие / Гуревич, И.Л., Азибекова М.А.; под общ. ред. Сарданашвили А.Г., Скобло А.И. - Москва: Химия, 2010. - 360 с.
14. Трушкова, Л. В. Расчёты по химии и технологии нефти и газа: учебное пособие для студентов специальности 250.400 «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов (ХТТ)» / Л.В. Трушкова, под редакцией Р.З. Магарила. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. - 76 с.
15. Эмирджанов, Р.Т. Основы технологических расчетов в нефтепереработке: учебное пособие для студентов нефтяных и химико-технологических вузов / Р. Т. Эмирджанов. - Москва: Издательство «Химия», 2012. - 544 с.
16. Хорошко, С.И. Справочник нефтей северных регионов: справочник/С.И. Хорошко - Новокузнецк, 2010. - 125 с.