

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

**Повышение эффективности трубчатой печи блока гидроочистки  
установки каталитического риформинга**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

студента 4 курса 431 группы

направления 18.03.01 «Химическая технология»

код и наименование направления, специальности Института химии

Именцовой Ольги Андреевны

Научный руководитель

доцент, к.х.н., доцент

должность, уч. ст., уч. зв.

\_\_\_\_\_

подпись, дата

С.Б. Ромаденкина

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

д.х.н., профессор

должность, уч. ст., уч. зв.

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Р.И. Кузьмина

инициалы, фамилия

Саратов 2021 год

## **ВВЕДЕНИЕ**

На сегодняшний день проблема увеличения объема и глубины переработки углеводородного сырья является актуальной задачей. В связи с этим большое значение приобрели каталитические процессы.

Каталитический риформинг является одним из главных процессов нефтехимии. В нефтепереработке он используется более 50 лет, в структуре мирового нефтеперерабатывающего комплекса мощности составляют 11,8% первичной перегонки нефти, а для России 11,3%. Благодаря данному процессу одновременно получают компонент высокооктанового автомобильного бензина, ароматические углеводороды, используемые и в качестве топлива, и в качестве исходных веществ нефтехимического синтеза.

На установке каталитического риформинга протекают два основных технологических процесса:

- предварительная гидроочистка сырья;
- каталитический риформинг стабильного гидрогенизата.

Одним из аппаратов блока гидроочистки является трубчатая печь, предназначенная для нагрева сырьевой смеси перед реакторами до температуры 280-360 °С.

Целью работы является расчет запаса мощности вертикальной цилиндрической печи типа ВЦ блока гидроочистки установки каталитического риформинга.

Бакалаврская работа Именцовой Ольги Андреевны на тему «Повышение эффективности трубчатой печи блока гидроочистки установки каталитического риформинга» представлена на 48 страницах, содержит 8 рисунков и 6 таблиц, и состоит из двух 2 глав:

1 – ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

2 – РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### **Трубчатые печи. Классификация.**

Трубчатая печь – аппарат, предназначенный для передачи нагреваемому продукту тепла, выделяющегося при сжигании топлива в камере радиации печи. Печи относят к основному нагревательному оборудованию большинства нефтехимических и нефтеперерабатывающих заводов. [1]

В первую очередь, печи различают по целевой принадлежности. Выделяют две большие группы:

1) Печи, предназначенные для нагрева сырья. Для печей этого типа характерны умеренные температуры нагрева сырья и высокая теплопроизводительность. Сюда относят печи установок АТ, ВТ, ГФУ.

2) Печи, обеспечивающие не только нагрев и перегрев сырья, но используемые в качестве реакторов. Их отличают высокотемпературные параметры процесса деструкции углеводородного сырья, невысокие массовые скорости процесса. Например, печи установок пиролиза и конверсии метана. [2]

Наибольшее распространение в промышленности получили печи радиантно-конвекционного типа. Они состоят из двух отделенных друг от друга секций. В радиантной части трубчатой печи происходит сжигание топлива после чего тепло змеевикам передается с помощью радиационной теплопередачи путем поглощения лучистого тепла. В камере конвекции тепло передается за счет конвективной передачи тепла в момент омывания поверхности труб змеевика дымовыми газами. Внутри печи расположен многократно изогнутый трубопровод – змеевик. По нему прокачивается нагреваемая смесь, которая изначально подается в конвекционную часть трубчатой печи, а после поступает в радиантную часть. В поду радиантной камеры расположены горелки, в которых сжигают жидкое и газообразное топливо. В результате повышается температура дымовых газов и высота

светящегося факела. Тепловые лучи подают на внутренние поверхности труб и внешние поверхности стен радиантной камеры печи. Нагретые поверхности стен также выделяют тепло, которое поглощается поверхностями радиантных труб. В радиантной секции нагреваемому сырью передается большая часть тепла (60–80% всего использованного тепла), а оставшееся тепло передается в конвекционной. Эффективность теплопередачи конвекцией обусловлено скоростью движения дымовых газов. После конвекционной камеры дымовые газы поступают в дымовую трубу. [3]

На сегодняшний день осуществляется выпуск 6 типов печей. Маркировка происходит следующим образом. Первая буква шифра объединяет несколько признаков, характеризующих конструктивное исполнение трубчатой печи:

Г - трубчатая печь с верхним отводом дымовых газов и горизонтальными радиантными трубами;

Б - узкокамерная трубчатая печь с нижним отводом дымовых газов и горизонтальным расположением труб;

Р - радиантно-конвективная трубчатая печь с несколькими камерами радиации и общей камерой конвекции с вертикальным расположением конвективных труб;

З – трубчатая печь с зональной регулировкой теплоотдачи;

Ц – цилиндрическая трубчатая печь;

В – трубчатая печь с верхним отводом дымового газа и вертикальными радиантными трубами;

Вторая буква обозначает способ сжигания топлива:

Р – резервное жидкое топливо с беспламенным горением;

Д – настильное с дифференциальным подводом воздуха;

Н – настильный факел;

С – свободный факел;

Б - беспламенное горение с излучающими стенами из панельных горелок.[4]

### **Основные показатели работы трубчатой печи**

Для большинства конструкций печей основными являются показатели:

- производительность;
- полезная тепловая нагрузка;
- теплонапряженность поверхности нагрева;
- коэффициент полезного действия.

Основной характеристикой печи является ее производительность.

Производительность печи – основная характеристика. Ее выражают как отношение количества сырья (технологического потока), проходящего по змеевикам печи, к единице времени (обычно т/сут). Кроме того, производительность определяет пропускную способность печи.

Полезная тепловая нагрузка – то, количество теплоты, которое печь отдает нагреваемому сырью. Эта характеристика напрямую зависит от тепловых мощностей и габаритов печи.

Тепловая напряженность поверхности нагрева – это количество теплоты, переданной через  $1\text{ м}^2$  поверхности нагрева в единицу времени. Предел допустимых значений теплонапряженности поверхности нагрева ограничен прогаром труб змеевика и коксованием. Различают среднюю теплонапряженность труб всей печи, среднюю теплонапряженность радиантных и конвекционных труб, а также теплонапряженность отдельных участков труб (локальная).

Коэффициент полезного действия трубчатых печей – отношение полезно используемого тепла ко всему количеству теплоты которое выделяется при сгорании топлива. Понижение температуры отходящих дымовых газов и уменьшение коэффициента избытка воздуха увеличивает КПД печи. Неплотность кладки приводит к подсосу воздуха, что повышает

коэффициент избытка воздуха и понижает КПД печи, соответственно. КПД трубчатых печей современных НПЗ составляет 0,64-0,86. [10]

### **Элементы конструкций трубчатых печей**

Все печи имеют общие элементы, такие как: фундамент, каркас, топливное оборудование, змеевики, дымовые трубы, гарнитура.

**Фундаменты.** Фундаменты трубчатых печей выполняют из монолитного или сборного железобетона. Фундамент печи отделен от зон высоких температур теплоизоляционным слоем, в качестве которого использует простой кирпич. Эта необходимость связана с разрушением бетона, так как при 300-400 °С цемент в бетоне начинает терять кристаллизационную воду. Кроме того, фундамент защищают надежной гидроизоляцией от грунтовых вод.

**Металлические каркасы.** Металлический каркас – основной несущий узел печи. Он несет нагрузку от змеевиков, кровли, гарнитуры, стен печи. Так как каркас подвергается действию высоких температур в нем предусмотрены подвижные узлы, чтобы компенсировать расширение при работе печи.

**Топливное оборудование.** По виду сжигаемого топлива оборудование классифицируют на:

- Газовые горелки
- Мазутные горелки
- Газомазутные горелки.

В промышленности отдают предпочтение комбинированным газо-мазутным горелкам. Для всех трех типов горелок основными задачами является обеспечение заданного режима горения и полноты сгорания. Исходя из числа горелок и требуемой производительности определяют диаметр сопел.

**Трубные змеевики.** Змеевик собирают из дорогих горячекатанных бесшовных печных труб, между собой трубы скрепляют с помощью

двойников. С двух сторон змеевики подвергаются воздействию высоких температур: изнутри – от нагреваемого сырья, а снаружи – от дымовых газов и излучающих поверхностей.

Дымовые трубы и дымоходы. Для работы печи необходима тяга, которую создает дымовая труба. Дымовой газ проходит через дымоходы, которые соединяют конвекционную камеру и дымовую трубу, а затем выбрасывается в атмосферу. Важно выбрать верный диаметр дымовой трубы, выбор делают исходя из скорости движения газов по трубе, которая не должна быть больше 4-6 м/с.

Гарнитура печей. Сюда относят все элементы, которые удерживают трубы от провисания в промежутках между трубными решетками.

### **Процесс каталитический риформинг**

В основе процесса каталитического риформинга лежат следующие реакции:

- образование ароматических углеводородов за счёт реакций дегидрирования шестичленных углеводородов;
- образование соединений циклогексанового ряда за счёт изомеризации гомологов циклопентана с дальнейшей их ароматизацией;
- образование ароматических углеводородов за счёт реакций дегидроциклизации парафиновых углеводородов. [16 , 17]

Роль гидрокрекинга в процессе каталитического риформинга неоднозначная. С одной стороны снижение молекулярной массы алканов приводит к увеличению октанового числа реформата, а с другой стороны, образуется значительное количество газообразных продуктов, что снижает выход бензина, а также появляются уплотнения с образованием кокса, отлагающегося на поверхности катализатора. А это напрямую влияет на селективность процесса и превращение углеводородов. В связи с этим вклад реакций гидрокрекинга должен быть ограничен. [18,19]

## Предварительная гидроочистка сырья каталитического риформинга

Сырьем процесса каталитического риформинга являются прямогонные бензиновые фракции кипящие в интервале 100 – 180 °С.

Помимо прямогонной фракции также применяют бензиновые фракции вторичных процессов, таких как: термический крекинг, коксование. Однако предварительно сырье подвергают глубокому гидрооблагораживанию из-за наличия в них олефиновых углеводородов, которые быстро отравляют катализатор (особенно платиновый). Кроме того, гидроочистка позволяет удалить вредные примеси в виде органических серо-, серо-, азот- и кислородсодержащих соединений. [20]

В процессе очистки бензиновую фракцию смешивают с водородом и подают в трубчатую печь для нагрева до температуры 280-360 °С. Из печи смесь поступает в реактор гидроочистки, где на алюмоникельмолибденовом катализаторе непосредственно происходит превращение веществ, дезактивирующих полиметаллический платинорениевый катализатор риформинга.

### РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Наименование параметра	Значение
Низшая теплота сгорания топлива, $Q$ , кДж/кг	47694
Коэффициент полезного действия, $\eta$ , %	74
Полезная тепловая нагрузка, $Q_{пол}$ , кДж/ч	21 754 303
Расход топлива, $B$ , кг/ч	616
Количество тепла, передаваемого сырью в радиантной секции, $Q$ , кДж/ч	13 051 863
Количество тепла, передаваемого сырью в конвекционной секции, $Q_k$ , кДж/ч	8 702 440
Абсолютно черная поверхность, $H_d$ , м <sup>2</sup>	101,2
Эквивалентная лучевоспринимающая поверхность, $H_d$ , м <sup>2</sup>	147,8
Заэкранированная плоская поверхность, $H$ , м <sup>2</sup>	184,8
Ширина заэкранированной кладки, $h$ , м	16,9
Число труб в радиантной камере, $N$ , шт	48
Полная поверхность радиантных труб, $H_p$ , м <sup>2</sup>	294,1
Теплонапряженность радиантных труб, $q_p$ , кВт/м <sup>2</sup>	14,8

## **ВЫВОДЫ**

1. Составлены тепловые балансы трубчатой печи при исходной и увеличенной производительности.

2. Установлено, что для печи ВЦ-5,5x12 обеспечение должного нагрева смеси возможно только при увеличении полной поверхности нагрева радиантных труб посредством увеличения труб в радиантной камере с 48 до 56 штук.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Каминский, Э.Ф. Глубокая переработка нефти: технологический и экологический аспекты / Э.Ф. Каминский [и др]. – М. : Техника, 2001. - 384с.
2. Ахметов С.А. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа: учебное пособие / С.А. Ахметов [и др.] под ред. С.А. Ахметова. – СПб.: Недра, 2006. – 868 с.
3. Ягудин М.Н. Трубчатые печи. Расчеты при проектировании. Уфа: Издательство ГУП ИНХП РБ, 2014. - 256с.
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.
5. 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.
6. Сугак, А. В. Оборудование нефтеперерабатывающего производства: Учебное пособие для студенческих учреждений высшего образования/А. В. Сугак, В. К. Леонтьев, Ю. А. Веткин. – Москва : Издательский центр «Академия», 2012. – 336 с
7. Современные технологии производства моторных топлив / Н.Л. Солодова [и др.]. – Казань: Издательство КГТУ, 2009. – 337 с.
8. Бадьин Ю.А., Решетов В.Ф. Повышение эффективности технологических нагревательных печей НПЗ//Химическая техника. – 2016. –№3. – С.10.
9. Ляшонок С.Ю., Дьячкова С.Г. Обзор конструктивных особенностей трубчатых печей //Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – №12 . – 213-219.
10. Э.Ш. Теляков, М.А. Закиров, С.А. Вилохин. Технологические печи химических, нефтехимических и нефтегазоперерабатывающих производств. Казан. гос. технол. ун-т. – Казань, 2008. – 104 с.

11. Пат. 2409610 Российская Федерация. Трубчатая печь/Мурадов З.А. Заявка №2009103975 от 05.02.2009; опубл. 10.08.2010.Бюл.№34.
12. Пат. 2246524 Российская Федерация.Трубчатая печь/ Мурадов З.А. Заявка №2003115389 от 23.05.2003; опубл. 20.02.2005.Бюл.№23.
13. Пат. 2016112234 Российская Федерация. Трубчатая печь/ Кузнецов Д.В., Ягудин М.Н., Теляшев Э.Г., Хайрудинов И.Р. Заявка № 2016112234 от 31.03.2016; опубл. 23.03.2017.Бюл.№14.
14. Пат. 2483096 Российская Федерация/ Таушева Е.В., Таушев В.В., Теляшев Э.Г. Трубчатая печь. Заявка №2012104224 от 07.02.2012; опубл. 27.05.2013.Бюл.№15.
15. Пат.2240340 Российская Федерация. Способ получения высокооктанового бензина/Абдульминев К.Г., Ахметов А.Ф., Ахметов Ф.А., Касьянов А.А., Соловьев А.С., Федоринов И.А. Заявка №2003120391 от 03.07.2003; опубл. 20.11.2004.
16. Шехматова А.Д., Шайхутдинова Р.Р. Установка каталитического риформинга // Мирская наука. – 2020. – №8. – С.182-186
17. Игнатъев С. В. и др. Каталитическое превращение бензиновых углеводородов нефти //Современные проблемы теоретической и экспериментальной химии. – 2017. – С. 205-210.
18. Куанов Р.С. Процесс каталитического риформинга// Синергия наук. – 2019. – №41. – С.336-345
19. Parera J.M. // Catalytic Naphtha Reforming. MarcelDekker. 1995. - 517с.
20. Хатмуллина Д.Д. Каталитический риформинг //Материалы II Международной научной конференции «Технические науки: теория и практика». – 2014. – С.106-109.
21. Елшин А.И., Алиев Р.Р. и др. Отечественные установки гидроочистки // Химия и технология топлив и масел, №3 2005. с. 15.
22. Нападовский В.В., Ежов В.В., Баклашов К.В., Установка гидроочистки и риформинга на Комсомольском НПЗ. Опыт

проектирования, строительства, пуска и др. // Химия и технология топлив и масел. – 2006. - №5. – С.13-19.

23. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М: Наука, 1972. - 720 с.

24. П.В. Коломиец. Расчет горения топлива. . – Тольятти : ТГУ, 2011. – 38 с.

25. Кузнецов А.А. и др. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности. – М.: Химия, 1974. – 344с.

26. Трушкова Л.В. Расчеты по химии и технологии нефти и газа. Учебное пособие, Тюмень: ТГНГУ, 2001. - 76 с.

27. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов-10 изд., стереотипное, доработанное. М:ООО ТИД «АЛЬЯНС».2004.-753с.

28. Судаков Е.Н. Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки. – 3е издание. – М.: Химия, 1979.- 568с.

29. Трушкова Л.В. Расчеты по химии и технологии нефти и газа. Учебное пособие, Тюмень: ТГНГУ, 2001 - 76 с.

30. Ентус Н.Р., Шарихин В.В. Трубчатые печи в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. - М.: Химия, 2010. – 304с.