

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра химической технологии

**Оценка теплообменного оборудования в процессе  
каталитического риформинга**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

Студента 4 курса 431 группы

направления 18.03.01 «Химическая технология»  
код и наименование направления

Института химии

наименование факультета

Бысина Александра Денисовича

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

Доцент, к.х.н., доцент.  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_  
дата, подпись

С.Б. Ромаденкина  
инициалы, фамилия

Зав. кафедрой:

д.х.н., профессор  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_  
дата, подпись

Р. И. Кузьмина  
инициалы, фамилия

Саратов 2021 г.

## Введение

**Актуальность исследования.** С каждым годом увеличивается потребление высокооктановых автобензинов, так как количество автомобилей резко возрастает в последнее время. В следствии этого возникает проблема автоматизации процесса каталитического риформинга с целью повышения качества и выхода целевого продукта, что довольно актуально не только в России, но и в мире в целом.

Также, важно отметить, что постоянное ужесточение экологических требований по содержанию ароматических углеводородов в бензинах (по стандартам Евро – 5, Евро – 6) побуждает российских производителей бензинов все больше и больше внедрять технологии получения бензинов с пониженным содержанием аренов.

Следовательно, разработка методов, улучшающих или оптимизирующих выход и качество риформатов, а также уменьшению стоимости производства, является очень важным. Использование более качественных, или больше подходящих теплообменных аппаратов позволит модернизировать и улучшить процесс риформинга.

Целью работы является усовершенствование установки каталитического риформинга 600 блока риформинга путем замены кожухотрубчатого на пластинчатый теплообменник.

## Основное содержание работы

Технологическая схема установки каталитического риформинга со стационарным слоем катализатора изображена на рисунке 1 [1]. Установка рассчитана на непрерывную работу в течении года без регенерации.

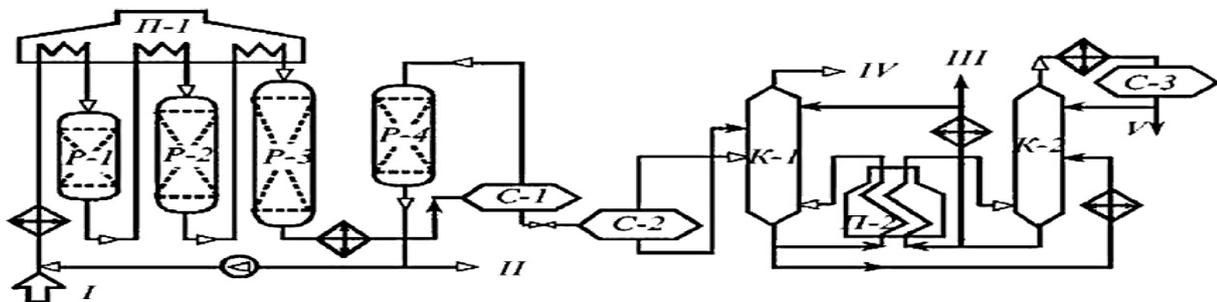


Рисунок 1. Технологическая схема установки каталитического риформинга со стационарным слоем катализатора

П 1,2 – печь; P -1,2,3,4 – адиабатические реактора; С 1 – сепаратор высокого давления; С 2 – сепаратор низкого давления; С 3 – приемник;

К 1 – фракционирующий абсорбер; К 2 – колонна стабилизации

I – гидроочищенное сырье; II – ВСГ; III – стабильный катализат; IV – сухой газ; V – головная фракция.

Очищенное от сернистых соединений сырье (до риформинга обычно идет блок гидроочистки) насосом подается на смешение с циркулирующим ВСГ, подаваемым от компрессоров, в теплообменники где нагревается до 395 °С за счет тепла газопродуктовой смеси, выходящей из реакторов. Далее смесь нагревается в печи. Процесс каталитического риформинга осуществляется в среде водорода на полиметаллическом катализаторе при температуре 470 - 520 °С, давление на выходе из реакторов поддерживается на уровне 2 – 3 МПа. Смесь проходит через 3 адиабатических реактора с межступенчатым подогревом печи. Газопродуктовая смесь, состоящая в основном из углеводородов, парафинов, в основном нормального строения, нафтеновых, циклопентановых и циклогексановых, ароматических производных бензола, из реакторов с температурой 470 – 520 °С направляется через теплообменники и холодильники, где охлаждается до

температуры 45 °С и поступает в сепаратор высокого давления С - 1. В нем происходит разделение газожидкостной смеси на ВСГ и нестабильный катализат. Жидкая фаза – нестабильный катализат, снизу сепаратора проходит через сепаратор низкого давления С – 2, где от него отделяются легкие углеводороды, теплообменники. Выделившиеся в сепараторе С-2 газовую и жидкую фазы направляют во фракционирующий абсорбер К-1. Абсорбентом служит стабильный катализат (бензин). Низ абсорбера подогревают горячей струей через печь П-2. В абсорбере при давлении 1,4 МПа и температуре внизу 165 °С и вверху 40 °С отделяют сухой газ. Нестабильный катализат, выводимый с низа К-1, после подогрева в ТО подают в колонну стабилизации К-2. Тепло в низ К-2 подводят циркуляцией и подогревом в печи П-2 части стабильного конденсата. Головную фракцию стабилизации после конденсации и охлаждения направляют в приемник, откуда частично возвращают в К-2 на орошение, а избыток выводят с установки. Часть стабильного катализата после охлаждения в ТО подают во фракционирующий абсорбер К-1, а балансовый его избыток выводят с установки. ИОЧ установки равняется 84 пунктам.

Технологический режим установки каталитического риформинга:

- 1) Температура в реакторах - от 470 до 530 °С;
- 2) Оптимальное давление в реакторах 2 – 3 МПа;
- 3) Катализатор – полиметаллический катализатор;
- 4) Время регенерации в год – от 20 до 40 суток;
- 5) Объемная скорость – 1,5 - 2 ч<sup>-1</sup>.

В основе процесса риформинга лежат реакции изомеризации, дегидроциклизации и гидрокрекинга.

1) Изомеризация линейных алканов протекает довольно быстро с выделением малого количества тепла. Изомеризация протекает по карбоний – ионному механизму. В результате образуются малоразветвленные изомеры, обладающие высокими октановыми числами.

2) Дегидроциклизация заключается в превращении алканов в арены. Здесь идет большая зависимость начального количества углерода в алкане и результата.

3) При гидрокрекинге алканов получаем низшие алканы [2].

В каталитическом риформинге нежелательны реакции гидрокрекинга линейных и изоалканов, так как содержание алканов в реформате уменьшается, что приводит к увеличению концентрации ароматических углеводородов и снижению выхода реформата. Также нежелательна реакция гидрогенолиза, так как при ее осуществлении потребляется водород и происходит разрыв молекулы. Также нежелательно образование кокса, которое связано с наличием высокомолекулярных насыщенных углеводородов, что образуются в результате поликонденсации ароматических соединений. Низкое давление и высокая температура способствуют образованию кокса.

Технология процесса каталитического риформинга зависит от способа проведения регенерации катализатора. Выделяют несколько основных типов:

- 1) С циклической регенерацией;
- 2) С периодической регенерацией (полурегенеративный);
- 3) С непрерывной регенерацией.

Теплообменниками называются аппараты, в которых происходит теплообмен, между рабочими средами независимо от их технологического или энергетического назначения (подогреватели, выпарные аппараты, концентраторы, пастеризаторы, испарители, деаэраторы, экономайзеры).

Назначение теплообменников заключается в проведении теплообменных процессов, если есть необходимость повысить или понизить температуру рабочей среды в целях её последующей переработки или утилизации.

По принципу действия теплообменники могут быть рекуператорными или регенераторными. В рекуператорах между движущимися теплоносителями есть стенка. Такая конструкция наиболее распространена. В

регенераторах теплоносители отличными друг от друга температурами поочередно входят в контакт с одной и той же поверхностью[3,4].

Теплообменники можно классифицировать по нескольким направлениям:

- 1) По типу конструкции:
  - a. Теплообменники, поверхность которых изготовлена из неметаллического материала (пластмасса, стекло, графит);
  - b. Теплообменники, сделанные из труб (кожухотрубчатый, змеевиковый, оросительный, погружной тип, труба в трубе);
  - c. Теплообменники, в которых теплообменная поверхность сделана из листовых материалов (пластинчатые, сотовые, спиральные);
- 2) По назначению:
  - a. Подогреватели;
  - b. Конденсаторы;
  - c. Холодильники;
  - d. Испарители.
- 3) По направлению потока в теплообменнике:
  - a. Прямоточные;
  - b. Противоточные;
  - c. Теплоносители перекрестного потока[5].
- 4) По виду греющего теплоносителя:
  - a. жидкостные, при греющем теплоносителе жидкой среде;
  - b. газовые – когда происходит теплообмен при использовании греющей среды - газ;
  - c. паровые – при теплообмене между паром и другой средой.

Также стоит отметить, что теплообменники можно располагать как горизонтально, так и вертикально. При выборе положения теплообменника в пространстве следует иметь в виду, что вертикальные аппараты занимают меньшую площадь и отвод конденсата из трубного пространства

конструктивно упрощается, однако горизонтальные аппараты легче обслуживать[6].

Разберем плюсы и минусы кожухотрубчатых и пластинчатых теплообменных аппаратов[7,8]:

Основные положительные стороны пластинчатых теплообменников:

- 1) Высокие значения коэффициентов теплоотдачи в межпластинчатых каналах;
- 2) Унификация деталей и узлов, что дает широкий ряд поверхностей теплообмена на базе пластин одного типа;
- 3) Огромное сокращение внутреннего объема по рабочим средам, а следовательно и количества рабочего вещества;
- 4) Открытый доступ к теплообменной поверхности (для разборных и полуразборных теплообменников), а также высокая плотность и прочность;
- 5) Неразборные пластинчатые теплообменники можно чистить практически не используя ручной труд с помощью химического и теплового способа. Химический способ – растворение образовавшегося слоя отложений с помощью специального состава, который не разрушает материал пластин. Тепловой способ – резкое изменение температуры сред в рабочих полостях. Из – за разности коэффициентов температурного расширения отложения на материале пластин удаляются из теплообменника потоком воды;
- 6) Высокая степень турбулентности потока в каналах. Это способствует некоторому самоочищению поверхности теплообмена и снижению стоимости использования теплообменников;
- 7) Многочисленное количество точек контакта пластин, что сводит к минимуму вибрацию аппарата;
- 8) Расположение патрубков для выхода и входа рабочих сред на одной плите, отсутствие фундамента, что упрощает монтаж аппаратов.

Одним из основных недостатков пластинчатого теплообменника является то, что если использовать некачественный теплоноситель, то устройство в скором времени загрязнится.

Основные достоинства кожухотрубчатых теплообменников[9]:

- 1) Давление в трубках может достигать разных значений, от вакуума до наивысших;
- 2) Можно достичь необходимого условия по термическим напряжениям, при этом цена устройства существенно не поменяется;
- 3) Размеры системы тоже могут быть различными: от бытового теплообменника в ванную комнату до промышленного площадью 5000 кв. м;
- 4) Нет необходимости предварительно очищать рабочую среду;
- 5) Для создания сердцевины используют разные материалы, в зависимости от затрат на производство. Однако все они соответствуют требованиям температуры, давления и устойчивости к коррозии;
- 6) Отдельный участок труб можно извлечь для чистки или ремонта.

Основные минусы:

- 1) Большие размеры теплообменника, поэтому он часто требует отдельной комнаты для размещения;
- 2) Высокая стоимость, ввиду большой металлоемкости.

В ходе расчетов, были получены данные, указанные в таблице 1.

Таблица 1. Параметры кожухотрубчатого и пластинчатого теплообменных аппаратов

Параметры	КТО	ПТО
Тепловая нагрузка, кВт	6220	
Площадь теплообмена, м <sup>2</sup>	370	120
Коэффициент теплоотдачи, Вт/м <sup>2</sup> *К	198	795
H <sub>высота</sub> , м	7,0	1,2
D <sub>диаметр</sub> , м	1,2	1,9

Из табличных данных видно, что при одинаковой тепловой нагрузке, кожухотрубчатый теплообменник имеет большую площадь теплообмена и меньший коэффициент теплоотдачи, по сравнению с пластинчатым теплообменным аппаратом. Параметры кожухотрубчатого теплообменника представлены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры кожухотрубчатого теплообменного аппарата

Параметр теплообменника	Значение	Размерность
Поверхность теплообмена	370	м <sup>2</sup>
Высота аппарата	7,0	м
Диаметр аппарата	1,2	м
Число труб	859	шт
Диаметр труб	20*2,5	мм

Параметры пластинчатого теплообменника представлены в таблице 3.

Параметр теплообменника	Значение	Размерность
Поверхность теплообмена	120	м <sup>2</sup>
Высота аппарата	1,2	м
Длина аппарата	1,9	м
Число пластин	120	шт
Эквивалентный диаметр пластин	0,0076	м

## ВЫВОДЫ

1. Пластинчатый теплообменный аппарат имеет меньшую поверхность теплопередачи  $F = 120 \text{ м}^2$ , чем кожухотрубчатый теплообменник  $F = 370 \text{ м}^2$ ;

2. Кожухотрубчатый теплообменный аппарат имеет меньший коэффициент теплоотдачи  $K = 198 \text{ Вт}/(\text{м}^2 * \text{К})$ , по сравнению с пластинчатым теплообменником  $K = 795 \text{ Вт}/(\text{м}^2 * \text{К})$ ;

3. Предложена замена кожухотрубчатого теплообменного аппарата на пластинчатый теплообменник.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Ахметов, С.А. Лекции по технологии глубокой переработки нефти в моторные топлива Учебное пособие. — СПб. Недра, 2007. - 312 С.
- 2 Мановян, А.К. Технология переработки природных энергоносителей: учебник для вузов /А. К. Мановян. М.: Химия, 2004. - 456 С.
- 3 Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты в химической технологии: Учеб. пособие / А.Г. Касаткин. – 9-ое. изд. перепаб. М.: Химия, 1973. - 450 С.
- 4 Лебедев, П. Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки. Учебник для студентов технических вузов. Изд. 2 - е, перераб. М., «Энергия», 1972. - 319 С.
- 5 Борисов, Г. С. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию /Г. С. Борисов и др. Под ред. Ю.И. Дытнерского, 2-ое изд., перераб. и дополн / М.: Химия, 1991. – 496 С.
- 6 Пат. 2697213 Российская федерация. Вертикальный кожухотрубчатый теплообменник / А.Г. Шершевский, Ю.Р. Султанов. Заявка № 2018138913 от 06.11.2018. Оpubл. 13.08.2018. Бюл. № 23.
- 7 Пат. 135099 Российская федерация. Кожухотрубчатый теплообменник / С.А. Скрылев, А.П. Астафьев. Заявка № 2013122982/06 от 20.05.2013. Оpubл. 27.11.2013. Бюл. № 22.
- 8 Пат. 172896 Российская федерация. Пластинчато – ребристый газомасляный теплообменник / Ю.В. Белоусов, Н.Н. Верещагин. Заявка № 2016142528 от 28.10.2016. Оpubл. 31.07.2016. Бюл. № 22.
- 9 Орлов, В.П. Процессы и аппараты химической технологии: справочные материалы: учеб. издание / сост. к.т.н. В.П. Орлов – Екатеринбург: УГЛТУ, 2002. - 121 С.