

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

**Модернизация теплообменного оборудования процесса гидрокрекинга
тяжелых углеводородов**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 431 группы
направления 18.03.01 «Химическая технология»
код и наименование направления, специальности
Института химии

Лобачева Романа Андреевича

Научный руководитель

доцент, к.х.н.

должность, уч. ст., уч. зв.

О.В. Бурухина

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

д.х.н., профессор

должность, уч. ст., уч. зв.

Саратов 2018

ВВЕДЕНИЕ

Темой выпускной квалификационной работы является модернизация теплообменного оборудования процесса гидрокрекинга тяжелых углеводородов.

Актуальность темы обусловлена тем, что гидрокрекинг является важным процессом вторичной нефтепереработки, позволяющим производить с высокими выходами большой ассортимент продуктов: реактивное топливо, бензин, сжиженные газы С3-С4 и компоненты масел.

Целью работы является модернизация установки гидрокрекинга за счет замены теплообменного оборудования.

Каталитический гидрокрекинг нефтяного сырья – это каталитический процесс обработки нефтяных остатков и дистиллятов при повышенном давлении водорода и умеренной температуре на бифункциональных катализаторах, обладающих гидрирующей и кислотной активностью. Гидрокрекинг отличается от гидрообработки тем, что гидрообработка применяется для удаления серосодержащих соединений с минимальным разрывом углерод-углеродных связей, тогда как гидрокрекинг основан на разрыве молекул более тяжелой нефти.

Сыре гидрокрекинга – любое. Ассортимент продуктов определяется технологическими параметрами и составом катализатора.

Технологические параметры и катализатор подбираются для каждого сырья отдельно.

В настоящее время в нефтеперерабатывающей промышленности реализуется несколько направлений процесса гидрокрекинга:

1. Гидрокрекинг бензиновой фракции с целью производства легких изопарафинов, являющихся сырьем для производства синтетического каучука и высокооктановой добавкой к автомобильным бензинам.

2. Селективный гидрокрекинг бензинов с целью увеличения их октанового числа, а также реактивных и дизельных топлив с целью снижения их температуры застывания.

3. Гидродеароматизация прямогонных керосиновых фракций и газойлей каталитического крекинга с целью снижения содержания аренов.

4. Легкий гидрокрекинг с целью облагораживания сырья каталитического крекинга, а также получения дизельной фракции.

5. Гидрокрекинг вакуумных дистиллятов с целью получения основы масел с высоким индексом вязкости и моторных топлив.

6. Гидрокрекинг тяжелых нефтяных остатков с целью получения сырья каталитического крекинга, малосернистого котельного топлива, смазочных масел и моторных топлив.

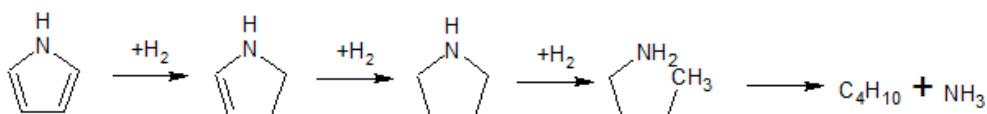
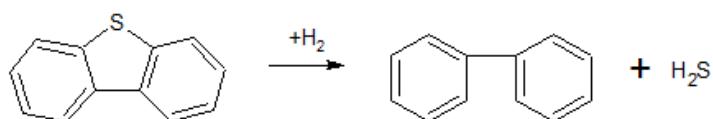
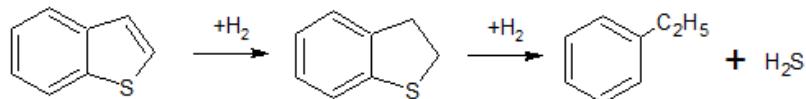
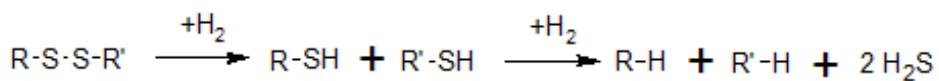
Особенность химизма реакций гидрокрекинга связана с количеством (давлением) водорода в реакторе, а также свойствами и составом используемого катализатора.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

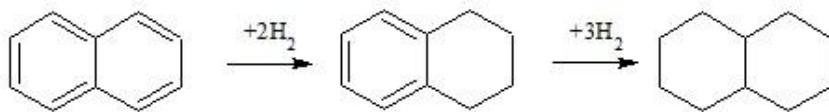
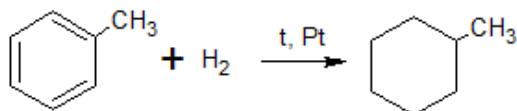
1 Химизм катализитического гидрокрекинга

В процессе гидрокрекинга осуществляются преимущественно следующие реакции:

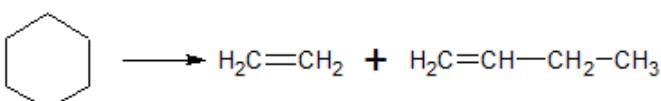
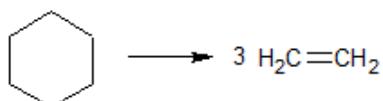
1 Гидрогенолиз гетероорганических соединений:



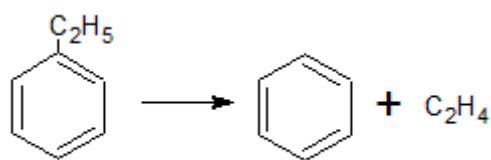
2 Гидрирование ароматических углеводородов:



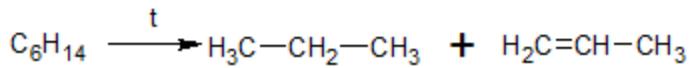
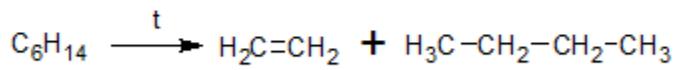
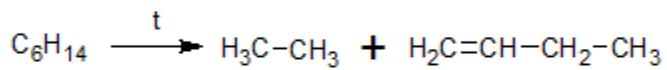
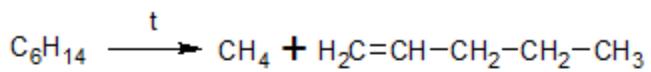
3 Раскрытие нафтеновых колец:



4 Деалкилирование циклических структур:



5 Расщепление парафинов и алкильных цепей:



Порядок, в котором происходят превращения, зависит от условий процесса (то есть кинетических и термодинамических закономерностей), активности применяемого катализатора, природы соединений, энергии разрушаемых химических связей и молекулярной массы веществ.

2 Тепловой и материальный баланс

Материальный баланс установки гидрокрекинга при работе на основном сырье с конверсией 80%:

Таблица 1 – материальный баланс установки

Наименование сырья, продукции	Количество		
	тыс.т год	кг/час	% масс.
Сырье:			
1. Тяжелый вакуумный газойль	2056,92	244872	97,2
2. Подпиточный водород	60,10	7155	2,8
Итого:	2117,03	252027	100
Продукция:			
1. Дизельное топливо	638,61	76024,5	30,2
2. Непревращенный остаток	375,39	44689,5	17,7
3. Керосин	506,00	60238	23,9
4. У/в газ (топливный)	70,97	8449	3,4
5. Тяжелая нафта	321,46	38268,5	15,2
6. Легкая нафта	120,34	14326,5	5,7
7. СУ Г	26,56	3162	1,3
8. Потери	57,70	6869	2,7
Итого:	2117,03	252027	100

Тепловой баланс теплообменника Т-122/1А-3:

Таблица 2 – тепловой баланс

Теплоносители	Количество теплоты, кВт	
	вход	выход
Нагреваемые:		
ВСГ	8,65	19,47
ТВГ	3508,57	7894,27
Греющие:		
Непревращенный остаток	1840,08	946,08
Дизельная фракция	3244,52	1668,17
Керосиновая фракция	1862	957,35
Нестабильная нафта	2513,07	1292,1
Потери:		199,45
Итого:	12976,89	12976,89

Тепловая мощность: $Q = 4068555,7 \text{ ккал/ч} = 4,73 \text{ МВт}$

3 Расчет теплообменника

Коэффициент теплоотдачи рассчитывается из выражения:

$$\alpha = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda}{d}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \quad (1), \text{ где}$$

λ – теплопроводность жидкости, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$

d – диаметр трубопровода, м

Nu – критерий Нуссельта

Критерий Нуссельта для турбулентного режима движения в круглой трубе определяется по выражению:

$$\text{Nu} = 0,021 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,43} \left(\frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_{ct}} \right)^m \quad (2), \text{ где}$$

Re – число Рейнольдса, определяющее режим движения жидкости в трубе (ламинарный или турбулентный). При $Re < 2800$ режим движения ламинарный, при большем значении числа Рейнольдса режим движения считается турбулентным.

Pr – критерий Прандтля, характеризует физические свойства теплоносителя в процессе теплообмена.

$$Re = \frac{W \cdot d}{v}, \text{ где}$$

W – скорость движения жидкости в трубе, м/с

d – диаметр трубопровода, м

v – коэффициент кинематической вязкости жидкости, $\text{м}^2/\text{с}$

$$Pr = \frac{v}{\alpha} = \frac{\mu \cdot c}{\lambda}, \text{ где}$$

$\nu = \frac{\mu}{\rho}$ – кинематическая вязкость жидкости

μ – динамическая вязкость, $\text{Па}\cdot\text{с}$

ρ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$

λ – коэффициент теплопроводности, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{°C}}$

Число Рейнольдса для трубного пространства при $W=1,3$ м/с:

$$Re = \frac{W \cdot d}{v} = 11818$$

Критерий Прандтля:

$$Pr = \frac{v}{\alpha} = \frac{v}{\lambda/(c \cdot \rho)} = \frac{v \cdot c \cdot \rho}{\lambda} = 8$$

Критерий Нуссельта:

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_{ct}} \right)^m = 92,79$$

Коэффициент теплоотдачи внутри трубы α_1 :

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} = 811,9 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{ч}} = 944,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$$

Число Рейнольдса для межтрубного пространства:

$$Re = 3105$$

Критерий Нуссельта:

$$Nu = 101,3$$

Коэффициент теплоотдачи в межтрубном пространстве:

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} = 759,7 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}} = 883,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$$

Рассчитаем коэффициент теплопередачи в теплообменнике:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = 393,7 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{ч}} = 457,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$$

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t} = 328 \text{ м}^2$$

4 Выбор материала для теплообменника

Давление в трубном пространстве составляет 170 кг/см², а в межтрубном 140 кг/см². Среда содержит сернистые соединения, температура стенки около 400 °C. Принимаем для теплообменника хромоникелевую сталь 1X18H10T с допускаемыми напряжениями 11,1 кгс/мм².

Так как коррозия стенки трубы из хромоникелевой стали очень мала, принимаем трубы бесшовные 14x1 мм ГОСТ 8734-75 холоднодеформированные.

Трубы в теплообменнике размещаем в шахматном порядке с шагом $1,5d$ в треугольнике.

5 Повышение эффективности теплообменника

Для повышения эффективности теплообменника выбираем наиболее простой способ интенсификации теплообмена – оребрение поверхности теплообмена продольными ребрами. Так как теплоотдача внутри трубы получилась больше, чем с наружной стороны, то оребряем наружную поверхность труб.

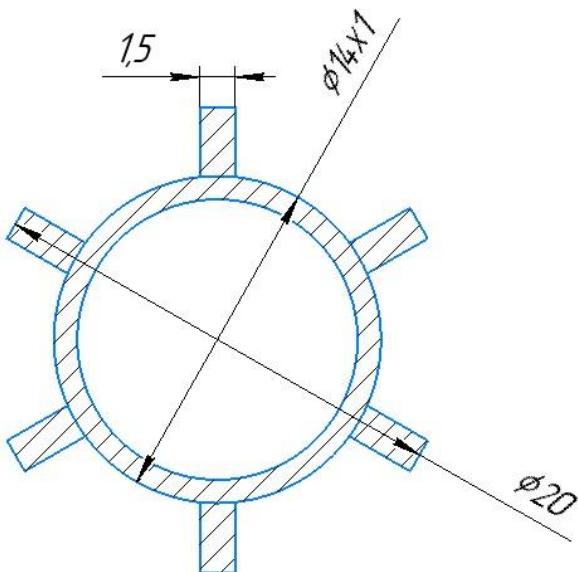


Рисунок 7 – трубка с продольным оребрением наружной поверхности

Коэффициент оребрения трубы:

$$K_{op} = \frac{F_{\text{оребр}}}{F_{\text{неоребр}}} = 1,82$$

При коэффициенте эффективности 0,7 и загрязнении 0,9 получаем эффективную поверхность оребрения:

$$K_{pc} = 1,146$$

Тогда коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_2 = 870,6 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot {}^\circ\text{C}}$$

$$K = 465 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot {}^\circ\text{C}}$$

Поверхность нагрева теплообменника:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t} = 278 \text{ м}^2$$

Таблица 3 – сравнение теплообменников

Характеристика	Установленный теплообменник	Проектируемый теплообменник
$D_{\text{кожуха}}, \text{мм}$	800	800
$d_{\text{труб}}, \text{мм}$	14x1	14x1
$F, \text{м}^2$	328	278
$K, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot {}^\circ\text{C})$	457.8	540.7
$L, \text{м}$	13,54	6.32
$n_{\text{труб}}$	551	551
$\alpha_{\text{труб}}, \text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot {}^\circ\text{C})$	811.9	811.9
$\alpha_{\text{межтруб}}, \text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot {}^\circ\text{C})$	759.7	870.6
материал	1X18H10T	1X18H10T
$P_{\text{труб}}, \text{кг}/\text{см}^2$	170	170
$P_{\text{межтруб}}, \text{кг}/\text{см}^2$	140	140

Как видно из таблицы 3, оребрение поверхности со стороны меньшего коэффициента теплоотдачи увеличивает коэффициент теплопередачи на 18% и позволяет уменьшить площадь поверхности на 20%, при том же диаметре кожуха уменьшается длина теплообменника приблизительно на 7 метров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных расчетов можно сделать следующие выводы:

1. Разработан проект модернизации теплообменного оборудования установки гидрокрекинга.

2. Произведен расчет теплообменника с оребренными трубами. Основные параметры теплообменника:

Диаметр кожуха $D=800$ мм

Диаметр трубок $d=14\times1$ мм

Площадь нагрева $F=278\text{м}^2$

Коэффициент теплопередачи $K=540,7\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

Длина $L=6,32$ м

Материал – нержавеющая сталь 1Х18Н10Т

3. Показана целесообразность замены теплообменного оборудования.

Коэффициент теплоотдачи для межтрубного пространства увеличивается на 15%.