



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

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

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

**Запас мощности теплообменного  
оборудования установки гидрокрекинга**

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

студента 4 курса 431 группы  
направления 18.03.01 «Химическая технология»  
Института химии

Мельникова Дмитрия Олеговича

Научный руководитель  
доцент, к.х.н. О.В. Бурухина

Заведующий кафедрой  
д.х.н., профессор Р.И. Кузьмина

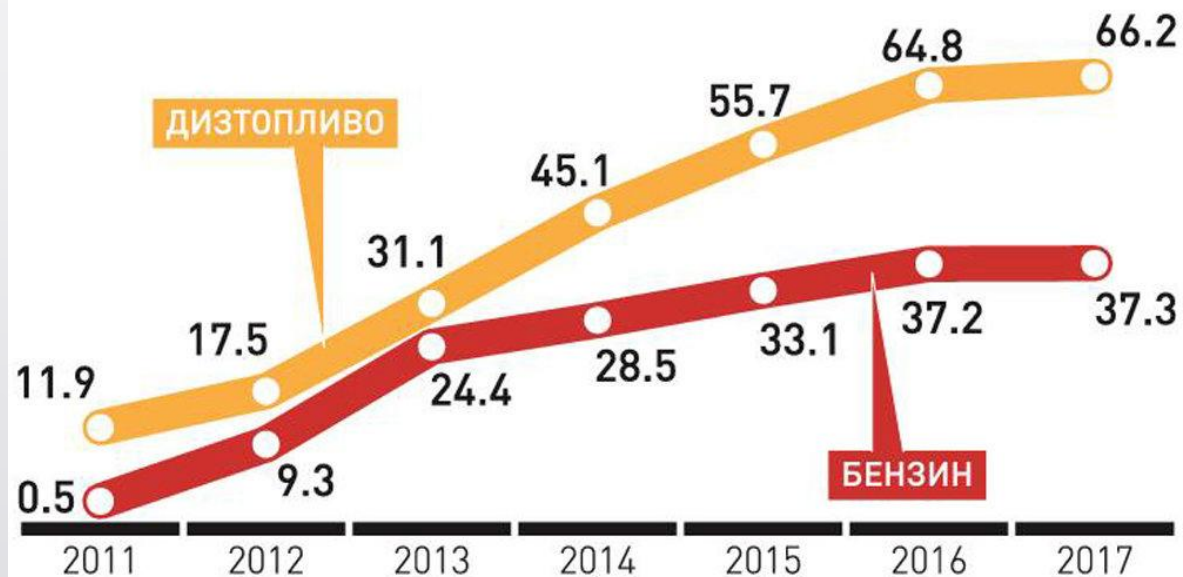
Саратов 2020

## Актуальность исследования

- Гидрокрекинг — это процесс, осуществляемый с целью переработки высококипящих нефтяных фракций для получения моторных топлив. Развитию процессов гидрокрекинга способствует все возрастающая добыча сернистых и высокосернистых нефтей, т.к. данному процессу сопутствует процесс гидроочистки.

**ДИНАМИКА ПРОИЗВОДСТВА В РФ  
БЕНЗИНА И ДИЗТОПЛИВА 5 КЛАССА, МЛН ТОНН**

Источник: Минэнерго России





## Цель и задачи исследования.

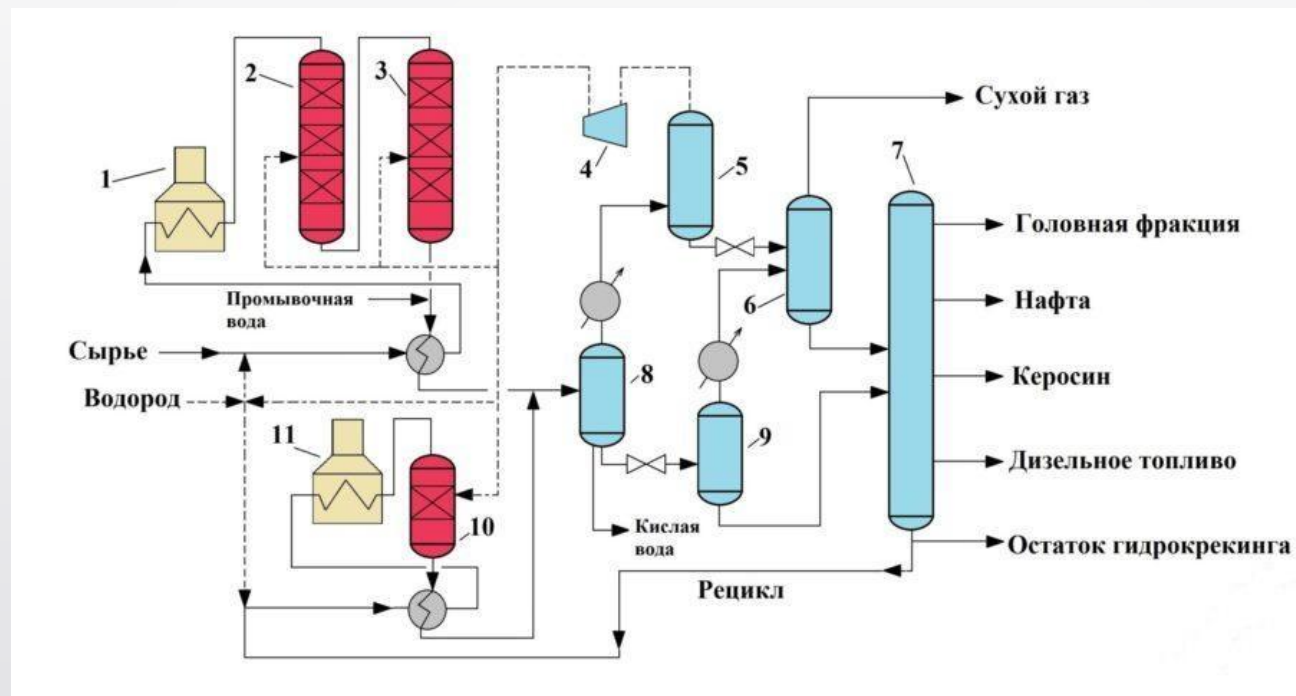
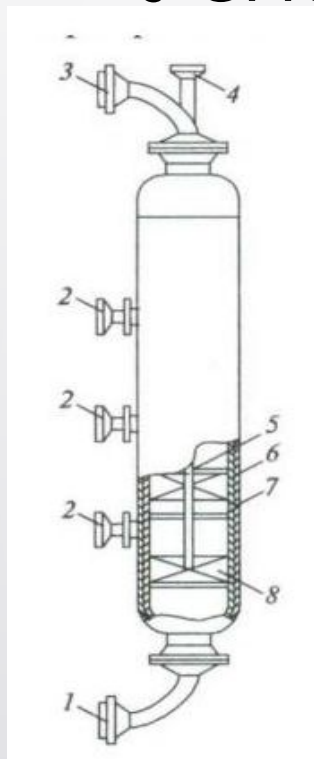
### Цель работы:

- Расчёт запаса мощности теплообменного оборудования реакционного блока установки гидрокрекинга при увеличении мощности на 422 тысячи тонн в год.

### Задачи:

- Расчёт уже имеющегося теплообменника
- Подбор подходящего теплообменника

# Условия процесса гидрокрекинга



- Одностадийный
- Одноступенчатый с рециркуляцией
- Двух стадийный

# Выбор установки и теплообменника

## Установка

Сырье	Основное (100% тяж. вакуумный газойль)
Мощность установки, тыс. тонн/год	2,1
Температура, °C	290-455
Давление, МПа	9-13
Конверсия сырья, %	65
Катализаторы	Окислы никеля (кобальта) и молибдена нанесённые на окись алюминия

## Теплообменник

Тип	Кожухотрубчатый
Диаметра кожуха, $D_{\text{кож'}}$ мм	1000
Длина теплообменной части труб, $L_{\text{тр'}}$ мм	6000
Диаметр труб, $d_{\text{тр'}}$ мм	25
Количество труб, $N_{\text{тр'}}$ шт	292
Поверхность теплообмена, $F$ , м <sup>2</sup>	13753,2
Межтрубное пространство	
Входящая температура теплоносителя $T$ , °C	454
Трубное пространство	
Входящая температура сырья $T$ , °C	427

# Материальный баланс

6

№	Наименование сырья/продукции	Приход			Расход		
		тыс.т/год	кг/час	%масс.	тыс.т/год	кг/час	% масс.
<b>Сырье:</b>							
1.	Тяжелый вакуумный газойль	2056,92	244872	97,5	-	-	-
2.	Подпиточный водород	52,51	6251	2,5	-	-	-
<b>Продукция:</b>							
1.	Дизельное топливо	-	-	-	615,54	73288	29,2
2.	Непревращенный остаток	-	-	-	663,37	78972,5	31,4
3.	Керосин	-	-	-	381,61	45430	18,1
4.	У/в газ (топливный)	-	-	-	70,35	8375	3,3
5.	Тяжелая нефтя	-	-	-	184,49	21962,5	8,7
6.	Легкая нефтя	-	-	-	115,68	13771,5	5,5
7.	СУГ	-	-	-	21,23	2511	1,0
8.	Потери	-	-	-	57,17	6806,5	2,7
<b>Итого:</b>		2109,43	251123	100	2109,43	251123	100

$$G_i = \frac{G * W_i}{100\%}$$

**Тепловая нагрузка с заданным потоком**

$$Q_1 = G_1 * c_1 * (t_{1к} - t_{1н}) = 3321106 \text{ Дж/с}$$

**Тепловая нагрузка после повышения потока на 20%**

$$Q_1 = G_1 * c_1 * (t_{1к} - t_{1н}) = 3985327 \text{ Дж/с}$$

# Расчёт теплообменника

Найдем поверхность теплообмена, воспользовавшись формулой:

$$F = \pi * d_{\text{тр}} * L_{\text{тр}} * N_{\text{тр}} = 137,532 \text{ м}^2$$

Для проверки теплообменника сначала произведём гидравлические расчёты. Сначала найдём среднюю линейную скорость потоков в штуцерах, трубном и межтрубном пространстве, м/с.

$$W = \frac{G}{\rho * S}$$

Скорости нам понадобятся для расчёта гидравлического сопротивления трубного пространства и межтрубного по формуле:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \left[ \lambda \frac{nl_{\text{тр}}}{d_{\text{вн}}} + \sum \zeta_{\text{тр}} \right] \frac{\rho W_{\text{тр}}^2}{2} + \sum \zeta_{\text{шт}} \frac{\rho W_{\text{шт}}^2}{2} = 2040 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{\text{мт}} = \left[ 2(1+k)Eu + \sum \zeta_{\text{мт}} \right] \frac{\rho W_{\text{мт}}^2}{2} + \sum \zeta_{\text{шт}} \frac{\rho W_{\text{шт}}^2}{2} = 22354 \text{ Па}$$

Для нахождения поверхности теплообмена нам необходим коэффициент теплопередачи  $K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{г}}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\gamma_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{х}}}}$

Для этого необходим коэффициент теплоотдачи, который считается по значениям Нуссельта, Рейнольдса и Прандтля.

$$Nu = \frac{\alpha d}{\lambda}$$

Для определения Нуссельта необходимо посчитать Рейнольдса и Прандтля

$$Re_{\text{тр}} = \frac{W_{\text{тр}} d_{\text{вн}} \rho_{\text{тр}}}{\mu_{\text{тр}}} = 118459$$

$$Pr = \frac{c\mu}{\lambda} = 365$$

Учитывая, что значение Рейнольдса больше 10000, то для расчёта Нуссельта воспользуемся формулой:

$$Nu = 0,021 * \varepsilon_l Re^{0,8} Pr^{0,43} \left( \frac{Pr}{Pr_{\text{ст}}} \right)^{0,25} = 261,76$$

Отсюда найдём коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha = \frac{Nu * \lambda}{d} = 1776 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$$

Исходя из этого, значение коэффициента теплопередачи будет равно:  
 $K = 855 \text{ Вт/м}^2\text{К}$

# Расчёт необходимой поверхности теплообменника

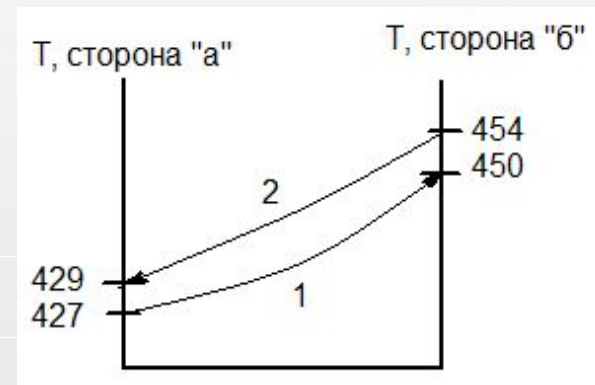
По формуле теплопередачи через стенку найдем поверхность теплообмена:

$$Q_1 = F * K * \Delta t_{cp}$$

$$\Delta t_{cp}$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{t_a - t_b}{\ln \frac{t_a}{t_b}} = 30,9$$

$$F = \frac{Q_1}{K * \Delta t_{cp}} = 152 \text{ м}^2$$



1 - изменение температуры сырья, 2 – изменение температуры теплоносителя.



# Выбор теплообменника и его проверка

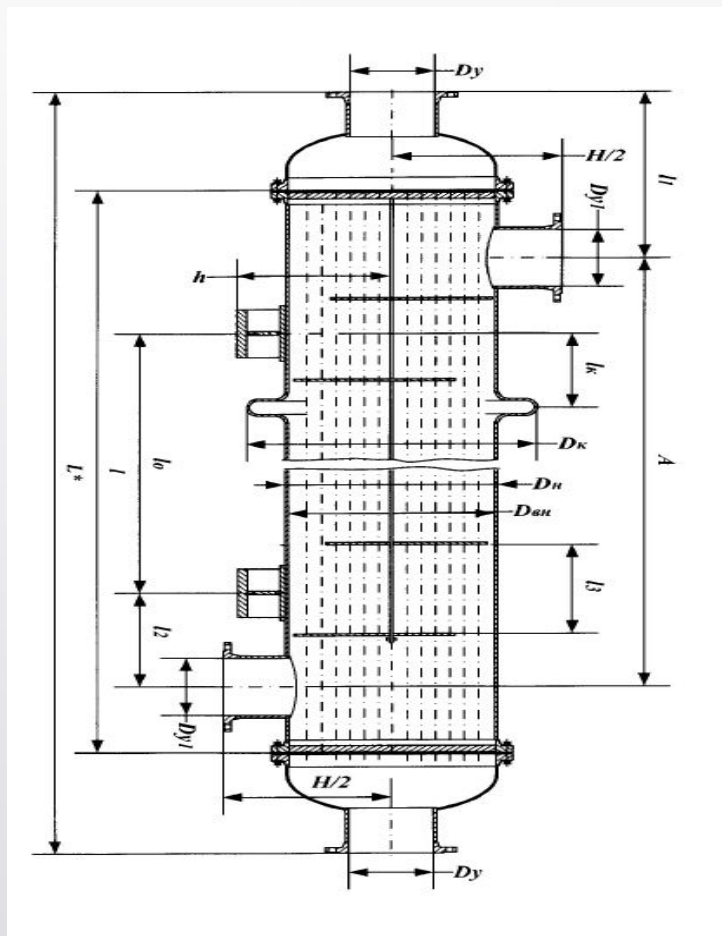


$D_{\text{кож'}}$ мм	Число труб	$L_{\text{тр'}}$ м	$d_{\text{тр'}}$ м	$S_{\text{тр'}}$ м <sup>2</sup>	$S_{\text{мт'}}$ м <sup>2</sup>	Труб в пучке	Расстояние между перегородками
1000	747	3	0,025	0,259	0,143	29	520

Для проверки гидравлического сопротивления высчитывали скорость потоков в трубном, межтрубном пространстве и на штуцерах по формуле

$$W = \frac{G}{\rho S}$$

Значения соответственно были равны: 0,6; 0,9; 0,105, 0,12 м/с





## Заключение

- На основании проведённых расчётов можно сделать следующие выводы:
- Произведён расчёт увеличения мощности установки гидрокрекинга, установлено, что невозможно увеличение мощности работающей установки на 20% (до 2531,3 тыс. тонн в год) без замены теплообменника 039-T-002.
- Гидравлическое сопротивление межтрубного пространства равно 22354 Па, трубного пространства равно 2078 Па, что больше максимально допустимого на 24% и 21% соответственно.
- Расчётная площадь поверхности теплопередачи необходимое для нагрева до нужной температуры равна 152 м<sup>2</sup>, что больше поверхности, которую имеет теплообменник на 11%.