

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 возможности увеличения мощности на установке гидроочистки  
дизельного топлива Л-24-6.**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

Студента (ки) 4 курса 431 группы

направления 18.03.01 «Химическая технология»  
код и наименование направления

Института химии

наименование факультета

Фокеевой Анастасии Сергеевны

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

ассистент

должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_  
дата, подпись

Е.И. Линькова

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой:

д.х.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_  
дата, подпись

Р. И. Кузьмина

инициалы, фамилия

Саратов 2021

## Введение

Российская нефтеперерабатывающая промышленность по валовому объёму является одной из крупнейших в мире. Задачей, стоящей перед российской нефтепереработкой, является – увеличение глубины переработки нефти и получение более высоких показателей по доле выхода светлых нефтепродуктов.

Одним из самых важных процессов нефтепереработки является гидроочистка моторных топлив. Добываемая нефть содержит огромное количество нежелательных примесей, которые попадают в продукты переработки, что приводит к негативным последствиям: снижению качества нефтепродуктов, ухудшению эксплуатационных характеристик оборудования, отравлению катализаторов и т.д. Помимо этого, с каждым годом ужесточаются экологические нормы, которые требуют значительного снижения содержания сернистых соединений в товарных продуктах. Процессу подвергают прямогонные фракции: дизельное топливо, реактивное топливо, бензин, вакуумные газойли, и продукты вторичной переработки: пиролизная смола, лёгкие газойли коксования и бензины каталитического крекинга. Гидроочистка — процесс облагораживания сырья на активной поверхности стационарного катализатора, в присутствии водорода, в котором 97–99 (% масс.) исходного сырья превращается в очищенный продукт.

Используя процесс гидроочистки с более жёсткими условиями для дизельного топлива можно добиться, при температурах 280-400°C и давлении 3-7 МПа, существенного снижения содержания серы в товарном продукте. Также повысить эффективность процесса позволяет выбор нового, подходящего к данному типу сырья, катализатора.

Вопросы, связанные с очисткой дизельной фракции, становятся всё более актуальны, так как увеличивается доля переработки тяжёлых и высокопарафинистых нефтей. Содержание серы и ее соединений влечет за собой несколько проблем. Во-первых, меркаптан, элементарная сера и другие

её соединения являются источником появления сильной коррозии оборудования. Во-вторых, сернистые соединения, присутствующие в топливе, в разы повышают общую токсичность газов, управление составом отработавших газов усложняется пропорционально. Также снижается эффективность антидетонаторов, теряется антиокислительная стабильность, увеличивается смолообразование.

Целью данной дипломной работы является: расчёт возможности усовершенствования установки Л-24-6 путём увеличения её мощности по сырью до 2400 тыс.тонн/год по средствам расчёта и внедрения нового реактора.

## Основное содержание работы

Гидроочистка (гидрообессеривание, гидрооблагораживание) — одноступенчатый процесс облагораживания сырья в среде водородсодержащего газа (ВСГ) на поверхности катализатора (чаще алюмокобальтмолибденовый или алюмоникельмолибденовый). Основным отличием от остальных гидрогенизационных процессов является то, что гидроочистку проводят в достаточно мягких условиях, благодаря этому превращение затрагивает в основном гетероэлементы без видимой деструкции сырья. Процесс проводят при оптимальных условиях: температуре 280-420°C, давлении 3-5 МПа и объёмной скорости подачи сырья 1,5-5 час<sup>-1</sup>.

В процессе гидрообессеривания осуществляется разделение сераорганических, кислород- и азотсодержащих соединений. После чего продукты разложения насыщаются водородом с образованием простых соединений - сероводорода, воды, аммиака, предельных и ароматических углеводородов.

Сернистые соединения, входящие в состав нефтяных фракций, и в состав дизельных и керосиновой фракций, являются сложными смесями, состоящими из меркаптанов, сульфидов (с открытой цепью и циклических), дисульфидов и гетероциклических соединений.

Энергии связей в молекулах углеводородов, сернистых соединений, соединений, содержащих кислород, азот (ккал/моль):

C–C - 86;

S–S - 70;

C=C - 120;

C–O - 90;

C–S - 72.

Прочность связей в молекулах углеводородов этих соединений в присутствии катализатора (в переходном комплексе) резко меняется.

Так, на никелевом катализаторе энергия разрыва связей составляет (ккал/моль):

C–C - 48,8;

C–N - 26,0;

C–S - 5,0.

Превращение указанных веществ, происходит на гидрирующих катализаторах. Металлические примеси отлагаются на катализаторе гидроочистки.

### **Общая характеристика установки Л-24-6**

Установка гидроочистки Л-24-6 предназначена для повышения качества дизельных фракций с установки ЭЛОУ-АВТ-6, путем каталитического гидрирования сернистых, азотистых, непредельных и кислородсодержащих соединений с целью получения дизельных топлив соответствующих требованиям ГОСТ.

Установка Л-24-6 состоит из двух параллельных потоков, которые работают независимо друг от друга, что дает возможность использования разного сырья и производства разной продукции в одно и то же время.

Поток состоит из:

1. Реакторный блок.

Блок предназначен для гидрирования серо-, кислород-, азот-, содержащих и непредельных соединений с получением нестабильного гидрогенизата. Процесс проходит на катализаторе, в среде водорода, при повышенных температурах и давлении.

Конструкция реактора обладает минимальным гидравлическим сопротивлением, обеспечивая равномерное распределение газо-сырьевого потока по всему реакционному объёму. На отечественных установках гидроочистки дизельных топлив используются реакторы с аксиальным

вводом ГСС. Данный реактор, изображённый на рисунке 1, представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат, диаметр и высота которого зависят от мощности установки, а также технологической схемы процесса и могут находиться в следующих пределах:

- диаметр 1400 – 3200 мм;

- высота 6000 – 24000 мм.

Корпус и днище реактора выполняются из двухслойной стали: 12ХМ и 10Х18Н10Т. Катализатор загружают в два слоя. Газо-сырьевой поток направляют аксиально сверху вниз.

## 2. Блок стабилизации.

Данный блок предназначен для выделения из нестабильного гидрогенизата сероводорода, воды аммиака, углеводородного газа и бензина с получением стабильного нефтепродукта.

## 3. Блок очистки газов и регенерации моноэтаноламина (МЭА).

Здесь происходит выделение сероводорода из газов, с получением очищенных газов и сероводорода – сырья установки получения элементарной серы. В технологической схеме установки блок очистки углеводородных газов и регенерации абсорбента (МЭА) является общим для обоих потоков.

Проектная мощность установки Л-24-6 – 900 тыс тонн/год. В процессе эксплуатации установки с 1970 года были разработаны и внедрены мероприятия по модернизации и интенсификации установки с доведением мощности до 2,2 млн. тонн/год.

На установке гидроочистки Л-24-6 могут перерабатываться следующие виды дистиллятов:

- прямогонная дизельная фракция, выкипающая в пределах 180–360°C (на одном или обоих блоках установки) с получением дизельных топлив летних и зимних марок;

- прямогонная дизельная фракция, выкипающая в пределах 240–360°C (на одном или обоих блоках установки) с получением дизельного топлива летней марки, и компонента печного бытового топлива;

В качестве компонента сырья на установке Л-24-6 используется стабильный бензин висбрекинга, выкипающий в пределах 35–195°C.

#### 4. Технологический расчёт реактора

##### Исходные данные:

Производительность установки по сырью  $G_r = 2,4$  млн. т/год

Характеристика сырья:

- фракционный состав 200–350°C;
- плотность  $\rho_c = 810$  кг/м<sup>3</sup>;
- содержание серы  $S_o = 0,376$  (%масс.);
- в том числе меркоптановой  $S_m = 0,023$  (%масс.);
- сульфидной  $S_c = 0,053$  (%масс.);
- дисульфидной  $S_d = 0,2$  (%масс.);
- тиофеновой  $S_t = 0,1$  (% масс.);
- содержание непредельных углеводородов 5 (%масс.) на сырье.

Остаточное содержание серы в очищенном дизельном топливе  $S_k = 0,05$  (%масс.), т.е. глубина гидрообессеривания должна быть 94%.

Гидроочистка производится на алюмоникелькобальтмолибденовом катализаторе  $P = 4$  МПа, кратность циркуляции ВСГ к сырью 400 нм<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>

### Материальный баланс реактора:

Таблица 1 – Материальный баланс

Наименование продукта	Выход (% масс.)	кг/час	Наименование продукта	Выход (%масс.)	кг/час
Взято:			Получено		
1. Сырье (диз. топ.)	100,0	298508	1.Диз. топливо	96	286552
2. Свежий ВСГ	1,17	3492	2.Бензин-отгон	1,04	3105
3. ЦВСГ	18,52	55281	3.Углекислый газ	2,9	8656
			4.Сероводород	0,8	2388
			5.ЦВСГ	18,52	55281
			6.Потери	0,43	1283
Итого:	119,69	357265	Итого:	119,69	357265

### Тепловой баланс реактора:

Таблица 2 – Теплоёмкость отдельных компонентов с учётом поправок на температуру и давление, кДж/(кг·К)

Теплоемкость	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
C <sub>p</sub> , кДж/(кг·К)	14,57	3,35	3,29	3,23	3,18
C <sub>p</sub> , ккал/(кг·°С)	3,48	0,800	0,786	0,772	0,760

Энтальпия сырья с поправкой на давление равна:

$$J^{400} = 1180 - 177,1 = 1002,9 \text{ кДж/кг.} \quad (1)$$

Теплоемкость сырья с поправкой на давление:

$$C_c = \frac{1002,9}{400} = 2,51 \frac{\text{кДж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})} \quad (2)$$

Средняя теплоемкость реакционной смеси составляет:

$$\bar{C} = C_c \cdot 100 + C_u = \frac{17,44}{117,44} = \frac{2,51 \cdot 100 + 4,92 \cdot 17,44}{117,44} = 2,87 \frac{\text{кДж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})} \quad (3)$$



Находим температуру на выходе из реактора:

$$T = \frac{400 + (Q_s + Q_n)}{(117,44 \cdot C)}; T = 400 + \frac{(3826 + 3553,1)}{117,44 \cdot 2,87} = 419^\circ\text{C} \quad (4)$$

### Размеры реактора:

Требуемый объем катализатора в реакторе  $V_k$  вычисляют по формуле:

$$V_k = G \int_{0,05}^{0,9} \frac{dS}{r} = 337,8 \cdot 0,5580 = 188,5 \text{ м}^3 \text{ на 2 блока.} \quad (5)$$

Переводим кг/ч в м<sup>3</sup>/ч, значение  $G'$ :

$$G' = \frac{G}{P} = \frac{298508}{810} = 368,5 \text{ м}^3 / \text{ч} \quad (6)$$

Обычно для характеристики процесса применяют показатель – объёмную скорость подачи сырья, т.е. отношение объёма жидкого сырья, подаваемого на объём катализатора в час (ч<sup>-1</sup>).

$$\omega = \frac{G'}{V} = \frac{368,5}{188,5} = 1,96 \text{ ч}^{-1}, \quad (7)$$

$$V_p = \pi D^2 H = \pi D^2 2D = 2\pi D^3 \quad (8)$$

Диаметр реактора равен:

$$D = [V_k \div (2\pi)]^{1/3} = [188,5 \div (2\pi)]^{1/3} = 3,1 \quad (9)$$

Высота слоя катализатора составляет:

$$H = 2D = 6,2 \text{ м.} \quad (10)$$

Реактор заполняют катализатором на 2/3 высоты цилиндрической части аппарата. Из чего следует:

$$h_{\text{цил}} = \frac{H \cdot 2}{3} = \frac{6,2 \cdot 2}{3} = 4,1 \text{ м.} \quad (11)$$

А общая высота реактора составляет:

$$H_{\text{общ}} = h_{\text{цил}} + 2 \times h_{\text{дн}}, \quad (12)$$

где:  $h_{\text{дн}} = \frac{1}{2} D$ , т.е. высота верхнего и нижнего днища. Следовательно:

$$H_{\text{общ}} = h_{\text{цил}} + D = 9,3 + 3,1 = 12,4 \text{ м.} \quad (13)$$

Затем определяют диаметр штуцеров, и по соответствующим нормам выбирают их размер.

Приемлемость принятой формулы реактора дополнительно проверяется гидравлическим расчетом реактора. Потеря напора в слое катализатора не должна превышать 0,2–0,3 МПа. Потеря напора соответственно равна:

$$\Delta P = 4,4 \cdot 1738,2 = 7648,1 \text{ кг/м}^2 \text{ или } 0,075 \text{ МПа.} \quad (14)$$

## 5. Экономическая часть

Расчета экономической эффективности.

Основными показателями эффективности внедрения нового аппарата являются:

- 1) годовой экономический эффект от внедрения нового аппарата;
- 2) эффективность единовременных затрат на введение нового аппарата;
- 3) срок окупаемости затрат.

Экономический эффект - это разница приведённых затрат до внедрения и после внедрения нового аппарата. Этот эффект достигается путём повышения производительности установки гидроочистки с 2,2 млн т/год до 2,4 млн т/год.

Годовой эффект от повышения производительности установки определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = \Delta P \cdot P_{\text{ч}} = (2,4 - 2,2) \cdot 10^6 \cdot 12500 = 2500000000 \text{ руб/год} \quad (15)$$

где  $\Delta P$  — повышение производительности установки, т/год;  $P_{ч}$  — чистая прибыль, руб/т.

Относительным показателем экономической эффективности является рентабельность. Коэффициент рентабельности рассчитывается как отношение прибыли к активам, ресурсам или потокам, её формирующим.

$$E = \frac{\mathcal{E}}{\Sigma K} = \frac{2500000}{4000000} = 0,625, \quad (16)$$

где  $E$  — эффективность,  $\mathcal{E}$  — эффект (прибыль),  $\Sigma K$  — капитальные затраты.

Срок окупаемости проекта:

$$T = \frac{4000000}{2500000} = 1,6 \text{ года} . \quad (17)$$

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Проведена технико-экономическая оценка действующей установки Л-24-6 производства дизельного топлива соответствующего стандарту Евро-5.

2. Показано, что при гидроочистке дизельной фракции 200-350 °С содержащей 0,376 (%масс) серы при объёмной скорости подачи сырья 1,8 ч<sup>-1</sup> необходимо 205,6 м<sup>3</sup> катализатора.

3. Рассчитаны материальный и тепловой балансы, размеры реактора аксиального типа: диаметр (3,2 м), общая высота реактора (12,8 м).

4. Рассчитанный реактор возможен к применению.

5. Экономическая оценка показала, что окупаемость проекта модернизации установки Л-24-6 составляет 1,6 года. Что показывает экономическую целесообразность проекта.