

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

Оптимизация процесса гидрокрекинга вакуумного газойля

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 431 группы

направления 18.03.01 «Химическая технология»

код и наименование направления, специальности

Института химии

Балабонина Глеба Сергеевича

Научный руководитель

ассистент

должность, уч. ст., уч. зв.

подпись, дата

Е.И. Линькова

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

профессор, д.х.н.

должность, уч. ст., уч. зв.

подпись, дата

Р.И. Кузьмина

инициалы, фамилия

Саратов 2023 год

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на нефтеперерабатывающих заводах гидрогенизационные процессы получают все большее распространение.

Отличительная особенность данной отрасли заключается в следующем: низкий уровень качества продукции по сравнению с показателями, определенными стратегическими целями государства, а также с мировыми стандартами, как следствие низкой глубины переработки [1].

С каждым годом увеличивается спрос на высококачественные нефтепродукты (керосин, дизель, бензин), при этом уровень добычи нефти снижается, но затраты на добычу и транспортировку растут.

В ближайшем будущем в связи со снижением запасов легкой нефти добываемая нефть будет все тяжелее по составу. При этом данная нефть будет иметь высокие значения плотности и вязкости, высокое содержание гетеропримесей, включающие в себя серу, азот, металлы, тем самым осложняя ее переработку в ценные товарные нефтепродукты с высокой добавленной стоимостью.

В связи с снижением запасов легких нефтей необходимо вводить в производство тяжелые и битумные нефти [2]. Это требует от нефтеперерабатывающих заводов реализации мероприятий по усовершенствованию и модернизации производственных мощностей глубокой переработки нефти. Одним из таких процессов является гидрокрекинг, который позволяет получать светлые нефтепродукты из тяжелых фракций нефти. Внедрение этого процесса осуществляется на нефтеперерабатывающих заводах.

Трудность в исследовании данного процесса является недостаточность информации в области термодинамики и кинетики протекающих реакций, что связано с многообразием веществ входящих в состав перерабатываемых фракций, параметров процесса, механизмом падения активности катализатора.

Целью работы является исследование процесса каталитического гидрокрекинга вакуумного газойля.

Задачи работы включают:

1. Рассмотрение группового состава сырья и продуктов, катализаторов гидрокрекинга, актуального промышленного оформления процесса;
2. Выбор конструкции реактора и катализатора с высокой механической прочностью и выходом целевых продуктов;
3. Выполнить технологический расчет выбранного реактора.

## Основное содержание работы

Гидрокрекинг – процесс переработки нефтяных дистиллятов и нефтяных остатков при умеренных температурах и повышенном давлении водорода на полифункциональных катализаторах, обладающих гидрирующей и изомеризирующей активностью [3].

Использование гидрокрекинга является одним из экономически эффективных, гибких, и наиболее углубляющих нефтепереработку процессов. Самый применяемый вид сырья в гидрокрекинге - легкий и тяжелый ВГО, однако, помимо этого, могут также использоваться и продукты вторичных процессов такие как тяжелые фракции коксования и каталитического крекинга

Хотя число возможных реакций и комбинаций, которые могут происходить в процессе гидрокрекинга, практически бесконечно, в целом их можно разделить на следующие категории:

- гидрокрекинг (разрыв  $-C-C-$  связи с образованием соединений меньшей молекулярной массы);
- гидродеалкилирование ароматических колец (отщепление алифатического радикала от бензольного кольца);
- гидродециклизация или раскрытие цикла (разрыв связей в циклических алифатических соединениях);
- гидрогенолиз гетероатомных соединений (удаление серы, азота, кислорода, металлов);
- насыщение непредельных и ароматических соединений;
- изомеризация парафинов и алифатических радикалов циклических нафтеновых и ароматических соединений;
- разложение металлоорганических соединений [4].

Выбор катализатора зависит от свойств и состава сырья, размера и типа установки.

Катализаторы состоят из следующих трех компонентов: кислотного, дегидро-гидрирующего и связующего, который обеспечивает механическую прочность и пористую структуру.

В качестве гидрирующего компонента чаще всего применяются металлы, входящие в состав катализаторов гидроочистки: металлы VIII (Ni, Co, иногда Pt или Pd) и VI групп (Mo или W). Для активации катализаторов гидрокрекинга используются разнообразные промоторы, например: рений, родий, иридий, редкоземельные элементы и др. Функции связующего вещества обычно выполняет кислотный компонент (оксид алюминия, алюмосиликаты), а также оксиды кремния, титана, циркония, магний- и цирконийселикаты [5].

Катализатор гидрокрекинга вакуумного газойля ориентирован на получение низкосернистых среднестиллятных фракций [6].

Полученный катализатор, прокаленный при 550°C, соответствует содержанию в катализаторе: WO<sub>3</sub> – 19,3 % масс.; NiO – 3,0% масс; аморфный алюмосиликат - 54,4% масс; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - остальное.

Исходный состав носителя и введение в состав пропиточного раствора смеси органических кислот оказывает влияние на механическую прочность гранул конечного катализатора, на его пористость, удельную поверхность и на активность. Катализатор обладает механической прочностью на раздавливание 2,02-2,11 кг/мм<sup>2</sup> и высокой активностью с получением содержания серы в остаточной фракции 0,0072-0,0341 масс. % и выход дизельного топлива 54% масс.

В общем случае на процесс гидрокрекинга оказывают существенное влияние следующие технологические параметры: температура, давление, кратность циркуляции водородсодержащего газа, объемная скорость.

Одноступенчатый процесс гидрокрекинга вакуумных дистиллятов проводится в многослойном (до пяти слоев) реакторе с несколькими разновидностями катализаторов. Так как реакция гидрокрекинга экзотермична, для контроля процесса нужно, чтобы разность температур в каждом слое не превышала 10-15°C, для достижения этого между слоями катализатора подается охлаждающий ВСГ (квенч). Для равномерного распределения газожидкостного потока установлены контактно-распределительные устройства, тем самым обеспечивается тепло- и массообмен между газом и реагирующим потоком. В

верхней части реактора для гашения кинетической энергии потока и улавливания продуктов коррозии установлены сетчатые коробки и фильтры [7].

### **Материальный баланс реактора гидрокрекинга**

Исходные данные:

1. Производительность установки по сырью – 1,1 млн.т/год. Рабочий цикл составляет 340 дней.

2. Сырье является прямогонный вакуумный газойль 350 - 500°C.

3. Содержание гетеропримесей в сырье, % масс.:

- общей серы 2,4;

- меркаптановой 0,1;

- сульфидной 1,0;

- дисульфидной 0,3;

- тиофеновой 1,0;

- азота 0,1.

4. Содержание ароматических углеводородов – 50% масс.

5. Учет серы, содержащийся в остатке, не ведем, так как влияние на материальный и тепловой балансы незначительно.

6. Параметры проведения процесса

- Давление, МПа            10

- Температура на входе в реактор, °C            370

- Температура на выходе из реактора, °C    400

- Объемная скорость подачи сырья, ч<sup>-1</sup>    0,8

- Кратность циркуляции ВСГ 1000

- Коэффициент рециркуляции тяжелого газойля по отношению к балансовому тяжелому газойлю    1,0

- Глубина крекинга сырья    80% масс.

- Глубина гидрирования аренов сырья    80% масс.

Таблица 1- Материальный баланс реактор гидрокрекинга

| <b>Приход</b>            |                  |            |           |       |
|--------------------------|------------------|------------|-----------|-------|
| Компоненты               | % масс. на сырье | т/год      | кг/ч      | кг/с  |
| Вакуумный газойль        | 100,00           | 1100000,00 | 134803,90 | 37,45 |
| СВСГ                     | 2,51             | 27609,92   | 3383,94   | 0,94  |
| ЦВСГ                     | 14,86            | 163603,90  | 20051,96  | 5,57  |
| Рециркулят               | 20,00            | 219999,00  | 26963,97  | 7,49  |
| Итого                    | 137,37           | 1511212,82 | 185203,77 | 51,45 |
| <b>Расход</b>            |                  |            |           |       |
| Углеводородные газы      | 2,84             | 31134,18   | 3815,46   | 1,06  |
| Бензин                   | 23,00            | 252896,00  | 30992,16  | 8,61  |
| Дизельная фракция        | 54,00            | 593910,20  | 72780,77  | 20,22 |
| Балансовый остаток ГК    | 20,00            | 219999,00  | 26963,97  | 7,49  |
| Циркулирующий остаток ГК | 20,00            | 219999,00  | 26963,97  | 7,49  |
| Сероводород              | 2,55             | 28196,54   | 3455,46   | 0,96  |
| Аммиак                   | 0,12             | 1469,00    | 180,02    | 0,05  |
| ЦВСГ                     | 14,86            | 163603,90  | 20051,96  | 5,57  |
| Итого                    | 137,37           | 1511212,82 | 185203,77 | 51,45 |

### **Тепловой баланс реактора**

Для поддержания температуры на выходе из реактора не выше 673 К требуется подавать в межслойные зоны холодный квенч ЦВСГ 50°C в количестве: 4,78 кг/с.

## **Определение основных размеров реактора гидрокрекинга**

Исходя из расчетов определены геометрические размеры и тип реактора:

- Тип реактора    Аксиальный
- Диаметр реактора     $D = 3,4$  м
- Общая высота реактора     $H = 26$  м
- Высота слоя катализатора     $h_k = 17,7$  м
- Высота цилиндрической части     $h_{ц} = 22,7$  м

### **Гидравлический расчет**

$$\Delta P = 0,13 \text{ МПа.}$$

Потеря напора давления в реакторе не превышает предельно допустимых 0,3 МПа. Из этого можно сделать вывод, что габариты реактора выбраны верно, в пределах допустимых значений потерь напора.

### **Механический расчет**

В результате механического принята исполнительная толщина обечайки, равная 170 мм, которая обеспечивает надёжность конструкции.

В результате расчетов принята исполнительная толщина стенки днища и крышки, равная 170 мм, что обеспечивает надёжность конструкции.

## ВЫВОДЫ

1. В работе рассмотрено современное оформление процесса гидрокрекинга. Приведены основные химические реакции, технологические параметры процесса, современные катализаторы.
2. На основе анализа научно-технической и патентной литературы принят многосекционный реактор аксиального типа со стационарным слоем катализатора и никельвольфрамосиликатный катализатор, обладающий высокой механической прочностью и обеспечивающий высокий (54 % масс.) выход дизельной фракции.
3. В ходе работы проведен расчет материального и теплового баланса реактора гидрокрекинга аксиального типа производительностью 1,1 млн. т/год. Определены геометрические размеры политропического реактора: диаметр  $D = 3,4$  м; общая высота  $H = 26$  м.
4. Показано на основе гидравлического расчета, что потеря напора давления в реакторе составляет  $\Delta P = 0,13$  МПа и не превышает предельно допустимых 0,3 МПа.
5. В результате механического расчета определена толщина обечайки  $S=170$  мм, крышки и днища  $S=170$  мм, что обеспечивает надежность конструкции. Показано, что реактор удовлетворяет условиям устойчивости и прочности.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Маков, В.М. Анализ состояния нефтеперерабатывающей промышленности Российской Федерации // Вестник экономики и менеджмента. - 2017. - № 2(8). - С. 58-67.
- 2 Зырянова, И.В., Назарова, Г.Ю. Определение группового состава вакуумного газойля // Проблемы геологии и освоения недр. Труды XVII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 155-летию со дня рождения академика В.А. Обручева и 135-летию академика М.А. Усова, основателей Сибирской горногеологической школы и 110-летию первого выпуска горных инженеров в Сибири. Том X: 116 Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2018. – 401 с.
- 3 Ахметов, С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа: Учебное пособие для вузов. Уфа: Гилем, 2002. - 672 с.
- 4 Козин В.Г., Современные технологии производства компонентов моторных топлив. – Казань, 2008. – 328 с.
- 5 Казаков, М.О., Надеина, К.А., Климов, О.В., Дик, П.П., Корякина, Г.И., Перейма, В.Ю., Сорокина, Т.П., Доронин, В.П., Князева, Е.Е., Иванова, И.И., Носков, А.С., Головачев, В.А., Кондрашев, Д.О., Клейменов, А.В., Ведерников, О.С., Храпов, Д.В., Панов, А.В. Разработка новых отечественных катализаторов глубокой гидропереработки вакуумного газойля // Катализ в промышленности. - 2016. - №16(6). - С. 85-93.
- 6 Пат. 2 671 851 С1 Российская федерация. Способ получения Ni-W катализатора гидрокрекинга углеводородного сырья / Бодрый, А.Б., Усманов И.Ф., Рахматуллин Э.М., Тагиров А.Ш. – Заявка № 2018117796 от 14.05.2018; опубл. 07.11.2018, Бюл. № 31.
- 7 Кузьмина, Р. И., Ливенцев, В. Т., Аниськова, Т. В., Ромаденкина, С. Б. Гидрокрекинг – процесс глубокой переработки нефтяных остатков. Учебное пособие для студентов Института химии. – Саратов: Амирит, 2019. – 79 с.