

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

**Преимущество технологии гидрокрекинга над процессом  
замедленного коксования**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки \_\_\_\_\_ 4 \_\_\_\_\_ курса \_\_\_\_\_ 431 группы \_\_\_\_\_

направления \_\_\_\_\_ 18.03.01 «Химическая технология» \_\_\_\_\_

код и наименование направления, специальности

Института химии

Дашкиной Алсу Алиевны

Научный руководитель

доцент, к.х.н., доцент

должность, уч. ст., уч. зв.

\_\_\_\_\_

подпись, дата

С.Б. Ромаденкина

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

д.х.н., профессор

должность, уч. ст., уч. зв.

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Р.И. Кузьмина

инициалы, фамилия

Саратов 2020 год

**Введение.** Бакалаврская работа Дашкиной А.А. посвящена изучению влияния параметров процессов гидрокрекинга и замедленного коксования на количественный выход продуктов. Актуальной проблемой нефтеперерабатывающей промышленности является повышение глубины переработки нефти. Требования по качеству нефтепродуктов и контролю экологической безопасности производства ужесточаются, в связи с чем возникает проблема недостаточной глубины переработки сырья и получения из него максимального количества полезных продуктов. Для этого нефтеперерабатывающим предприятиям необходима постоянная модернизация, внедрение новых технологий и процессов, которые будут способствовать решению технологических и экономических задач.

Существует потребность рационализации и углубления процессов вторичной переработки твердых нефтяных остатков, потому как использование их в качестве котельных топлив, применение в качестве сырья битумных производств и т. д. теряет свою востребованность из-за повсеместной газификации энергоустановок, ужесточения экологического контроля, тенденций к организации безотходных производств.

Глубина переработки нефти на российских НПЗ в 2018 году достигла 83%, что является рекордным для России, в то время как в европейских странах и США этот показатель близок к 96%. В основе последующего увеличения глубины переработки сырья до 85 – 90% – внедрение эффективных методов переработки тяжелых остатков и гудрона, содержащих гетероатомные соединения и минеральные компоненты нефти. Среди существующих методов переработки тяжелых нефтяных остатков можно выделить гидрокрекинг, коксование, висбрекинг, деасфальтизацию и другие.

При разработке проекта НПЗ необходимо грамотно подходить к выбору процессов переработки сырья для того, чтобы реализовать максимально эффективное, экологически безопасное и экономически оправданное производство.

Целью работы является изучение влияния параметров процессов гидрокрекинга и замедленного коксования гудрона на количественный выход продуктов.

Выпускная квалификационная работа Дашкиной Алсу Алиевны «Преимущество технологии гидрокрекинг над процессом замедленного коксования» содержит 50 страниц, 6 рисунков, 9 таблиц и 2 чертежа и состоит из двух глав: «Литературный обзор» и «Расчетная часть».

**Основное содержание работы.** Первая глава бакалаврской работы посвящена поиску и анализу литературных данных о процессах замедленного коксования и гидрокрекинга.

Замедленное коксование применяется для эффективной переработки нефти и тяжелых нефтяных остатков. Целевым продуктом данного процесса является крупнокусковой кокс, некоторое количество газа, дистиллятных фракций и тяжелого газойля.

Гидрокрекинг – это процесс гидрокаталитической переработки остатков, позволяющий получать широкий ассортимент востребованных продуктов высокого качества: дизельное топливо с высоким цетановым числом и низким содержанием серы, керосиновую фракцию, которая представляет собой реактивное топливо, легкий бензин, тяжелый бензин – сырье установок риформинга, и газ, пригодный к использованию в качестве сырья не только для нефтяной промышленности, но и для нефтехимического синтеза. Процесс позволяет снизить содержание сернистых и других гетероатомных соединений в нефтепродуктах при одновременном увеличении глубины переработки и соблюдении экологических требований.

В первой главе также были рассмотрены физико-химические основы исследуемых процессов.

Для замедленного коксования характерны реакции, направленные на получение качественного кокса, среди них реакции конденсации и уплотнения ароматических углеводородов, дегидрогенизации нафтендов, полимеризации непредельных углеводородов с дальнейшим уплотнением до смол и

асфальтенов. Предельные углеводороды в ходе замедленного коксования не вступают в реакции уплотнения, следовательно, не влияют на образование кокса.

В ходе гидрокрекинга протекают реакции гидрогенолиза гетероатомных соединений, гидрокрекинга и изомеризации парафинов, гидрокрекинга циклоалканов и ароматических соединений, крекинга парафинов и нафтенов. Нефтепродукты, которые получают в процессе гидрокрекинга тяжёлых нефтяных остатков, имеют высокое качество именно благодаря тому, что процесс сочетает в себе реакции гидрообессеривания, гидродеазотирования, гидродеметаллизации и гидрирования, что позволяет удалять серу, азот, кислород, металлы и снижать содержание коксогенных соединений.

Также в первой главе было рассмотрено влияние параметров процессов на выход и качество продуктов.

Оптимальная температура процесса замедленного коксования лежит в диапазоне 480-510 °С, что обеспечивает максимально возможный выход кокса заявленного качества и длительный межремонтный пробег установки.

Для процесса гидрокрекинга оптимальная температура лежит в диапазоне 360-440 °С. Недостаточно высокая температура процесса может негативно сказаться на крекирующей функции катализатора, а слишком высокая температура непременно приведет к усилению коксообразования, поэтому важно подобрать оптимальную температуру, которая обеспечит необходимое соотношение реакций крекинга, гидрирования и изомеризации, и позволит получить желаемое соотношение продуктов. При температуре 360 – 400 °С в качестве целевого продукта выступает дизельная фракция, при увеличении температуры до 400 – 420 °С – процесс смещается в сторону выхода газовых и бензиновой фракций.

Большая часть установок замедленного коксования работает при давлении в камерах коксования 0,1 – 0,7 МПа. Понижение давления в коксовой камере приведет к уменьшению содержания летучих компонентов в коксе, однако снижается его выход.

Промышленные установки гидрокрекинга работают при давлении водорода 10-17 МПа, в некоторых случаях применяют давление 20-23 МПа. Благодаря применению повышенного давления водорода, происходит не только насыщение олефиновых и ароматических углеводородов сырья, это также позволяет подавлять реакции конденсации и коксообразования, увеличить срок службы катализатора.

Во второй главе выпускной квалификационной работы были приведены технологические схемы замедленного коксования и гидрокрекинга, представленные на рисунках 1 и 2 соответственно, и их описание.

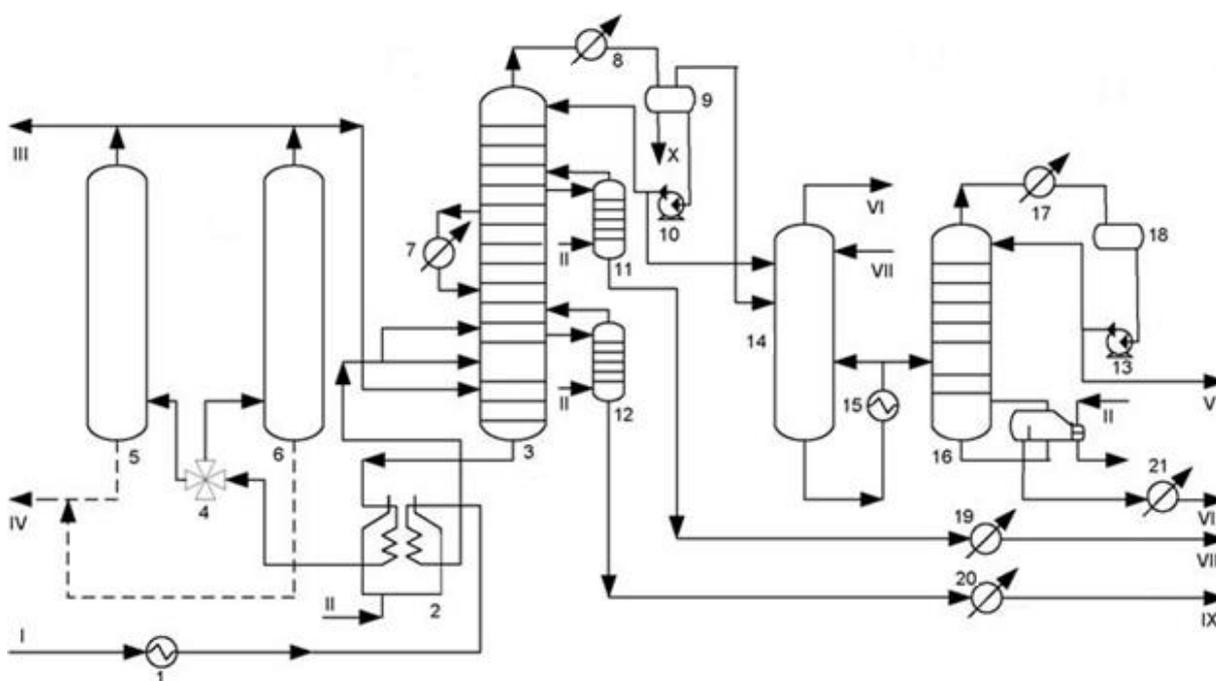


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема двухблочной установки замедленного коксования: 1, 15 – теплообменники; 2 – печь; 3 – ректификационная колонна; 4 – четырехходовой кран; 5, 6 – коксовые камеры; 7, 8, 17, 19, 20, 21 – холодильники; 9, 18 – сепараторы; 10, 13 – насосы; 11, 12 – отпарные колонны; 14 – фракционирующий абсорбер; 16 – колонна стабилизации бензина; I - сырье; II - водяной пар; III - пары отпарки камер; IV - кокс; V - головка стабилизации; VI - газ; VII - стабильный бензин; VIII - легкий газойль; IX - тяжелый газойль; X – конденсат

Так, в процессе коксования сырье предварительно подогревается, проходит змеевики печи 2, и распределяется несколькими потоками в

питательную секцию ректификационной колонны 3, куда также поступают пары отпарки реакционных камер коксования 5 и 6. В процессе ректификации образуется смесь, свободная от легких фракций. Она выводится с куба колонны 3 и вновь поступает в змеевики печи 2, куда также поступает водяной перегретый пар, используемый для того, чтобы предотвратить закоксовывание печи и ускорить прохождение потока. Установка может включать в себя несколько камер, которые работают попарно. В одной происходит процесс образования кокса, в другой – идет его выгрузка. Вторичное сырье, нагретое в печи 2, двумя потоками подается в нижнюю часть реакционных камер 5 и 6. Здесь происходит глубокое коксование сырья за счет тепла, пришедшего вместе с ним. Сверху реакционных камер отбираются пары коксования, которые поступают на ректификацию. После завершения процесса реакционные камеры отключают, проводят их отгрузку, продувают водяным паром. Кокс поступает на обработку, осушку, дробление, сортировку и направляется на склад. Сверху ректификационной колонны 3 отбираются легкие углеводородные газы, пары воды и бензина. Они поступают на охлаждение, разделение и стабилизацию. Отпарные колонны 11 и 12 позволяют получить легкий и тяжелый газойли, которые поступают на охлаждение и затем также выводятся.

В свою очередь установка гидрокрекинга состоит из нескольких блоков: реакторный блок, блок фракционирования, блок очистки и циркуляции ВСГ. Сырье подается на смешение с ВСГ, содержание водорода в котором поддерживается за счет добавления свежего ВСГ. Эта смесь подогревается и вводится в верхней части реактора 2. Продуктовая смесь выводится из реактора и направляется на охлаждение. Охлажденная смесь поступает в сепаратор высокого давления 5, где происходит разделение смеси на ВСГ, выводимый в блок очистки, и жидкий катализат, который отводится в нижней части аппарата. Он поступает в сепаратор низкого давления 10, где из него выделяется некоторая часть углеводородных газов, а жидкий катализат после нагрева в печи 12 направляется в ректификационную колонну 14. Сверху сепаратора 16 отбирают топливный газ. А в нижней части отпарных колонн 17 и 18 выводятся тяжелый

бензин и средние дистиллятные фракции. Кубовый остаток отпарной колонны 14 поступает в вакуумную колонну 19, и в результате из нее отводится тяжелый газойль и смолистый остаток.

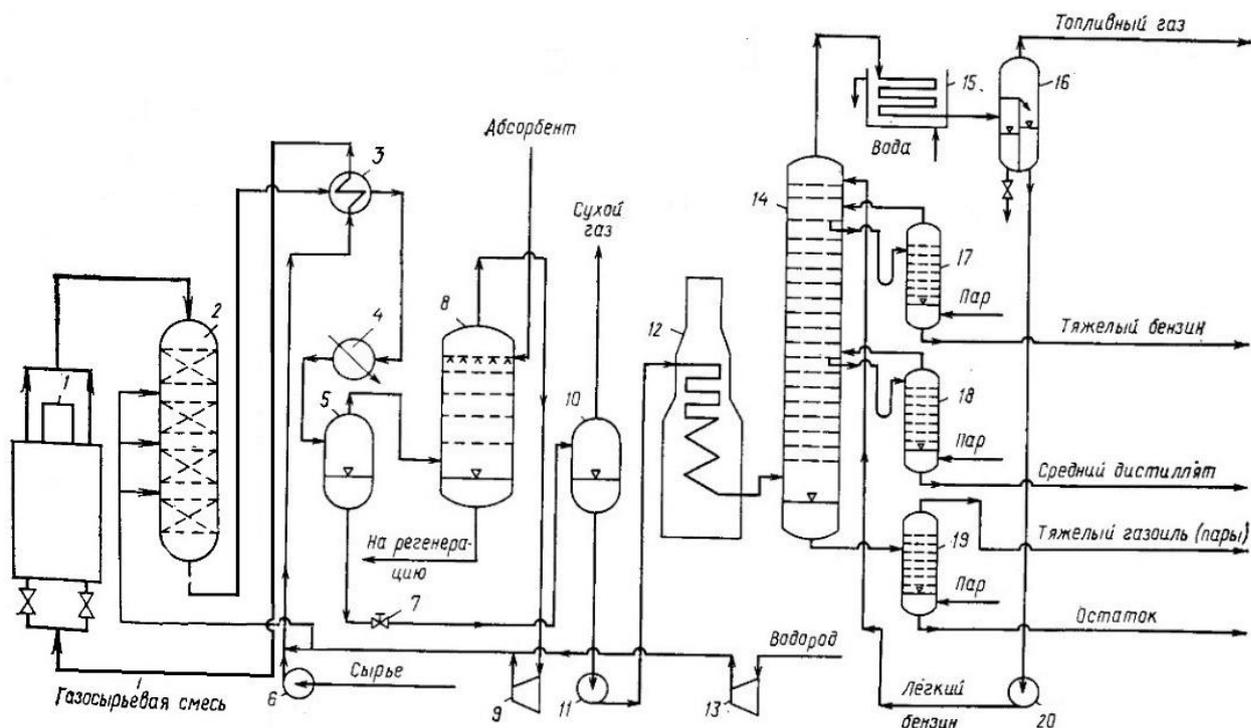


Рисунок 2 – Принципиальная технологическая схема процесса гидрокрекинга:

1, 12 - печи, 2 – реактор, 3 - теплообменник, 4, 15 – холодильники, 5 - сепаратор высокого давления, 6, 11, 20 – насосы, 7 – редукционный клапан, 8 – абсорбер, 9, 13 – компрессоры, 10 – сепаратор низкого давления, 14 - фракционирующая колонна, 16 – сепаратор, 17, 18 – отпарные колонны, 19 – вакуумная колонна

Также во второй главе бакалаврской работы определены качество сырья и производительность установки:

- Сырье – гудрон нефти Urals;
- Плотность гудрона  $\rho$ ,  $\text{кг/м}^3 = 1018$ ;
- Коксуемость по Конрадсону ( $K_c$ ), мас.% = 17;
- Годовая производительность установки – 1,45 млн. т/год.

В соответствии с исходными данными можем вычислить часовую производительность установки:

$$(1,45 \cdot 10^6) / (345 \cdot 24) = 175 \text{ т/час.}$$

Выполнен расчет материального баланса для установок замедленного коксования и гидрокрекинга с заданной производительностью, проведен сравнительный анализ выходов продуктов процессов переработки гудрона. Рассчитана глубина переработки сырья для каждого из процессов. В ходе замедленного коксования глубина переработки составляет 73%, в процессе гидрокрекинга – 95%.

Сравнение выхода продуктов замедленного коксования и гидрокрекинга показывает, что первый процесс ориентирован на получение кокса, а гидрокрекинг – на максимальное производство качественных светлых нефтепродуктов, поэтому он по праву считается более эффективным, перспективным и современным процессом.

Произведен тепловой расчет реактора гидрокрекинга. Так как в нем осуществляется переработка тяжелых нефтяных остатков, необходимы высокое давление, оно принято равным 15 МПа, и относительно низкая температура для того, чтобы предотвратить возможное коксообразование, принята равной 415 °С.

Тепловой расчет реактора гидрокрекинга показал, что в ходе процесса выделяется избыточное количество тепла. С целью качественного охлаждения реакционной зоны и возможности контролировать температуру по высоте реактора, был выбран политропный секционный реактор и рассчитаны его основные размеры.

Диаметр реактора:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{3,14}};$$

где  $F$  - площадь сечения реактора.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,76}{3,14}} = 1,88 \approx 1,9 \text{ м.}$$

Высота катализаторного слоя в реакторе:

$$h_k = \frac{V_{kat}}{F};$$

где  $V_{kat}$  - объем катализатора.

$$h_k = \frac{83,37}{2,76} = 30,21 \text{ м.}$$

Так как стандартная высота реактора гидрокрекинга находится в диапазоне 10 – 20 м, принимаем каскад из 3 реакторов. Тогда высота катализаторного слоя в каждом реакторе:

$$h_{k1} = \frac{30,21}{3} = 10,07 \text{ м.}$$

Высота цилиндрической части реактора может быть рассчитана как:

$$h_{\text{ц.}} = \frac{h_k \cdot 4}{3} = \frac{10,07 \cdot 4}{3} = 13,43 \text{ м.}$$

Тогда общая высота реактора составит:

$$H = h_{\text{ц.}} + D = 13,4 + 1,9 = 15,3 \text{ м.}$$

## **Выводы:**

1. В процессе переработки гудрона на установке замедленного коксования глубина переработки составила 73%, при использовании технологии гидрокрекинг – 95%.

2. Составлены материальные балансы для процессов замедленного коксования и гидрокрекинга.

3. Составлен тепловой баланс реактора гидрокрекинга.

4. Рассчитаны основные параметры реактора каталитического гидрокрекинга гудрона: высота катализаторного слоя в реакторе – 10,1 м, высота цилиндрической части реактора – 13,4 м, высота реактора – 15,3 м, диаметр реактора – 1,9 м.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ахметов, С. А. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа. Учебное пособие / С. А. Ахметов, Т. П. Сериков, И. Р. Кузеев, М. И. Баязитов; под ред. С. А. Ахметова. — СПб. : Недра, 2006. — 868 с.
2. Бендеров, Д. И. Процесс замедленного коксования в необогреваемых камерах / Д. И. Бендеров, Н. Т. Походенко, Б. И. Брондз. – Москва : Химия, 1976. - 176 с.
3. Пат. 2515323 Российская Федерация. Способ замедленного коксования нефтяных остатков / Г. Г. Валявин, В. П. Запорин, С. В. Сухов. – Заявка № 2012130380/05 от 17.07.2012 ; опубл. 10.05.2014, Бюл. № 13.
4. Капустин, В. М. Технология переработки нефти. В 2 ч. Ч. 2. Деструктивные процессы / В. М. Капустин, А. А. Гуреев. - М. : КолосС, 2007. - 334 с.
5. Пат. 2608035 Российская Федерация. Способ гидроконверсии тяжёлого углеводородного сырья (варианты) / С. Н. Хаджиев, Х. М. Кадиев, Л. А. Зекель, М. Х. Кадиева. – Заявка № 2015131565 от 30.07.2015 ; опубл. 12.01.2017, Бюл. № 2.
6. Bricker, M. Hydrocracking in Petroleum Processing / M. Bricker, V. Thakkar, J. Petri // Handbook of Petroleum Processing. – 2015. – P. 317–359.
7. Кузора, И. Е. Образование агрегативно устойчивых нефтяных эмульсий в процессе замедленного коксования тяжелых нефтяных остатков и проблемы их переработки / И. Е. Кузора [и др.] // Нефтехимия и нефтепереработка. - 2006. - № 7. – С.14-17.
8. Glanetto, G. E. Hydroisomerization and Hydrocracking of nAlkanes. 1. Ideal Hydroisomerization PtHY Catalysts / G. E. Glanetto, G. R. Perot, M. R. Guisne // Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev. – 1986. – V. 25. – P. 481-490.
9. Vynckier, E. Modeling of the kinetics of complex processes based upon elementary steps / E. Vynckier, G. F. Froment // Kinetic and Thermodynamic Lumping of Multicomponent Mixtures / Sandler G. A. – Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., 1991. – P. 131-161.

10. Чаудури, У. Р. Нефтехимия и нефтепереработка. Процессы, технологии, интеграция / У. Р. Чаудури ; пер. с англ. яз. под ред. И. А. Голубевой, О. Ф. Глаголевой. - Санкт-Петербург : Профессия, 2014. - 425 с.
11. Анчита, Х. Переработка тяжелых нефтей и нефтяных остатков. Гидрогенизационные процессы : пер. с англ. / Х. Анчита [и др.] ; под ред. О. Ф. Глаголевой. – СПб. : Профессия, 2012. – 384 с.
12. Пат. 2458098 Российская Федерация. Способ замедленного коксования нефтяных остатков / Г. Г. Валявин, В. П. Запорин, С. В. Сухов, М. В. Мамаев, И. В. Бидило, К. Г. Валявин. – Заявка № 2011108437/05 от 05.03.2011 ; опубл. 10.08.2012, Бюл. № 22.
13. Каминский, Э. Ф. Глубокая переработка нефти: технологический и экологический аспекты / Э. Ф. Каминский, В. А. Хавкин. – М. : Техника, 2001. – 384 с.