

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

**Модернизация процесса каталитического риформинга
заменой теплообменного оборудования**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 431 группы

направления 18.04.01 «Химическая технология»

код и наименование направления, специальности

Института химии

Измайлова Рената Данисовича

Научный руководитель

доцент, к.х.н.

должность, уч. ст., уч. зв.

подпись, дата

В.З. Угланова

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

д.х.н., профессор

должность, уч. ст., уч. зв.

подпись, дата

Р.И. Кузьмина

инициалы, фамилия

Саратов 2023

ВВЕДЕНИЕ

Процесс каталитического риформинга бензиновых фракций в настоящее время является одним из важных процессов современной нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Основное назначение процесса риформинга – производство высокооктановых компонентов автомобильных бензинов, легких ароматических углеводородов (бензол, толуол и ксилол – сырье для нефтехимического синтеза) и водородсодержащего газа с высоким содержанием водорода, который может быть использован для гидроочистки широкого ассортимента нефтяных фракций, процесса гидрокрекинга тяжелых нефтяных фракций и других гидрогенизационных процессов. Установка каталитического риформинга является обязательным блоком Российских и иностранных предприятий нефтеперерабатывающей отрасли.

Следует отметить, что экономический успех предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, рентабельность и конкурентоспособность зависят от того, насколько эффективно ими реализуется цепочка прогресса: энергоемкость – энергосбережение – техническое развитие – перевооружение.

Следует отметить, что независимо от конечной цели, одним из основных путей ее достижения является разработка энергоемких сегментов предприятия и определение мест нерационального расхода энергоресурсов. Это позволяет обеспечить стабильную работу объекта в целом. В связи с этим, важной задачей нефтеперерабатывающего завода (НПЗ) является: повышение эффективности потребления и сокращение нерационального использования топливно-энергетических ресурсов; внедрение новых, экономичных энергосберегающих процессов и, как следствие, снижение энергетических затрат и себестоимости выпускаемой продукции.

В связи с этим *целью бакалаврской работы* является повышение эффективности установки каталитического риформинга путем замены

кожухотрубчатого теплообменника с плавающей головкой на пластинчатый теплообменник.

Для достижения поставленной цели необходимо было *решить следующие задачи*:

1. Рассмотреть типы теплообменников, применяемых на НПЗ, предложить альтернативный вариант.
2. Провести сравнительный расчет основных технологических и технических параметров теплообменника (конструктивный и поверочный расчеты).
3. Оценить экономические возможности предложенной модернизации процесса каталитического риформинга.

Структура и объем работы. Бакалаврская работа изложена на 48 страницах, состоит из введения, четырех разделов и заключения. Список использованных источников включает 35 наименований. Текст сопровождается 4 таблицами и 11 рисунками.

Основное содержание работы

Первые два раздела бакалаврской работы посвящены обзору литературных данных по процессу «каталитический риформинг».

В *разделе 1* «Каталитический риформинг» представлены основы процесса, его назначение и особенности, катализаторы, подготовка сырья и принципиальная схема промышленного процесса.

Риформинг – способ переработки нефтепродуктов, в основном бензиновых и лигроиновых фракций нефти, для получения [1]:

- высокооктанового автомобильного бензина,
- ароматических углеводородов;
- технического водорода.

В настоящее время существуют следующие вида производственного риформинга:

- термический риформинг (сырье перерабатывается высокооктановый бензин при высоких температурах);
- каталитический риформинг (исходное сырье перерабатывается в продукт при одновременном воздействии высокой температуры и катализатора).

Каталитический риформинг, (переделывать, улучшать), каталитическая ароматизация – это процесс, позволяющий увеличить содержания аренов через реакцию образования ароматических углеводородов (АУВ). Этот процесс, так же как и каталитическая изомеризация лёгких алканов, относится к гидрокаталитическим процессам риформирования нефтяного сырья [2].

Основными целями процесса каталитического риформинга являются [3]:

- повышение октанового числа (ОЧ) бензинов, дальнейшее получение неэтилированного высокооктанового бензина и, как следствие, повышение возможностей установки каталитического риформинга;
- получение ароматических углеводородов (аренов);
- получение водосодержащего газа.

Жидкие продукты риформинга используют как высокооктановый компонент автомобильных и авиационных бензинов, а также направляют на выделение ароматических углеводородов, а газ, образующийся при риформинге, подвергают разделению. Водород используется для гидроочистки исходного сырья и для восполнения потерь ВСГ – циркулирующего, но большое количество с установки выводят [4]. ВСГ каталитического риформинга значительно дешевле специально получаемого водорода (более 85 % (объемных) водорода и около 15 % УВ). Кроме ВСГ, из газов каталитического риформинга выделяют сухой газ (СГ) (метан–этан или метан–пропан) и сжиженные газы (СЖГ) (пропан–бутан), для получения стабильного компонента высокооктанового бензина.

Катализаторы. Процессы каталитического риформинга протекают в присутствии бифункциональных катализаторов. В качестве катализаторов используют платину, Pt, чистую или с добавками рения, Re, иридия, Ir, галлия,

Ga, германия, Ge, олова, Sn, нанесенную на активный оксид алюминия с добавкой хлора и др. [1, 2, 7-10].

Платина, как правило, выполняет гидрирующие-дегидрирующие функции, она тонко диспергированна на поверхности носителя, активного оксида алюминия. Другие металлы поддерживают дисперсное состояние платины. Назначение оксид алюминия (в активной форме), имеющего как апротонные, так и протонные кислотные центры – способствовать протеканию карбонийонных реакций: изомеризация низкомолекулярных парафинов и олефинов, гидрокрекинг парафинов, изомеризация нафтеновых колец (параметры процесса: 480-520⁰ С, 1,5-3,5 МПа).

Каталитический риформинг – основной процесс современных предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслей. Он позволяет улучшать качество бензиновых фракций и получить ароматические углеводороды, в т.ч. из сернистой и высокосернистой нефти. В недавнее время для получения топливного газа из легких углеводородов были разработаны процессы каталитического риформинга [11]. Практическая и теоретическая информация свидетельствует о том, что процесс каталитического риформинга, а также требования, которые предъявляют к продукту, требуют гибкости в эксплуатации установки. Необходимые задачи решаются путем подбора сырья, катализатора и технологических режимов [12].

Установка каталитического риформинга: описание, особенности

Производственно-технологический процесс риформирования бензиновых фракций состоит из трех основных стадий: подготовка сырья гидроочисткой, основной физико-химический процесс каталитического риформинга и стабилизация риформата. Принципиальная схема установки риформинга представлена на рисунке 1.

Сырье установки риформинга (бензиновая фракция 100-180⁰С) насосом Н1 подается в тройник смешения блока гидроочистки с циркулирующим водородсодержащим газом.

Далее смесь сырья и ВСГ – газосырьевая смесь проходит

последовательно по межтрубному пространству теплообменников Т-1/1,2,3,4 где нагревается потоком газопродуктовой смеси до температуры не выше 390⁰С.

Реакции риформинга на платинорениевом катализаторе осуществляются в трех реакторах: Р-1, Р-2, Р-3 при температуре 490-505⁰С и давлении 1,4-1,9 МПа. Для этого газопродуктовая смесь разогревается в змеевиках печи П1 перед каждым ректором. Газопродуктовая смесь из реактора Р-3 поступает в теплообменники Т-1/1,2,3,4, где происходит отдача части тепла газосырьевой смеси. Затем смесь после охлаждения до 130⁰С подвергается доохлаждению в воздушном холодильнике АВО-1.

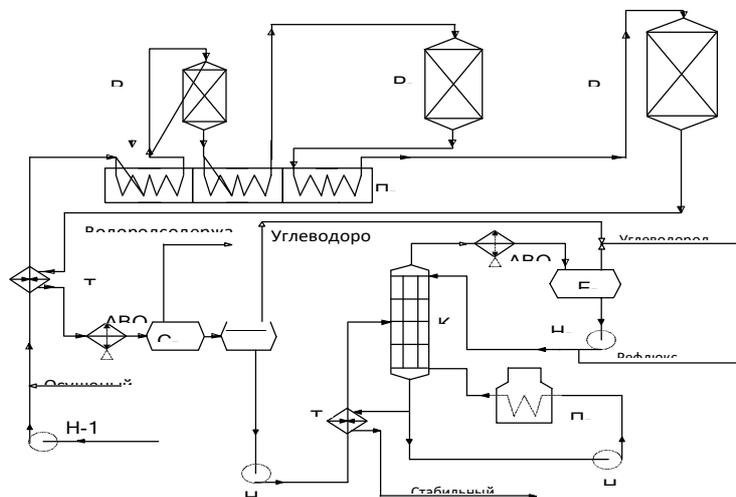


Рисунок 1 - Принципиальная схема установки риформинга

Затем газопродуктовая смесь после охлаждения в воздушном холодильнике АВО-1 поступает в сепаратор повышенного давления С-1 с температурой 44⁰С. В сепараторе С-1 происходит разделение газопродуктовой смеси на три компонента: водородсодержащего газа, углеводородного газа и смеси нестабильного катализата.

После сепаратора повышенного давления С-1 смесь нестабильного катализата и углеводородного газа поступает в сепаратор пониженного давления С-2. В С-2 происходит отделение углеводородного газа, который подается в сети предприятия. Следующим шагом является подача нестабильного катализата, нагретого в теплообменнике Т-2 до температуры не

более 220⁰С в стабилизационную колонну К-1 с помощью насоса Н-2.

В колонне К-1 отделяются углеводородные газы, растворенные в катализате. После конденсации и охлаждения в воздушном холодильнике АВО-2 продукт верха колонны стабилизации собирается в емкости орошения Е-1. В качестве орошения в колонну К-1 подаются жидкие углеводороды из Емкости орошения, которые забираются насосом Н-3, балансовый избыток вместе с углеводородным газом отводится в сети предприятия.

Насосом Н-4 подается стабильный катализат в трубчатую печь радиантного типа П-2, предусмотренную для поддержания теплового баланса стабилизационной колонны К-1.

Для поддержания теплового баланса стабилизационной колонны К-1 предусмотрена трубчатая печь радиантного типа П-2, куда насосом Н-4 подается стабильный катализат. Стабильный катализат - балансовое количество кубового продукта поступает в теплообменник Т-2 с низа колонны, где отдает часть тепла нестабильному катализату - сырью колонны К-1.

В *разделе 2* «Теплообменное оборудование» представлены основные виды теплообменников, современные конструкции теплообменников для процесса риформинга (патентный поиск).

Виды теплообменников. Теплообменник – техническое устройство, предназначенное для передачи тепла между нагретой средой и холодной. Теплообмен осуществляется через элементы конструкции аппарата, а также возможны теплообменники со смешением двух сред [13].

Области применения теплообменных аппаратов: топливно-энергетический комплекс (атомная энергетика, теплоэлектростанции, коммунальное хозяйство, бытовое отопление, системы кондиционирования и вентилирования воздуха); предприятия металлургической, химической, пищевой промышленности.

Виды. Теплообменные аппараты подразделяются на несколько групп в зависимости от ряда признаков.

- взаимодействия сред (поверхностные и смесительные);

- передачи тепла (рекуперативные и регенеративные);
- конструкции;
- направления движения теплоносителя и теплопотребителя (одноходовые и многоходовые). На рисунке 2 представлены виды теплообменников.

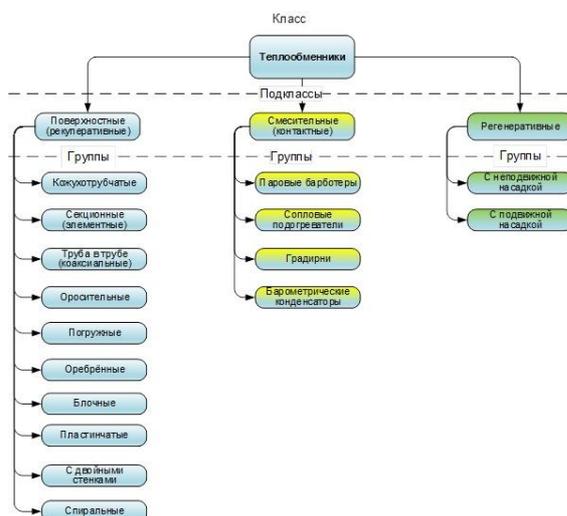


Рисунок 2 – Виды устройств теплообменников в зависимости от принципа работы

В разделе 3 «Технологический расчет» представлен расчет параметров кожухотрубчатого теплообменника с плавающей головкой и пластинчатого теплообменного аппарата, проведен сравнительный анализ полученных результатов.

Для исследования выбраны два теплообменка: кожухотрубчатый теплообменник с плавающей головкой, применяемый на НПЗ: корпус: 12ХМ, $D = 1000$ мм, $L = 6012$ мм; труба: 15Х5М; технологическими характеристиками, $P_{расч}/P_{раз}$, $T_{расч}/T_{раз}$, соответственно: МТР: 47,5/33,2; ТР: 47,5/30,5; МТР: 300/251; ТР: 370/315; пластинчатый теплообменник.

Основные особенности (достоинства и недостатки) теплообменников, применяемых на НПЗ, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Особенности теплообменного оборудования, применяемого на объектах нефтеперерабатывающей промышленности

Особенности	Тип теплообменного оборудования (ТО)	
	Кожухотрубчатый теплообменник с плавающей головкой	Пластинчатый теплообменник
Достоинства	1) позволяют работать с высокотемпературными теплоносителями; 2) способны выдерживать колоссальное давление, многочисленные циклы нагрева и остывания	1) простота обслуживания; 2) низкий уровень загрязнения поверхности теплообмена; 3) объём теплообменника можно увеличить (за счет добавления пластин);
Недостатки	1) внушительный вес и габариты; 2) невысокий КПД по сравнению с пластинчатыми вариантами; 3) сильная зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости перемещения теплоносителя.	1) требуется хорошая очистка теплоносителя от примесей для поддержания наилучших теплообменных свойств.

Исходные данные:

Начальная температура горячего теплоносителя (вход): $t_1 = 260^{\circ} \text{C}$.

Начальная температура холодного теплоносителя (вход): $t_2 = 80^{\circ} \text{C}$.

Конечная температура горячего теплоносителя (выход): $t_1 = 160^{\circ} \text{C}$.

Конечная температура холодного теплоносителя (выход): $t_2 = 165^{\circ} \text{C}$.

Объемный расход горячего теплоносителя: $G_1 = 26 \text{ кг/с}$.

Объемный расход холодного теплоносителя: $G_2 = 24 \text{ кг/с}$.

Проведен конструктивный расчет параметров кожухотрубчатого теплообменника с плавающей головкой и пластинчатого теплообменника: определение среднего температурного напора, расчет теплового баланса, коэффициента теплоотдачи, определение поверхности площади теплообмена, коэффициента теплопередачи, гидравлический расчет.

Сравнительный анализ полученных данных. На основании результатов проведенных расчетов установлено (таблица 2), что внедрение пластинчатого теплообменника снижает температуру и давление аппарата, а также положительно сказывается на ресурсных затратах.

Таблица 2 – Конструктивные и поверочные параметры сравнения исходного и предлагаемого теплообменника

Название параметра	Кожухотрубчатый ТО с плавающей головкой	Пластинчатый ТО
Количество тепла, Q, кВт	5044	7182
Гидравлическое сопротивление в межтрубном пространстве ΔP , кПа	10	82
Поверхность теплообмена F, м ²	256	120
Коэффициент теплопередачи K, Вт/(м ² ·К)	174	665

В разделе 4 «Экономическое обоснование модернизации» представлены результаты расчетов свидетельствующие, что оборудование процесса пластинчатым теплообменником приводит к существенному снижению годовых расходов установки на тепловую энергию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных расчетов сформулированы следующие выводы:

- 1) пластинчатый теплообменный аппарат имеет меньшую поверхность теплопередачи $F=120 \text{ м}^2$, чем кожухотрубчатый теплообменник с плавающей головкой $F = 256 \text{ м}^2$;
- 2) кожухотрубчатый теплообменный аппарат с плавающей головкой имеет меньший коэффициент теплоотдачи $K = 174 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, по сравнению с пластинчатым теплообменником $K = 665 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;
- 3) установлено, что у пластинчатого теплообменника наиболее оптимальные параметры, что позволяет рекомендовать его в качестве замены кожухотрубчатого теплообменника на установке каталитического риформинга ЛЧ 35-11/600.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Борисов, Г. С. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию / Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский и др. Под общей ред. Ю.И. Дытнерского. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Химия, 1991. – 496 с.
2. Ахметов, С. А. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа / С. А. Ахметов, Т.П. Сериков. – СПб.: Недра, 2006. – 868 с.
3. Каталитический риформинг // Деловой журнал «Neftegaz.RU». – 2013. [Электронный ресурс]: [сайт]. – URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/neftekhimiya/141803-kataliticheskiy-riforming/> (дата обращения 18.05.2023). – Загл. с экрана. – Яз. рус.
4. Афолина, И. И. Повышение концентрации водорода в водородосодержащем газе на установке каталитического риформинга / И. И. Афолина, М. Ю. Сарилов // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов. 47-ая научно-техническая конференция студентов и аспирантов, Комсомольск-на-Амуре, 10-21 апреля 2017. – Из-во: Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, 2017. – С. 68-70.
5. Капустин, В. М. Технология переработки нефти. Часть 2. Деструктивные процессы / В. М. Капустин, Л. А. Гуреев. – М.: Колос, 2007. – 334 с.
6. Ахметов, С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа: Учебное пособие для вузов / С. А. Ахметов. – Уфа: Гилем, 2002. – 672 с.
7. Белый, А. С. Катализаторы риформинга. Разработка и освоение технологии производства/ А. С. Белый, М. Д. Смоликов, Д. И. Кирьянов, Е.А. Белопухов и др. // Neftegaz.RU. – 2020. № 3. [Электронный ресурс]: [сайт]. – URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/pererabotka/536536-katalizatory-riforming-razrabotka-i-osvoenie-tekhnologii-proizvodstva/> (дата обращения 18.05.2023). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

8. Калдыгозов, Е. Исследование модифицированных алюмоплатиновых катализаторов в процессе каталитического риформинга / Е. Калдыгозов, Ж. Е. Адилхан, Д. П. Казамбаев, А. А. Ахметалиев // Научные труды ЮКГУ им. М. Ауэзова. – 2018. – № 2 (46). – С. 66-69.

9. Трегубенко, В. Ю. Влияние индия на адсорбционные и каталитические свойства Pt/Al₂O₃ In–Cl катализаторов риформинга / В. Ю.Трегубенко, К. В. Веретельников, Е. А. Белопухов // химия и химическая технология в XXI век. XVIII Международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва, Томск, 29 мая – 01 июня 2017 года. – Томск, Изд-во: Наиональный исследовательский Томский политехнический университет. – С. 333-334.

10. Алиев Р.Р. Катализаторы и процессы переработки нефти / Р. Р. Алиев. – М. : 2010. – 398 с.

11. Сажин, В. В. Эффективное использование легких углеводородов / В. В. Сажин, Л. И. Кошкин, Е. В. Матушкина, В.Б. Сажин // Успехи в химии и химической технологии. – 2008. Т. XXII, № 13 (93). – С. 30-36.

12. Субботкин, А. С. Совершенствование технологического процесса в установке каталитического риформинга с целью оптимизации технологических параметров / А. С. Субботкин, Н. Н. Артемьева // Вестник АГТУ. – 2018. № 2(66). – С. 49-55.

13. Иванов, А. Н. Теплообменное оборудование предприятий: учеб. Пособие / А. Н. Иванов, В.Н. Белоусов, С. Н. Смородин. – Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД, 2016. – 185 с.