

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

**Модернизация установки изомеризации “ИЗОМАЛК – 2”  
Саратовского НПЗ**

название темы выпускной квалификационной работы полужирным шрифтом

---

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 2 курса 252 группы

направления 18.04.01 «Химическая технология»

код и наименование направления, специальности

Института химии

Анненкова Ильи Сергеевича

Научный руководитель

д.х.н., профессор  
должность, уч. ст., уч. зв.

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Р.И. Кузьмина  
инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

д.х.н., профессор  
должность, уч. ст., уч. зв.

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Р.И. Кузьмина  
инициалы, фамилия

Саратов 2020 год

## ВВЕДЕНИЕ

Во все времена развития нефтепереработки как науки, главной ее задачей было повышение глубины переработки нефти и улучшение эксплуатационных характеристик товарных продуктов.

Данную задачу невозможно решить без введения в устройство заводов установок вторичной переработки нефти, таких как риформинг, изомеризация, каталитический крекинг и гидрокрекинг. Именно за счет этих процессов увеличивается глубина переработки нефти не только количественно, но и качественно. Современные процессы риформинга, изомеризации и гидрокрекинга позволяют получать товарный продукт, не только соответствующий требованиям экологического законодательства РФ и стран всего мира, но и обладающий всеми необходимыми эксплуатационными характеристиками.

В частности, процессы каталитической изомеризации позволяют получать компоненты автомобильных бензинов, обладающих значением октанового числа до 92 пунктов, соответствующих стандарту экологической безопасности Евро 5.

Особую роль в развитии процессов каталитической изомеризации играет технология изомеризации пентан-гексановой фракции “ИЗОМАЛК - 2”.

По данным на 2019 год технология изомеризации “ИЗОМАЛК - 2” эксплуатируется на 15 промышленных установках в России, Китае, Украине, Индии. Кроме того, еще 12 установок находятся в стадии проектирования и строительства[1].

На установке изомеризации “ИЗОМАЛК - 2” существует ряд проблем, в частности нерациональность распределения свободных площадей на технологические аппараты и загроможденность технологических площадок, что приводит к увеличению металлозатрат на ремонт, увеличивает длительность ремонтных мероприятий и увеличивает нагрузку на обслуживающий персонал.

В связи с этим, разработка технологических решений по модернизации и оптимизации установки “ИЗОМАЛК - 2” является *актуальной задачей*.

Целью данной работы является разработка технологических решений по модернизации и увеличению эффективности установки изомеризации пентан-гексановой фракции “ИЗОМАЛК - 2” путем модернизации теплообменной аппаратуры блока стабилизации нестабильного изомеризата.

**Научная новизна** данной работы заключается в замене теплообменного оборудования блока стабилизации изомеризата, в частности в замене кожухотрубных теплообменников подогрева нестабильного изомеризата на пластинчатые теплообменники типа Компаблок, что позволит снизить металлоемкость блока, увеличить эффективность теплообмена и снизить капитальные затраты на обслуживание блока.

Магистерская работа Анненкова Ильи Сергеевича на тему «Модернизация установки изомеризации “ИЗОМАЛК – 2” Саратовского НПЗ» представлена на 51 странице и состоит из трех глав:

- 1- ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР
- 2- ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ
- 3- ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В *первой главе* магистерской работы осуществлен поиск литературных данных о процессе каталитической изомеризации.

Каталитическая изомеризация – процесс вторичный переработки нефти, необходимый для получения высокооктановых компонентов автомобильных бензинов. В качестве сырья используется фракция н.к.-62, а также рафинат каталитического риформинга. Данное сырье характеризуется высоким содержанием нормальных парафинов, преимущественно пентана и гексана, как следствие сырье обладает низким значением октанового числа

Однако, в последнее время сырьевую базу установок изомеризации расширяют с включением в процесс сырья, содержащего н-гептан.

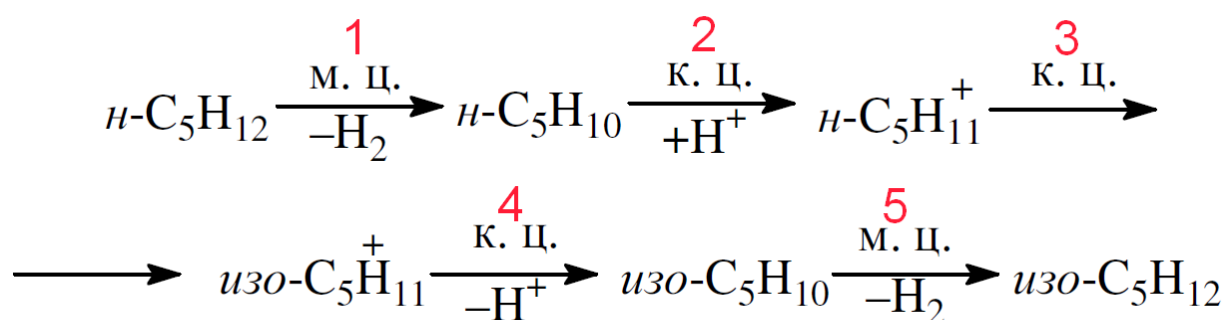
Компоненты автомобильных бензинов, получаемые на установках изомеризации, обладают высоким значением октанового числа и выполняют требования российского законодательства по экологической безопасности.

В *первой главе* представлены сведения о механизме реакции изомеризации, побочных реакциях, а также основные схемы организации процесса изомеризации.

Реакции изомеризации нормальных парафиновых углеводородов протекают с незначительным тепловым эффектом. Как следствие, равновесие реакций изомеризаций зависит только от температурного фактора ведения процесса. Причем повышение температуры способствует смещению равновесия в сторону слаборазветвленных парафинов, а понижение температуры увеличивает выход разветвленных изомеров, то есть дает изомеризат с высокой октановой характеристикой.

Однако, ведение процесса при низкой температуре снижает степень превращения сырья, что ведет к снижению выхода товарного продукта. Выходом из данного противоречия является применение катализаторов, обладающих особыми активностными характеристиками в сочетании с выбором оптимального для данного катализатора температурного режима процесса.

Все катализаторы изомеризации полифункциональны, то есть сочетают в себе кислотные и гидрирующие/дегидрирующие компоненты. Необходимость сочетания в катализаторе металлического и кислотного центра обусловлена тем, что процесс каталитической изомеризации происходит в несколько стадий, с образованием различных типов активных частиц, проявляющих реакционную способность на разных активных центрах катализатора. В частности, рассмотрим стадии процесса каталитической изомеризации на примере *n*-пентана:



Стадия 1) На металлическом центре катализатора происходит дегидрогенизация нормального алкана до нормального алкена;

Стадия 2) На кислотном центре катализатора алкен переходит в форму карбений-иона;

Стадия 3) На кислотном центре происходит перегруппировка карбений-иона;

Стадия 4) Образование изо-алкена на кислотном центре путем акцептирования протона от карбений-иона;

Стадия 5) На металлическом центре катализатора изо-алкен гидрируется до соответствующего изо-алкана.

Также помимо целевой реакции протекают следующие побочные реакции:

1) Гидрокрекинг, в результате чего изомеризат обогащается низкомолекулярными углеводородами, что дестабилизирует товарный продукт.

2) Коксообразование на катализаторе, которое связывает металлический центр катализатора, забивает его поры и как следствие снижает активность.

Часть сырья подвергается дегидрированию, что сильно понижает октановое число товарного изомеризата, так как алкены обладают низкими значениями октанового числа.

Схемы реализации процесса изомеризации:

1) Схема “за проход” – схема реализации процесса без рецикла сырья, позволяющая снизить затраты на процесс по причине низкой металлоемкости процесса (Рис. 1).

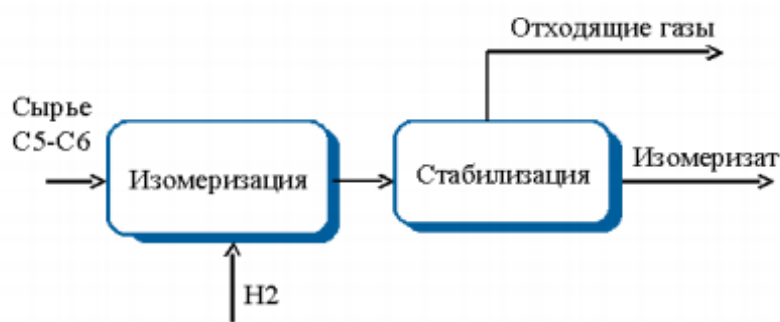


Рисунок 1 - Блок схема “за проход”

2) Схема, включающая колонну деизопентанизации (ДИП) – схема реализации процесса изомеризации (Рис. 2), в которой предусмотрено предварительное удаление изопентана из исходной сырьевой смеси, путем добавления колонны деизопентанизации, в результате чего решаются следующие задачи:

- увеличение выхода продукта;
- уменьшение нагрузки на реактор.

Использование данной схемы экономически выгодно и целесообразно, при содержании изопентанов в сырье выше 13%масс.



Рисунок 2 - Блок схема процесса с ДИП

3) Схема с рециклом нормальных гексанов и метилпентана. В схему реализации процесса включается колонна деизогексанизации (ДИГ), которую устанавливают после реакторного блока (Рис. 3). В колонне ДИГ происходит отделение низкооктановых компонентов, в частности н-гексана и метилпентана, что увеличивает степень конверсии гексана. Возможна модернизация процесса с включение колонны ДИП.

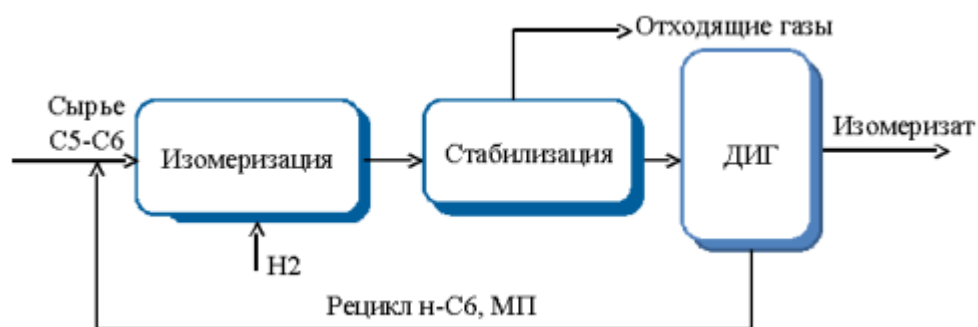


Рисунок 3 - Схема процесса с ДИГ

4) Схема, включающая в себя колонну депентанизации (ДП) изомеризата. В данную схему включают колонну ДИП перед реакторным блоком и колонну ДП после него, что позволяет увеличить октановое число полученного компонента автобензина и увеличить степень конверсии н-пентана.

5) Схемы с рециклом н-пентана и н-гексана. В данную схему включают колонны ДИП, ДИГ и ДП. В данном случае происходит полный рецикл неразветвленных углеводородов в соответствующие изомеры.

Во схемах с ДП и ДИГ используют соответствующие ректификационные колонны, необходимые для отделения низкооктановых компонентов и возврата их в цикл. При таком варианте оформления процесса увеличивается степень превращения н-пентанов и н-гексанов, что положительно сказывается на качестве итогового изомеризата.

Во *второй главе* работы представлено описание технологической схемы и произведены расчеты (тепловой и гидравлический) для теплообменника типа Компаблок.

По результатам расчетов был выбран теплообменник типа Компаблок со следующими характеристиками: площадь теплообмена  $F=450 \text{ м}^2$ , число пластин  $n=400$  шт., площадь канала  $f_k=1,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$ .

В *третьей главе* произведен расчет экономической эффективности и срока окупаемости проекта.

Относительным показателем экономической эффективности является рентабельность. Рентабельность комплексно отражает степень эффективности использования материальных, трудовых и денежных ресурсов, а также природных богатств. Коэффициент рентабельности рассчитывается как отношение прибыли к активам, ресурсам или потокам, её формирующим.

$E$  – эффективность

$$E = \frac{\mathcal{E}}{\sum K}; \text{ где } \mathcal{E} - \text{эффект (прибыль)}$$

$\sum K$  – капитальные затраты

$$E = \frac{419823}{500000} = 0.84$$

Так как коэффициент эффективности превышает 0,15, то проект является эффективным.

Срок окупаемости проекта:

$$\frac{1650000}{419823} = 3.9 \text{ лет}$$



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы было проделано следующее:

1. Разработан проект модернизации установки изомеризации пентан-гексановой фракции “ИЗОМАЛК - 2” с заменой теплообменного оборудования блока стабилизации изомеризата.
2. Произведен расчет теплообменника типа компаблок. Основные параметры теплообменника  $F = 450\text{ м}^2$ ; число пластин  $n=400$ ; площадь сечения канала  $f_k=1.8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ .
3. Рассчитан срок окупаемости проекта, который составляет 3,9 года при общей сумме капиталовложений 1650000 рублей.
4. По результатам работы опубликовано 3 статьи в сборниках научных трудов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Изомалк – 2. Технология изомеризации пентан-гексановой фракции [Электронный ресурс] / текст доступен по лицензии НПП “Нефтехим” // URL: <https://nefthim.ru/razrabotki/tehnologii-izomerizatsii/> (дата обращения 04.05.2020). Загл. с экрана.
2. Смоликов, М.Д., Шкуренок, В.А., Яблокова, С.С., Кирьянов, Д.И., Белопухов, Е.А., Зайковский, В.И., Белый, А.С. Изомеризация n-гептана на катализаторах Pt/MOR/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. / М.Д. Смоликов, В.А. Шкуренок, С.С. Яблокова, Д.И. Кирьянов, Е.А. Белопухов, В.И. Зайковский, А.С. Белый // Катализ в промышленности - 2014. - №2. - С.51-58.
3. Ахметов, С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа: учеб. пособие для вузов / С. А. Ахметов. - Уфа: Гилем, 2002. - 676 с.
4. Рябов, В.Д. Химия нефти и газа / В.Д. Рябов. - М: Техника, 2004.- 288 с.
5. Проскураков, В.А. Химия нефти и газа: учеб. пособие для вузов / А.И Богомолов, А.А. Гайле, В.В. Громова и др; под ред. В.А. Проскуракова, А.Е. Дробркина. - Санкт-Петербург: Химия, 1995. - 448 с.
6. Мановян, А.К. Технология переработки природных энергоносителей. / А.К. Мановян. - М.: Химия, 2004. - 456с.
7. Ахметов, С.А., Ишмияров, М.Х., Веревкин, А.П., Докучаев, Е.С., Малышева, Ю.М., Технология, экономика и автоматизация процессов переработки нефти и газа: Учеб. Пособие / С.А. Ахметов и др.; под ред. С.А. Ахметова. - М.: Химия, 2005. - 736с.
8. Магарил, Р.З. Теоретические основы химических процессов переработки нефти: Учебное пособие для вузов. / Р.З. Магарил. - Л.:Химия, 1985. - 280 с.
9. Бурсиан, Н.Р. Технология изомеризации парафиновых углеводородов. / Н.Р. Бурсиан. - Л.: Химия, 1985 - 19с.

10. Буй Чонг Хан, Нгуен Ван Ты, Ахметов, А.Ф. Сравнительный анализ различных схем изомеризации пентан-гексановой фракции / Буй Чонг Хан, Нгуен Ван Ты, А.Ф. Ахметов // Нефтепереработка и нефтехимия. - 2008. - № 2. - С. 22-25.
11. Бруно Домерг, Лоран Ватрипон. Передовые решения для процессов изомеризации парафинов / Б. Домерг, Л. Ватрипон // Нефтепереработка и нефтехимия. - 2003. - № 7. - С. 3-9.
12. Бруно Домерг, Лоран Ватрипон. Дальнейшее развитие технологии изомеризации парафинов // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2001. - № 4. - С. 15-27.
13. ТУ 2177-009-04706192-00 “Носитель катализатора изомеризации легких бензиновых фракций СИ-2.” - №7. – Нижний Новгород, 2009. – ООО НПП “Нефтехим”.
14. ТУ 2177-010-04706192-09 - изм. №8. - Нижний Новгород, 2009. ООО НПП “Нефтехим”.
15. ТР 05766646-05-2013 “Технический регламент комплекса изомеризации пентан-гексановой фракции”. – Редакция №1. – Саратов, 2013 - СарНПЗ.
16. Шакун, А.Н., Демидова, Е.В. Российская технология изомеризации «Изомалк-2» – лучшее технологическое решение для производства автобензинов Евро-4 и Евро-5. /А.Н. Шакун, Е.В. Демидова // Нефть. Газ. Новации. - 2010. - №9. - С.44-46.
17. Строкин, А.В., Черкасова, Е.И. Основные тенденции процесса изомеризации. / А.В. Строкин, Е.И. Черкасова // Казань: Вестник Казанского университета, 2014г. - №8. - 406с.
18. G. Valavarasu, B. Sairam. Light Naphtha. Isomerization Process: A Review / G. Valavarasu, B. Sairam // Petroleum Science and Technology. – 2013. - Publisher: Taylor & Francis. - № 2. - P.12-13.
19. Закарина Н.А., Волкова Л.Д., Аутанов А.М., Карнаухова Н.А. Изомеризация n-гексана на никельсодержащих цеолитных катализаторах. /

Н.А. Закарина, Л.Д. Волкова, А.М. Аутанов, Н.А. Карнаухова // Нефтехимия. - 2009. - № 2. - С. 76.

20. Эрих В.Н., Расина М.Г. Химия и технология нефти и газа. / В.Н. Эрих, М.Г. Расина. - Л.: Химия, 1977 – 416 с.

21. Мириманян А.А., Вихман А.Г., Боруцкий П.Н. О повышении качества изокомпонентов для производства перспективных автобензинов. / А.А. Мириманян, А.Г. Вихман, П.Н. Боруцкий // Нефтепереработка и нефтехимия. - 2007. - № 7. - С. 5-14.

22. Боруцкий П.Н., Козлова Е.Г., Подклетнова Н.М., Гильченок Н.Д., Соколов Б.Г., Зуев В.А., Шатовкин А.А. Алкилирование бензола на гетерогенных катализаторах / П.Н. Боруцкий, Е.Г. Козлова, Н.М. Подклетнова, Н.Д. Гильченок, Б.Г. Соколов, В.А. Зуев, А.А. Шатовкин // Нефтехимия. - 2007. - № 4. - С. 276-288.

23. Ежов В.В., Мелёхин В.В., Камалов К.Г., Муращенко М.Г., Дегтярев С.Г., Боруцкий П.Н., Марышев В.Б. Интесификация установки низкотемпературной измеризации легкой бензиновой фракции ОАО «НК «РОСНЕФТЬ» - Комсомольский НПЗ» / В.В. Ежов, В.В. Мелехин, К.Г. Камалов, М.Г. Муращенко, С.Г. Дегтярев, П.Н. Боруцкий, В.Б. Марышев// Нефтяное хозяйство. - 2006. - № 9. - С. 12-15.

24. Боруцкий П.Н., Козлова Е.Г., Красий Б.В., Москвин А.А., Пукшанский Л.И. Каталитические процессы и катализаторы. / П.Н. Боруцкий, Е.Г. Козлов, Б. В. Красий, А.А. Москвин, Л.И, Пукшанский // Межвузовский сборник научных трудов. - СПб. - 2006. - С. 89-97.

25. Теплообменник «Компаблок». Инструкция по эксплуатации. [Электронный ресурс] / Текст доступен по лицензии ООО “Альфа Лаваль” // URL: [https://www.alfalaval.ru/globalassets/documents/local/russia/service-and-support/pps00103ru\\_--compabloc.pdf](https://www.alfalaval.ru/globalassets/documents/local/russia/service-and-support/pps00103ru_--compabloc.pdf) (Дата обращения 01.04.2020.). Загл. с экрана.

26. Сорокин И.И., Боруцкий П.Н., Вихман А.Г., Мириманян А.А., Яковлев А.А. Комбинированная установка для производства автотоплив

перспективного качества на малых НПЗ / И.И. Сорокин, П.Н. Боруцкий, А.Г. Вихман, А.А. Мирамян, А.А. Яковлев // Нефтепереработка и нефтехимия. - 2007. - № 11. - С. 5-8.

27. ТР 05766646-05-2013 “Технический регламент комплекса изомеризации пентан-гексановой фракции”. – Редакция №1. – Саратов, 2013 - СарНПЗ.

28. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. / Н.Б. Варгафтик // М.: Наука, 1972. – 716 с.

29. Фармазов С.А. Оборудование нефтегазоперерабатывающих заводов. / С.А. Фармазов // М.: Химия, 1984. – 302 с.

30. Трушкова Л.В. Расчеты по химии и технологии нефти и газа: учебное пособие / Л.В. Трушкова; под ред. Р.З. Магарила. // Тюмень: ТюмГНГУ, 2001.-76 с.

31. Танатаров М.А., Ахметшина М.Н., Фасхутдинов Р.А. Технологические расчеты установок переработки нефти: Учеб. пособие для вузов. /М.А. Танатаров, М.Н. Ахметшина, Р.А. Фасхутдинов // М.: Химия, 1987. - 352 с

32. Рабинович Г.Г., Рябых П.М., Хохряков П.А. Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки: Справочник. / Г.Г. Рабинович, П.М. Рябых, П.А. Хохряков; под ред. Е.Н. Судакова. // М.: Химия, 1979. - 568 с.

33. Туболкин А.Ф., Тумаркина Е.С., Тарат Э.Я. Расчеты химико-технологических процессов: Учебное пособие для вузов – 2-е изд., перераб. и доп. / А.Ф. Туболкин, Е.С. Тумаркина, Э.Я. Тарат; под ред. И.П.Мухленова. // Л.: Химия,1982. - 248 с.

34. Романков П.Г., Курочкина М.И., Мозжерии Ю.Я. Процессы и аппараты химической промышленности. / П.Г, Романков, М.И. Курочкина, Ю.Я. Мизжерии // Л.: Химия, 1989. – 560 с.

35. Сафронов Н.А. Экономика предприятия. / Н.А. Сафронов // М.: Юрист, 2005. - 584 с.

36. Тарифы на электроэнергию в Саратове и Саратовской области. [Электронный ресурс] / Текст доступен по лицензии ООО “СПГЭС” // URL: <http://www.spges.ru/naseleniyu/tarify> (Дата обращения 18.05.2020.). Загл. с экрана.

37. Романенко И.В. Экономика предприятия. / И.В. Романенко // М.: Финансы и статистика, 2001. - 219 с.