

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Направление подготовки/профиль 18.06.01 – «Химическая технология» / 05.17.08 –  
«Процессы и аппараты химических технологий»

Инженерная школа природных ресурсов

Отделение Химической инженерии

**Научный доклад об основных результатах подготовленной  
научно-квалификационной работы**

| Тема научного доклада   |
|---|
| <b>Технология получения низкозастывающих компонентов моторных топлив переработкой<br/>прямогонных дизельных фракций на цеолитном катализаторе</b> |

УДК 665.733.665.753.4.048:544.478

Аспирант

| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| A8-52  | Богданов Илья Александрович |         |      |

Руководитель профиля подготовки

| Должность       | ФИО            | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| доцент ОХИ ИШПР | Белинская Н.С. | к.т.н.                    |         |      |

Руководитель отделения

| Должность          | ФИО            | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|--------------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| профессор ОХИ ИШПР | Короткова Е.И. | д.х.н.,<br>профессор      |         |      |

Научный руководитель

| Должность          | ФИО            | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|--------------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| профессор ОХИ ИШПР | Короткова Е.И. | д.х.н.,<br>профессор      |         |      |

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Спрос на дизельное топливо в Российской Федерации с каждым годом стабильно растёт, причем наибольший спрос приходится именно на арктическую и зимнюю марки топлива, что связано с климатическими особенностями нашей страны. Наибольшая потребность в низкозастывающем дизельном топливе характерна для отдаленных, северных и арктических территорий. Данные территории при этом обладают значительными запасами углеводородного сырья, в частности прямогонными дизельными фракциями нефти, однако их неудовлетворительные низкотемпературные свойства не позволяют использовать их в качестве товарного топлива. В случае отдаленных территорий принципиально важна возможность производства топлива по месту, поскольку доставка кратно удорожает стоимость топлива, а иногда попросту невозможна в силу отсутствия необходимой инфраструктуры. Стоит отметить, что рентабельной замены дизельному топливу, которое используется не только в качестве топлива для автотранспорта и рабочей техники, но и для обогрева помещений и выработки электричества нет. Альтернативные источники энергии не позволяют обеспечить бесперебойный доступ к теплу и электричеству в силу климатических и географических особенностей отдалённых территорий. На сегодняшний день отсутствуют малотоннажные, рентабельные технологии, позволяющие получать нефтепродукты, удовлетворяющий климатическим особенностям региона по месту.

В связи с чем, перспективным является разработка процесса, позволяющего получать низкозастывающее топливо из прямогонных дизельных фракций на малотоннажных, автономных установках.

В тоже время в области катализа все большую популярность набирают цеолитные катализаторы, позволяющие эффективно перерабатывать различное сырьё, при этом не содержат благородных металлов, характеризуются невысокой стоимостью, стойки к действию каталитических ядов, что позволяет проводить процессы без предварительной гидроочистки сырья и подачи водородсодержащего газа.

Работа выполнялась в рамках гранта РФФИ «20-38-90156 Аспиранты» по теме «Исследование закономерностей влияния технологических параметров и состава сырья в процессах получения низкозастывающих дизельных топлив переработкой на цеолитах и смешением с депрессорными присадками», а также гранта РНФ 21-73-00095 по теме «Разработка методики малотоннажного производства бензинов и низкозастывающих дизельных топлив переработкой углеводородного сырья на цеолитном катализаторе».

**Цель работы:** Разработка технологии получения низкозастывающих компонентов моторных топлив переработкой прямогонных дизельных фракций на цеолитном катализаторе.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Определение и анализ физико-химических свойств, эксплуатационных характеристик и состава прямогонных дизельных фракций,

полученных из различных нефтей, добываемых на территории Российской Федерации.

2. Реализация процесса переработки прямогонных дизельных фракций различного состава на цеолитном катализаторе на лабораторной каталитической установке в безводородной среде.

3. Определение и анализ выхода, состава и свойств продуктов переработки прямогонных дизельных фракций различного состава на цеолитном катализаторе. Выявление закономерностей влияния состава прямогонных дизельных фракций на выход, состав и свойства получаемых продуктов.

4. Реализация процесса переработки прямогонной дизельной фракции на цеолитном катализаторе на лабораторной каталитической установке в безводородной среде в условиях варьирования технологических параметров процесса (температура, давление, объемная скорость подачи сырья).

5. Определение и анализ выхода, состава и свойств продуктов переработки прямогонной дизельной фракции на цеолитном катализаторе в условиях варьирования технологических параметров процесса. Выявление закономерностей влияния технологических параметров процесса на выход, состав и свойства получаемых продуктов.

6. Выбор оптимальных технологических параметров реализации процесса.

7. Выявление закономерностей и разработка формализованной схемы превращений веществ, входящих в состав прямогонных дизельных фракций в условиях безводородной переработки на цеолитном катализаторе.

8. Разделение продукта, полученного при переработке прямогонной дизельной фракции на цеолитном катализаторе на бензиновую, керосиновую и дельную фракции. Определение и анализ выхода, состава и свойств полученных топливных фракций. Выработка рекомендаций по использованию полученных фракций для получения компонентов моторных топлив.

**Объектом исследования** в работе является технология получения низкозастывающих компонентов моторных топлив переработкой прямогонных дизельных фракций на цеолитном катализаторе.

**Предметом исследования** являются состав и свойства прямогонных дизельных фракций и полученных продуктов переработки на цеолитном катализаторе; направления превращений веществ, входящих в состав прямогонных дизельных фракций; технологические параметры реализации процесса переработки на цеолитном катализаторе.

#### **Научная новизна работы:**

1. Установлено, что переработка на цеолитном катализаторе позволяет снизить плотность, вязкость, содержания серы, молекулярную массу, значительно улучшить низкотемпературные свойства прямогонных дизельных фракций (предельная температура фильтруемости в среднем снизилась почти на 60 °С); приводит к снижению содержания парафиновых (в среднем на 19 % мас.), а также росту содержания ароматических

углеводородов в составе получаемых продуктов (в среднем на 16 % мас.). Изменения состава и свойств прямогонных дизельных фракций обусловлены протеканием реакций крекинга парафиновых и нафтеновых углеводородов, с последующим образованием ароматических углеводородов перераспределением водорода в олефинах и нафтенов посредством диенового синтеза.

2. Выявлены закономерности влияния состава прямогонных дизельных фракций на выход, состав и свойства получаемых продуктов. Показано, что с ростом содержания ароматических соединений в сырье наблюдается рост содержания ароматических соединений в получаемых продуктах; с ростом содержания нафтенов в сырье наблюдается снижение содержания нафтенов в получаемых продуктах.

3. Выявлены закономерности влияния технологических параметров процесса переработки на цеолите на выход, состав и свойства получаемых продуктов. Установлено, что увеличение температуры процесса с 350 °С до 425 °С приводит к снижению выхода жидких продуктов на 9,6 % об., утяжелению фракционного состава, а также ухудшению низкотемпературных и физико-химических свойств получаемых продуктов. Показано, что увеличение давления процесса с 0,35 МПа до 0,70 МПа приводит к снижению выхода жидких продуктов на 3,1 % об., одновременному снижению начала кипения и увеличению конца кипения, улучшению физико-химических свойств и не оказывает существенного влияния на низкотемпературные свойства получаемых продуктов. Установлено, что увеличение объемной скорости подачи сырья с 3 ч<sup>-1</sup> до 4 ч<sup>-1</sup> приводит к увеличению выхода жидких продуктов на 0,7 % об., облегчению фракционного состава, улучшению физико-химических свойств и не оказывает существенного влияния на низкотемпературные свойства получаемых продуктов.

4. Выявлены закономерности и разработана групповая формализованная схема химических превращений углеводородов, входящих в состав прямогонных дизельных фракций на цеолитном катализаторе, включающая в себя основные реакции: крекинга парафиновых и нафтеновых углеводородов, перераспределения водорода в олефинах с образованием непредельных соединений, в том числе ароматических; диенового синтеза и алкилирования с образованием нафтенов.

#### **Практическая значимость работы:**

Показано, что переработка прямогонных дизельных фракций различного состава на цеолитном катализаторе позволяет получать компоненты низкозастывающих дизельных топлив, полученные продукты по низкотемпературным свойствам соответствуют арктической марке дизельного топлива.

Установлено, что оптимальными технологическими параметрами реализации процесса безводородной переработки прямогонных дизельных фракции на цеолитном катализаторе являются температура 375 °С, давление 0,35 МПа, объемная скорость подачи сырья 3 ч<sup>-1</sup>.

Показано, что полученные продукты переработки прямогонных дизельных фракции на цеолитном катализаторе могут быть разделены на топливные фракции и использованы для получения компонентов бензинов, керосинов и дизельных топлив.

Выявленные закономерности превращений углеводородов, входящих в состав прямогонных дизельных фракций, а также закономерности влияния состава сырья и технологических параметров позволят выбирать оптимальные параметры реализации процесса для сырья различного состава, что позволит получать продукты лучшего качества с минимальными экономическими и энергетическими затратами.

Разработанная технология получения низкозастывающих компонентов моторных топлив переработкой прямогонных дизельных фракций на цеолитном катализаторе найдет свое применение на нефтегазодобывающих и нефтеперерабатывающих предприятиях, нефтебазах, автономных станциях смешения нефтепродуктов, в профильных научных и образовательных организациях, в корпоративных научно-производственных лабораториях, предприятиях оборонно-промышленного комплекса.

**Апробация работы.** Результаты работы представлены и обсуждены на научно-практических конференциях Всероссийского и Международного уровней: Школе молодых ученых «Новые катализаторы и каталитические процессы для решения задач экологически чистой и ресурсосберегающей энергетики», г. Томск, ТГУ, 9-10 сентября 2021 г.; Школе молодых ученых «Новые каталитические процессы глубокой переработки углеводородного сырья и биомассы», г. Красноярск, СФУ, 29 сентября-2 октября 2021 г.; Международной научно-практической конференции им. Д.И. Менделеева, посвященная 90-летию профессора Р.З. Магарила, г. Тюмень, ТИУ, 25-27 ноября 2021 г.; IV Scientific-Technological Symposium, г. Новосибирск, ИК им. Г.К. Борескова СО РАН, 26-30 апреля 2021 г.; XXIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера, г. Томск, ТПУ, 16-19 мая 2022 г.

**Личный вклад** состоит в выборе и обосновании актуальности научного направления исследований, проведении лабораторных испытаний для переработки прямогонных дизельных фракций в условиях варьирования углеводородного состава перерабатываемого сырья и технологических параметров, обобщении теоретических и экспериментальных закономерностей, формулировке основных положений и выводов диссертационной работы. Результаты исследований являются оригинальными и получены лично Богдановым И.А. или при его непосредственном участии.

#### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 22 работы, в том числе 2 статьи в журналах из списка ВАК, 1 статья в зарубежном издании ( $IF > 5$ ), индексируемом международной базой Scopus.

**Структура и объем работы.** Научно-квалификационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Работа изложена

на 93 страницах машинописного текста, содержит 18 рисунков, 19 таблиц, библиография включает 103 наименования.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** показана актуальность выбранной темы, сформулированы цель и задачи исследования, раскрыта научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

**В первой главе** рассмотрены основные теоретические аспекты производства дизельных топлив, существующие способы улучшения низкотемпературных свойств дизельных топлив. Также рассмотрены основы цеолитного катализа, направления протекающих химических реакций.

**Во второй главе** выполнен обзор современных способов и технологий получения низкозастывающих дизельных топлив. Наиболее применимыми являются использование депрессорных присадок и каталитическая переработка с целью улучшения низкотемпературных свойств дизельных топлив. Проведен обзор автономных малотоннажных технологий получения топлив, а также технологий получения моторных топлив на цеолитах сделаны следующие выводы:

**В третьей главе** дана характеристика объекта исследования, а также описаны методы проведения переработки прямогонных дизельных фракций на цеолитном катализаторе, анализа состава и свойств прямогонных дизельных фракций, продуктов их переработки на цеолитном катализаторе и выделенных топливных фракций.

**В четвертой главе** приведены результаты исследования состава и свойств сырьевых ДФ, продуктов их переработки на цеолитном катализаторе. Результаты по исследованию влияния технологических параметров процесса переработки на цеолите на состав и свойства получаемых продуктов. Состав и свойства выделенных топливных фракций. Проведен анализ всех полученных продуктов на соответствие требованиям стандартов. Разработана групповая формализованная схема превращений углеводородов, входящих в состав прямогонных ДФ на цеолитном катализаторе.

**В выводах** подведены итоги выполненного исследования, изложены рекомендации реализации технология получения низкозастывающих компонентов моторных топлив переработкой прямогонных дизельных фракций на цеолитном катализаторе.