

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» /
05.17.07 – «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ»

Школа Инженерная школа природных ресурсов

Отделение Отделение химической инженерии

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

Тема научного доклада
Разработка и применение нестационарной математической модели процесса гидродепарафинизации дизельных фракций нефтяного сырья

УДК 665.637.7:519.876

Аспирант

Группа	ФИО	Подпись	Дата
A6-51	Луценко Алексей Сергеевич		

Руководитель профиля подготовки

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОХИ	Иванчина Эмилия Дмитриевна	д.т.н., профессор		

Руководитель отделения

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой – руководитель отделения на правах кафедры	Короткова Елена Ивановна	д.х.н., профессор		

Научный руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОХИ	Иванчина Эмилия Дмитриевна	д.т.н., профессор		

Общая характеристика работы

Актуальность работы

Спрос на зимнее дизельное топливо в РФ связан с большей частью территории страны, расположенной в холодных климатических зонах. Более чем две трети площади страны это местности, приравненные к районам Крайнего Севера и районы Крайнего Севера.

Наибольшую долю в структуре потребления дизельного топлива занимает транспорт (27 %), сельское хозяйство (25 %), промышленность (23 %), строительство (8 %). Спрос на зимнее дизельное топливо будет увеличиваться в связи с развитием, главным образом, транспорта и промышленности. Основным драйвером развития сектора грузоперевозок, по мнению аналитиков, будет увеличение спроса на потребительские товары. Примерно 67 % от общего перевезённого груза в РФ приходится на долю грузоперевозок автомобильным транспортом. В 2018 году в РФ автотранспортом перевезено 5544 млн. тонн груза. Рост в 2015 – 2018 гг. в среднем составил 60 млн. тонн груза в год. Ежегодно возрастает количество единиц грузового автотранспорта. Рост количества грузовых дизельных автомобилей с 2015 – 2018 гг. составил 4 %. По состоянию на 2018 год общее количество составляет 6525,3 тысяч штук. Кроме того, возрастает доля легковых дизельных автомобилей. За период 2006 – 2019 гг. доля дизельных легковых и легких коммерческих автомобилей в общем автопарке РФ возросла с 2 до 8 %.

В связи с ужесточением экологических и эксплуатационных требований к дизельному топливу процесс гидродепарафинизации остается востребованным. Основное преимущество данного способа производства перед другими – более широкая сырьевая база, в процесс могут вовлекаться более тяжелые фракции. В период 2015 – 2019 гг. произошло сокращение производства топочного мазута в связи с повышением ставки экспортной пошлины. Одним из возможных направлений переработки мазута является его частичное вовлечение в процесс гидродепарафинизации.

В настоящее время несколько отечественных НПЗ эксплуатируют установки каталитической гидродепарафинизации и накоплен некоторый опыт проектирования и промышленной эксплуатации. Однако проблемы повышения их эффективности остаются актуальными.

Существует несколько направлений повышения эффективности установок нефтепереработки: повышение селективности и увеличение межрегенерационного цикла катализаторов, усовершенствование конструктивных характеристик аппаратов, повышение точности контрольно-измерительных средств. Моделирование процессов нефтепереработки также является одним из способов повышения эффективности процесса: математические модели процессов позволяют всесторонне изучать поведение процесса в условиях его нестационарности, проводить оптимизационные и прогностические расчеты.

Тема исследовательской работы, посвящена совершенствованию процесса гидродепарафинизации с применением математической модели.

Цель научно-квалификационной работы

Целью данной работы является повышение эффективности процесса каталитической гидродепарафинизации путём прогнозирования поведения процесса в условиях нестационарности с применением математической модели.

Объектом исследования является промышленный процесс каталитической гидродепарафинизации дизельной фракций.

Предметом исследования являются физико-химические закономерности процессов химического превращения углеводородов дизельной фракции на поверхности бифункционального катализатора.

Научная новизна

1) Установлено что, основной причиной дезактивации бифункционального катализатора гидродепарафинизации является образование кокса на поверхности. Скорость реакций образования кокса сопоставимы со скоростью целевых реакций гидрокрекинга и изомеризации, скорости составляют порядка 10^{-2} л·с⁻¹·моль⁻¹ и 10^{-4} с⁻¹. Относительная активность катализатора зависит от скорости образования кокса и может быть рассчитана по уравнению:

$$a_j = A_j \cdot \exp(-\alpha_j \cdot C_K)$$

где a_j – относительная активность катализатора; A_j α_j – коэффициенты дезактивации, определяемые экспериментально; C_K – концентрация кокса на поверхности катализатора, % масс., рассчитывается через решение системы дифференциальных уравнений.

2) Установлено, что оптимальная температура и оптимальный расход ВСГ зависит от состава сырья, расхода сырья и текущей активности катализатора. Температура в реакторе должна обеспечивать необходимый уровень конверсии н-парафинов для достижения надлежащих низкотемпературных свойств продукта. При этом температура выше оптимальной нежелательна из-за снижения выхода продукта и увеличения скорости закоксовывания катализатора. Скорость дезактивации зависит от парциального давления водорода и регулируется изменением расхода ВСГ. Установлено, что при максимальной начальной активности катализатора, расходе сырья 200 м³/ч, содержании н-парафинов в сырье 17 % масс. оптимальная температура процесса 330 – 335 °С, подача ВСГ 30000 – 32000 нм³/ч. Оптимальная температура и оптимальный расход ВСГ должны определяться в динамике процесса.

3) Установлена возможность вовлечения атмосферного газойля в процесс каталитической гидродепарафинизации с вовлечением атмосферного газойля от 35 до 100 %. Установлено, что оптимальной температурой переработки сырья с вовлечением атмосферного газойля при расходе 250 м³/ч и максимальной активности составляет 340 – 350 °С с последующим вынужденным повышением температуры на 2–5 °С/млн.тонн сырья в зависимости от количества вовлекаемого газойля. Оптимальный расход ВСГ

составляет от 38000 нм³/ч при начальной активности катализатор с последующим повышением до 45000 нм³/ч.

Теоретическая значимость работы

Результаты работы обобщают и расширяют знания и представления о процессе каталитической гидродепарафинизации и физико-химических закономерностях его протекания.

Практическая значимость работы

Разработанная прогностическая модель процесса гидродепарафинизации позволяет решить ряд научно-производственных задач:

- возможность обработки экспериментальных данных с действующих установок каталитической гидродепарафинизации и расчет оптимальных параметров технологического режима с учетом нестационарности процесса и формирование практических рекомендаций;

- разработанная моделирующая система используется для целей обучения студентов Томского политехнического университета при реализации лабораторных и практических работ, для дипломного проектирования по направлениям «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» и «Химическая технология».

Методология исследования

Методологией построения математической модели является стратегия системного анализа. Методология построения разработана научной школой Кравцова А.В. для алгоритмизации математического моделирования каталитических процессов нефтепереработки на физико-химической основе.

В соответствии с методологией последовательно выполняются операции: расчет термодинамических параметров; формирование схемы превращений углеводородов; определение кинетических параметров.

Методы исследования

Основным методом исследования поведения процесса каталитической гидродепарафинизации является математическое моделирование. Для определения физико-химических свойств сырья и продуктов использовали стандартные методы испытаний (ГОСТы).

Апробация работы

Результаты исследований были представлены на научных конференциях и симпозиумах всероссийского и международного уровней:

- XXI Международный научный симпозиум имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2017 г.); XVIII Международная научно-техническая конференция студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва «Химия и химическая технология в XXI веке» (г. Томск, 2017 г.);

- XXII Международный научный симпозиум имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2018 г.); XIX Международная научно-техническая конференция студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва «Химия и химическая технология в XXI веке» (г. Томск, 2018 г.); XXIII

Международная конференция по химическим реакторам «Химреактор-23» (г. Гент, Бельгия, 2018 г.).

- XX Международная научно-техническая конференция студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва «Химия и химическая технология в XXI веке» (г. Томск, 2019 г.);

Личный вклад состоит в обосновании актуальности научного направления исследований, определении физико-химических закономерностей нестационарного процесса гидродепарафинизации, обобщении теоретических и экспериментальных знаний о процессе, формулировке основных положений и выводов исследовательской работы, проведении оптимизационных и прогностических расчетов, формировании рекомендаций по оптимальным режимам работы реактора гидродепарафинизации с учетом условий нестационарности процесса. Результаты исследовательской работы получены автором или при его активном участии.

Публикации

По результатам исследований опубликовано 19 работ, в том числе 6 научных статей в журналах ВАК, 2 статьи в зарубежных изданиях, из баз Scopus и Web of Science, получено 1 свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность выбранного направления работы, сформулированы цель и задачи работы, теоретическая и практическая значимость, научная новизна работы.

В первой главе сделан обзор результатов научно-технических достижений, определены актуальные нерешенные проблемы, существующие на текущий момент, в области повышения эффективности процесса каталитической гидродепарафинизации.

Во второй главе дана характеристика объекта исследования, описаны методы исследования, применяемые в научной работе. Представлены экспериментальные данные промышленных испытаний процесса гидродепарафинизации дизельных фракций.

В третьей главе приведены результаты исследований проблемы дезактивации катализатора гидродепарафинизации, определены основные причин дезактивации катализатора и способ её математического описания, результаты исследований проблемы группового состава сырья, установлены кинетические и гидродинамические закономерности протекания нестационарного процесса в промышленных условиях, предложена функция оптимизации процесса.

В четвертой главе рассмотрено влияние технологических параметров процесса гидродепарафинизации дизельных фракций на качество гидрогенезата в зависимости от состава перерабатываемого сырья и изменяющейся активности катализатора (в условиях нестационарности). Сформированы рекомендации по оптимальным режимам с учетом

нестационарности процесса. Оценена возможность вовлечения в процесс атмосферного газойля.

В заключении по результатам выполненного исследования сформулированы основные выводы, даны рекомендации по оптимальным режимам процесса гидродепарафинизации каталитической переработки прямогонных дизельных фракций с вовлечением атмосферного газойля.