



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по НРи И
И.Б. Степанов

30.04 2019 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский Томский
политехнический университет»

Диссертация «Закономерности каталитического превращения углеводородов в процессе риформинга бензинов при снижении давления» выполнена в Отделении химической инженерии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

В период подготовки диссертации соискатель Пчелинцева Инна Вагизовна обучалась в очной аспирантуре Национального исследовательского Томского политехнического университета.

В 2014 г. окончила Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по направлению подготовки «Химическая технология».

Диплом об окончании аспирантуры выдан Национальным исследовательским Томским политехническим университетом в 2018 г. Справка о сдаче кандидатского экзамена по специальности 05.17.07 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ выдана Национальным исследовательским Томским политехническим университетом в 2019 г.

Научный руководитель – Иванчина Эмилия Дмитриевна, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Отделение химической инженерии Инженерной школы природных ресурсов, д.т.н., профессор.

Обсуждение проходило на научном семинаре 18 марта 2019 г.

На семинаре присутствовали:

1. Короткова Е.И., профессор, д.х.н., руководитель ОХИ

2. Ивашкина Е.Н., профессор, д.т.н.
3. Иванчина Э.Д., профессор, д.т.н.
4. Попок Е.В., доцент, к.т.н.
5. Кривцова Н.И., доцент, к.т.н.
6. Самборская М.А., доцент, к.т.н.
7. Левашова А.И., доцент, к.т.н.
8. Маслов С.Г., доцент, к.т.н.
9. Архипов В.С., зав. лаб., к.т.н.
10. Белинская Н.С., доцент, к.т.н.
11. Францина Е.В., научный сотрудник, к.т.н.
12. Чернякова Е.С., доцент, к.т.н.
13. Долганова И.О., научный сотрудник, к.т.н.
14. Долганов И.М., доцент, к.т.н.
15. Вольф А.В., ассистент
16. Гавриков А.А., старший преподаватель
17. Чузлов В.А., ассистент

Вопросы задавали Чернякова Е.С., Попок Е.В., Францина Е.В., Кривцова Н.И., Ивашкина Е.Н., Чузлов В.А., Долганов И.М., Левашова А.И. Были заданы следующие вопросы:

1. Поясните, что понимается под термином «потенциал катализатора»? Почему не используется термин «эффективность» или «активность»?
2. Как были получены термодинамические параметры?
3. В чем заключается преимущественные отличия от предыдущих работ по каталитическому риформингу?
4. Рассчитывалось ли равновесие химических реакций?
5. Какой порядок имеют реакции в кинетической модели?
6. Почему был выбран первый порядок реакций?
7. Каковы температуры выкипания тяжелых фракций?
8. Какие программные продукты были использованы для расчета материального и теплового баланса?
9. Используется ли представленная технологическая схема на производстве?
10. Какие катализаторы используются в промышленной технологии риформинга?
11. Каковы перспективы процесса каталитического риформинга в части перехода на более низкое давление?
12. Каковы перспективы развития процесса каталитического риформинга в России?
13. В какой фазе протекает процесс?
14. Используется ли ВСГ в процессе?
15. Как учитывается влияние ВСГ в модели?

16. Отличаются ли кинетические параметры модели для разных каталитических систем?

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Актуальность работы

Каталитический риформинг – один из базовых, наиболее масштабных и наукоемких процессов нефтепереработки в России и за рубежом в связи с неуклонным ростом потребления автомобильных топлив. Проблема оптимизации процесса каталитического риформинга бензина с целью увеличения выхода целевого продукта высокого качества более чем актуальна в России, где доля риформатов в общем объеме бензинового фонда превышает 50 % об. Совершенствование процесса каталитического риформинга бензинов может осуществляться в направлении разработки катализаторов с более высокой активностью и селективностью, модернизации промышленного оборудования и оптимизации технологического режима процесса.

Процессу улучшения каталитических свойств платиносодержащих катализаторов риформинга посвящено довольно внушительное количество работ и исследований: современные промышленные полиметаллические катализаторы риформинга содержат лишь незначительные количества платины, составляющие доли процента, и при этом обеспечивают существенный выход продукта с высокими октановыми числами.

Эффективность промышленного процесса риформинга также обеспечивается технологическими условиями его проведения. В ходе анализа возможных путей оптимизации процесса каталитического риформинга бензинов было выявлено, что сравнительно меньшее количество работ посвящено исследованию влияния технологических условий на процесс. Данное направление определило актуальность выполнения данной работы.

Рабочее давление – один из основных технологических параметров, оказывающее влияние на выход и качество получаемого продукта – катализата. Изначально при эксплуатации промышленной установки каталитического риформинга задано определенное давление, которое почти не изменяется в течение времени. С одной стороны, варьируя давление в меньшую сторону, можно добиться увеличения выхода и октанового числа риформата, водорода и ароматических углеводородов вследствие смещения равновесия реакции дегидрирования и дегидроциклизации. Тем не менее, одновременно с увеличением выхода и улучшением качества продукта, происходит более быстрое закоксовывание катализатора, что неизбежно ведет к его скорой дезактивации и сокращению рабочего цикла. Также следует учитывать непостоянный состав углеводородного сырья, которое определяющим образом влияет на выход и качество продукта, а также коксообразование.

Установление закономерностей влияния рабочего давления на процесс каталитического риформинга и нахождение значения, при котором достигается оптимальное соотношение между выходом/качеством и скоростью

коксонакопления в условиях непостоянства состава углеводородного состава сырья является целью данной работы.

Личное участие соискателя в получении результатов

Личный вклад состоит в выборе и обосновании актуальности тематики исследования, постановки задачи научно-квалификационной работы, определении степени проработанности проблемы, формулировке основных положений и выводов, обобщении теоретического и экспериментального материала по теме, проведении расчётов в условиях изменения углеводородного состава сырья и технологических условий, определении термодинамических и кинетических параметров реакций.

Степень достоверности проведенных исследований

Достоверность результатов, полученных в диссертационной работе, подтверждается массивом экспериментальных данных с промышленных установок, полученных в широких пределах изменения технологических режимов работы и состава сырья; оценкой адекватности модели экспериментальным данным, по результатам которой абсолютная погрешность расчетов сопоставима с погрешностью лабораторного определения индивидуального углеводородного состава и не превышает 1,5 мас.%; обсуждением основных положений диссертационного исследования на всероссийских и международных научных мероприятиях и их публикацией в рецензируемых научных журналах.

Научная новизна результатов проведенных исследований

Установленные закономерности каталитического превращения углеводородов в процессе риформинга бензинов при снижении давления позволили повысить эффективность использования сырья и катализатора. При этом:

1. Установлено, что снижение давления в интервале с 1,5 до 1,2 МПа при температуре 478-481°C и объемной скорости 1,4 час⁻¹ приводит к увеличению выхода на 1-2% масс. за счет возрастания интенсивности протекания реакций ароматизации и уменьшения скорости реакций гидрокрекинга в зависимости от состава перерабатываемого сырья и типа катализатора, но при этом не оказывает влияния на протекание реакций изомеризации.
2. Показано, что снижение давления ограничено требованиями стабильности работы катализатора вследствие возрастания скорости коксообразования. Установлено, что при температуре входа 478 °С, расходе сырья 64,3 м³/ч и сырье (Пар/(Нафт+Аром)=0,88, н-Пар/и-Пар=0,68) суммарное количество кокса равномерно увеличивается на 0,5-1% масс. в зависимости от давления и типа катализатора. Показана необходимость нахождения оптимальных условий ведения процесса, при котором будет достигнут максимальный выход продукта заданного качества при условии

сохранения скорости коксонакопления, не лимитирующей целевые реакции процесса.

3. Предложено, что критерием оптимальности является количество целевого продукта, выраженного в октано-тоннах. Расчеты, проведенные на математической модели при различном давлении процесса, показали, что при переработке сырья, содержащего большее количество нафтеновых углеводородов по сравнению с парафиновыми, желателен поддерживать давление 1,2-1,5 МПа.

Теоретическая значимость работы заключается в определении термодинамических и кинетических закономерностей каталитического превращения углеводородов в процессе риформинга в условиях снижения давления.

Практическая значимость работы

Предложены прогностические модели процесса каталитического риформинга бензинов, применение которой обеспечило возможность обработки экспериментальных данных с действующих установок и выдачи практически ценных рекомендаций по оптимизации параметров технологического режима процесса для достижения оптимального уровня превращения исходного сырья в продукт.

Ценность научных работ соискателя и полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

По теме научно-квалификационной работы опубликовано 14 работ, в том числе 3 научные статьи в журналах из списка ВАК, 6 научных статей в зарубежных изданиях, индексируемых базами Scopus и Web of Science.

Основные результаты опубликованы в работах:

Статьи в центральной печати (перечень ВАК):

1. Пчелинцева (Якупова) И.В. Повышение ресурсоэффективности процесса каталитического риформинга бензинов методом математического моделирования / Иванчина Э.Д., Шарова Е.С., Якупова И.В. // Известия вузов. Химия и химическая технология. - 2014 - Т. 57 - №. 11. - С. 87-89
2. Пчелинцева (Якупова) И.В. Анализ эффективности снижения давления на установке риформинга методом математического моделирования / Пчелинцева И.В., Иванчина Э.Д., Чернякова Е.С. // Мир нефтепродуктов. - 2018 - №4 - с.24
3. Пчелинцева (Якупова) И.В. Интенсификация процесса регенерации катализаторов риформинга в реакторах со стационарным и движущимся слоем / Иванчина Э.Д., Чернякова Е.С., Кокшаров А.Г., Фалеев С.А., Чузлов В.А., Пчелинцева И.В. // Нефтепереработка и нефтехимия. - 2018 - №. 5. - С. 6-10

Статьи в зарубежных изданиях, индексируемых базами Scopus, Web of Science:

4. **Yakupova I.V.** Computer modelling system application for catalytic reforming unit work optimisation / Ivanchina E.D., Chernyakova E.S., Syskina A.A., Yakupova I.V. // *Procedia Chemistry*. - 2014 - Vol. 10. - p. 192-196
5. **Yakupova I.V.** Mathematical modelling method application for optimisation of catalytic reforming process / Ivanchina E.D., Chernyakova E.S., Yakupova I.V. // *Procedia Chemistry*. - 2014 - Vol. 10. - p. 197-202
6. **Yakupova I.V.** Heavy naphtha fractions 85-155 C recycling in the catalytic reforming industrial unit / Chernyakova E.S., Koksharov A.G., Ivanchina E.D., Yakupova I.V. // *Procedia Chemistry*. - 2015 - Vol. 15. - p. 378-383
7. **Yakupova I.V.** Performance prediction of the catalyst PR-81 at the production unit using mathematical modeling method / Yakupova I.V., Chernyakova E.S., Ivanchina E.D., Beliy A.S., Smolikov M.D. // *Procedia Engineering*. - 2015 - Vol. 113. - p. 51-56
8. **Yakupova I.V.** Coke formation reduction in the catalytic reforming reactors at the optimal catalyst activity / Chernyakova E.S., Ivanchina E.D., Yakupova I.V., Vinidiktova M.V., Seytenova G.Z. // *Petroleum and Coal*. - 2016 - Vol. 58 - №. 7. - p. 746-752
9. **Yakupova I.V.** Bifunctional pt-re reforming catalysts properties modelling / Koksharov A.G., Faleev S.A., Chernyakova E.S., Ivanchina E.D., Yakupova I.V., Chuzlov V.A. // *Petroleum and Coal*. - 2016 - Vol. 58 - №. 7. - p. 726-731

Другие публикации:

10. **Yakupova I.V.** Optimisation of operating conditions of catalytic reforming catalyst in industrial reactors by method of mathematical modelling / Ivanchina E.D., Sharova E.S., Yakupova I.V. // XXI International Conference on Chemical Reactors (CHEMREACTOR 21) : abstracts/ Delft University of Technology, TU Delft Process Technology Institute, The Netherlands; ed.: A.S.Noskov, Delft, September 22-25, 2014. - Novosibirsk: Boreskov Institute of Catalysis SB RAS, 2014 - p. 334-335 – CD
11. **Якупова И.В.** Анализ эффективности снижения давления на установке каталитического риформинга методом математического моделирования / Якупова И.В., Иванчина Э.Д., Чернякова (Шарова) Е.С. // *Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: материалы 6-й Международной научно-технической конференции, Омск, 25-30 Апреля 2016.* - Омск: ОмГТУ, 2016 - С. 43
12. **Yakupova I.V.** The reactor pressure effect on the reforming catalyst lifetime / Yakupova I.V., Kirillova M.D., Chernyakova E.S., Ivanchina E.D. // *Catalytic Hydroprocessing in Oil Refining (STS 2016): II Scientific-Technological*

Symposium: abstracts, Belgrad, April 17-23, 2016. - Novosibirsk: Borekov Institute of Catalysis SB RAS, 2016 - p. 165-166

13. **Yakupova I.V.** Calculation of PR-9 catalyst characteristics under reduced pressure in the reforming unit industrial reactor / Yakupova I.V. , Chernyakova E.S. , Ivanchina E.D. // XXII International Conference on Chemical Reactors (CHEMREACTOR-22): Abstracts, London, September 19-23, 2016. - Novosibirsk: Borekov Institute of Catalysis SB RAS, 2016 - p. 354-355 – CD
14. **Yakupova I.V.** Analysis of pressure reducing effectiveness in the reforming industrial unit with mathematical modelling method using / Yakupova I.V., Chernyakova E.S., Koksharov A.G. // MATEC Web Conf. - Volume 85, 2016, Chemistry and Chemical Technology in XXI Century (CCT 2016)

Диссертация «Закономерности каталитического превращения углеводородов в процессе риформинга бензинов при снижении давления»

Пчелинцевой Инны Вагизовны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.07 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Заключение принято на заседании Отделения химической инженерии Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Присутствовало на заседании 17 человек, Результаты голосования «за» – 17 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол № 12 от «18» марта 2019 г.

Председатель

Е.И. Короткова, д.х.н., профессор,
руководитель ОХИ

Секретарь

Н.С. Белинская, к.т.н., доцент