

Список литературы

1. Xian M. *Sustainable production of bulk chemicals*. – Springer Netherlands, 2016.
2. Dietrich K., Dumont M.J., Del Rio L.F., Orsat V. *Producing PHAs in the bioeconomy-Towards a sustainable bioplastic // Sustainable production and consumption*. – 2017. – № 9. – P. 58–70.
3. Pat. 7198695 USA. *Method for separating hemicelluloses from a biomass containing hemicelluloses and biomass and hemicelluloses obtained by said method / Kettenbach, G., Stein, A.* – 2007, Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
4. Fu Z., Wang Z., Lin W., Song W., Li S. *High efficient conversion of furfural to 2-methylfuran over Ni-Cu/Al₂O₃ catalyst with formic acid as a hydrogen donor // Applied Catalysis A: General*. – 2017. – V. 547. – P. 248–255.
5. Zhang J., Wu D. *Aqueous phase catalytic hydrogenation of furfural to furfuryl alcohol over in-situ synthesized Cu-Zn/SiO₂ catalysts // Materials Chemistry and Physics*. – 2021. – V. 260. – P. 124152.
6. Jiménez-Gómez C.P., Cecilia J.A., Franco-Duro F.I., Pozo M., Moreno-Tost R., Maireles-Torres P. *Promotion effect of Ce or Zn oxides for improving furfuryl alcohol yield in the furfural hydrogenation using inexpensive Cu-based catalysts // Molecular Catalysis*. – 2018. – V. 455. – P. 121–131.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА ПОЛУРЕГЕНЕРАТИВНОГО ТИПА С УЧЕТОМ ВОВЛЕЧЕНИЯ УТЯЖЕЛЕННОГО СЫРЬЯ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

Д. Б. Тажмуликов¹, И. В. Пчелинцева²

Научные руководители – к.т.н., доцент Е. С. Чернякова; д.т.н., профессор Е. Н. Ивашкина

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
dbt11@tpu.ru

²ООО «Исследовательский центр ГазИнформПласт»
634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 8/8
PchelincevaIV@tomsk.oilteam.ru

Каталитический риформинг бензинов был и остается одним из ключевых процессов по получению топлив с улучшенными октановыми характеристиками. Согласно прогнозам [1], спрос на высокооктановые топлива будет расти вплоть до 2045 года, тогда как в развитых странах движущей силой развития и модернизации процесса будет служить повышение качества моторных топлив.

Наиболее распространённым сырьем риформинга является прямогонная нефть 85–180 °С, но возможно вовлечение дополнительных потоков вторичного происхождения. В связи с расширением сырьевой базы риформинга на предприятиях с технологией глубокой переработки нефти, возникает необходимость прогнозирования работы промышленных установок при переработке разного типа сырья. Подобную задачу возможно решить с использованием строгой математической модели процесса, которая учи-

тывает реакции с участием широкого спектра углеводородов.

Существует несколько математических моделей каталитического риформинга для исследования и прогнозирования показателей процесса, разработанных разными учёными [2–5]. Одна из успешно применяемых моделей разработана в Томском политехническом университете в рамках научной школы профессоров А. В. Кравцова и Э. Д. Иванчиной [5]. Вовлечение в процесс риформинга сырья вторичного происхождения обуславливает необходимость совершенствования существующей модели. Таким образом, целью данного исследования стала разработка усовершенствованной реакционной схемы процесса каталитического риформинга бензиновых фракций различного происхождения и создание на ее основе кинетической модели.

На первом этапе были определены составы сырьевых потоков, которые могут быть направлены на установку риформинга. В качестве

исследуемых образцов были выбраны гидроочищенная прямогонная нефтя, нефтя гидрокрекинга и дегазированный конденсат. Исследование состава проводилось методом газовой хроматографии с использованием современного оборудования. Согласно полученным результатам, в нефтя гидрокрекинга доля олефиновых углеводородов достигает до 1,74 % масс., что выше, чем в образцах прямогонной нефтя. Повышенное содержание непредельных углеводородов, а также тяжелых углеводородов C_{9+} , которые не содержатся в таких количествах в прямогонной нефтя риформинга, служат основанием для расширения существующей схемы превращений.

Опираясь на полученные результаты хроматографических исследований состава бензиновой фракции различного происхождения, был составлен список химических реакций с уча-

стием компонентов C_1-C_{12} , который включает в себя 200 обратимых и необратимых реакций с участием 51 компонента. Усовершенствованная схема учитывает участие олефинов в реакциях полимеризации и конденсации, приводящих к образованию кокса на платиновом катализаторе.

Следующим этапом стал расчет термодинамических параметров реакций и компонентов, участвующих в схеме. Для расчетов были использованы справочные данные [6]. По полученным расчетам были составлены кинетические уравнения реакций, формирование матрицы реакций, а также составление уравнения модели реактора. Для реализации использована интерпретируемая среда программирования Python.

Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда, проект № 19-71-10015-п.

Список литературы

1. *World Oil Outlook 2023 Organization of the Petroleum Exporting Countries*. URL: <https://www.pec.org/pdf-download/>.
2. Zagoruiko A.N., Belyi A.S., Smolikov M.D., Noskov A.S. // *Catal. Today*. – 2014. – 220–227. – P. 168–177.
3. Дюсембаева А.А., Вершинин В.И. // *Кинетика и катализ*. – 2019. – Т. 60. – № 1. – С. 129–135.
4. Ancheyta J., Villafuerte E., Garcna L., Gonzalez E. // *Energy Fuels*. – 2001. – 15. – P. 887–893.
5. Ivanchina E., Chernyakova E., Pchelintseva I., Poluboyartsev D. // *Oil & Gas Science and Technology – Revue d'IFP Energies nouvelles, Institut Français du Pétrole (IFP)*. – 2021. – 76. – P. 64.
6. Сталл Д. *Химическая термодинамика органических соединений: пер. с англ.* – Москва, 1971. – 809 с.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДУЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ

А. К. Теркина

Научный руководитель – к.т.н., доцент И. М. Долганов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
angterkina@gmail.com

Газовые гидраты – это кристаллические соединения, состоящие из газовых молекул, включенных в кристаллическую решетку воды. Эти структуры образуются при низких температурах и высоких давлениях.

Образование газовых гидратов в трубопроводе может привести к значительным проблемам на производстве, таким как закупорка трубопровода, повышение давления потока, уменьшение срока службы оборудования и рост риска аварий. Поэтому необходимо предпринимать меры для их предотвращения. В связи с этим возникает необходимость в создании математическо-

го модуля для расчета температуры и давления образования газовых гидратов.

Большинство методик расчета параметров гидратообразования основано на универсальных эмпирических формулах, полученных при обработке большого числа экспериментальных данных. В связи с недоступностью специализированного ПО, а также высокой погрешностью большинства известных методов, ставится задача в нахождении оптимальной методики расчета и возможной ее модификации.

В данной работе рассматривается метод расчета температур Макагона-Скалахо и его мо-