

Name	ппф-рец-3	наК14/2изм	куБК-14/2изм	фрПРОПИЛЕ		ппф-рец-3	наК14/2изм	куБК-14/2изм	фрПРОПИЛЕН.
Varpour	0,9998	0,0000	0,0000	0,0000	Methane	0,000000	0,000400	0,000000	0,000555
Temperature [C]	30,15	42,00	29,71	21,17	Ethane	0,000000	0,000500	0,000000	0,000693
Pressure [kPa]	1100	1667	1090	1050	Propane	0,890546	0,267534	0,894441	0,008000
Molar Flow [kgmole/h]	456,8	140,0	495,8	101,0	i-Butane	0,002392	0,014707	0,006357	0,000000
Mass Flow [kg/h]	2,006e+004	6000	2,181e+004	4250	1-Butene	0,000168	0,001301	0,000522	0,000000
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	39,47	11,59	42,90	8,163	Propene	0,106894	0,715558	0,098680	0,990752
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-9,028e+004	-2,896e+004	-1,072e+005	3363					
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	177,0	134,0	164,8	94,62					
Heat Flow [kJ/h]	-4,124e+007	-4,054e+006	-5,317e+007	3,397e+005					

а

б

Рис. 2. Значения технологических режимов (а) и компонентный состав потоков (б) колонны К-14/2изм-2 (распечатка в Honeywell UniSim Design)

порядка 0,03 % мас [4]. Разработанные модели технологических схем концентрирования пропилена из ППФ могут использоваться для оцен-

ки режимных и конструкционных параметров массообменных колонн и анализа достигаемых показателей процесса.

Список литературы

1. *Технические условия ТУ 0272-024-00151638-99 «Фракция пропан-пропиленовая марок А, Б, В. Технические условия» (с изменениями № 1–4)*
2. *Honeywell Unisim Design. User Guide, 2013.*
3. *Specifications TU 0272-023-00151638-99 “Propane fraction. Specifications” (as amended № 1–4).*
4. *Permanent Process Regulations of JSC “NOC” “Propylene Concentration Unit” № TR-39, 2022.*

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЦЕССА КРЕКИНГА НА КОНВЕРСИЮ РЕАКЦИИ ПОЛУЧЕНИЯ БУТИЛЕНА

С. К. Форутан

Научный руководитель – д.т.н., профессор Е. Н. Ивашкина

Отделение химической инженерии Инженерной школы природных ресурсов национального исследовательского Томского политехнического университета
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, Foroutan.saba@hotmail.com

Годовой объем производства бутенов составляет около 132 млн т, и прогнозируется рост на 4 % в год. Изобутен в основном используется в качестве сырья для производства алкилатов, а также для производства высокооктановых добавок к бензиновым смесям, включая МТБЭ и ЭТБЭ. Около 30 млн т в год приходится на изобутен, произведенный на НПЗ посредством FCC [1, 2]. Поэтому оптимизация процесса каталитического крекинга для получения легких олефинов является важной задачей.

Цель работы – определить условия достижения максимально возможного выхода бутиленов в реакции крекинга октена. В качестве инструмента численного исследования выбран программный продукт Response Surface Central Composite Design, использующий расчетный модуль статистического моделирования DX-13. В данной работе была выбрана реакция вторичного крекинга $C_8H_{16} \rightarrow C_4H_8$, как основная реакция получения бутилена в FCC. Были проанализированы реакции с участием всех изомеров октена (1-ок-

тен, 1,2-диметилциклогексан, 1,3-диметилциклогексан, 1,4-диметилциклогексан, циклоктан, этилциклооктан и пропициклопентан) и бутена (1-бутен, 2-бутен, 2-метилпропен). Исследования выполнены для рабочего диапазона изменения основных термобарических параметров: Р – 0,78–1,6 бар (А), исходная концентрация реагента пропициклопентана – 1,5–6,0 моль (В), исходная концентрация продукта 1-бутена – 1,5–6,0 моль (С) для Т = 788–903 К.

ΔG реакции при 788К, 848К и 903К получено методом функциональных групп в предыдущей работе [3] и равно –2,06, –11,86, –20,64 кДж/моль соответственно. На данном этапе исследований были построены модели для расчета равновесной концентрации пропициклопентана (реагент) и 1-бутена (продукт) с использованием расчетного инструмента DX-13. Оценка надежности моделей выполнена с использованием метода ANOVA. Полученные по моделям значения равновесных концентраций сравнивались с литературными данными и результатами

расчетов классическими методами на основе уравнений (1–3):

$$\ln K = \frac{-\Delta G}{RT} \quad (1)$$

$$\prod_i (y_i)^{\theta_i} = \left(\frac{P}{P^0}\right)^{-\theta} K \quad (2)$$

$$y_i = \frac{n_i}{n} \quad (3)$$

В табл. 1 представлены полученные модели равновесных концентраций пропилциклопентана и 1-бутена при различных температурах.

Анализ моделей методом ANOVA позволяет проверить их достоверность с F-value и P-value < 0,05 на основе R² и adj. R². В таблице 3 показаны результаты анализа ANOVA с наивысшей точностью. Анализа показал, что полученные модели достоверно описывают значения равно-

весных концентраций в диапазоне изменения T = 788–903 К (R² = 0,9992–1,000).

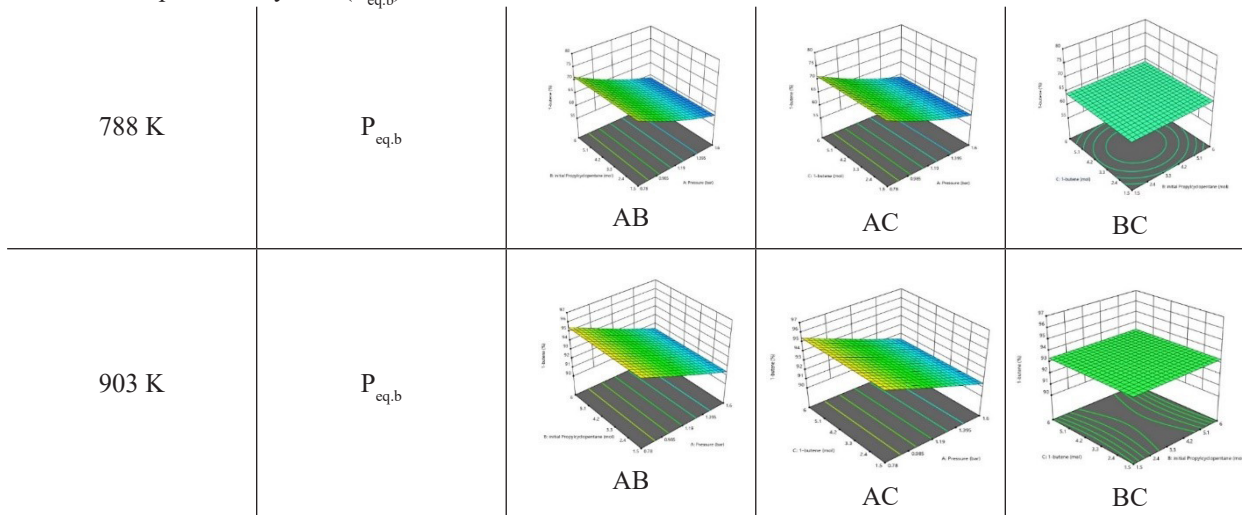
Сравнение результатов, полученных на основе моделей и рассчитанных классическими методами показало, что построенные модели с высокой точностью описывают изменение равновесных концентраций в реакции вторичного крекинга C₈H₁₆ → C₄H₈. Погрешность расчетов не превышает 0,05 %. В таблице 2 приведены результаты численных исследований по влиянию исследуемых параметров (A, B, C) на равновесную концентрацию.

Можно сделать вывод, что на равновесную концентрацию 1-бутена значительное влияние оказывает давление процесса, в то время как температура оказывает лишь косвенное влияние. Только при высокой температуре порядка 903 К видно заметное влияние этого параметра на молярную концентрацию реагента.

Таблица 1. Модели равновесной концентрации исходных веществ и продуктов

T, К	Равновесная концентрация пропилциклопентана (%)	Равновесная концентрация 1-бутена (%)
788	9,3361 + 29,6017 A – 6,1291 A ²	90,6538 – 29,6017 A + 6,1291 A ²
848	1,0354 + 14,9297 A – 2,1712 A ²	98,9545 – 14,9297 A + 2,1712 A ²
903	0,0353 + 6,2006 A – 0,5523 A ² – 0,0005 B ²	99,9569 – 6,2058 A + 0,5545 A ² + 0,0006 B ²

Таблица 2. Влияние параметров процесса (температуры, давления и состава смеси) на равновесную концентрацию 1-бутена (P_{eq,b})



Список литературы

- Gholami Z., Gholami F., Tisler Z., Hubasek J., Tomas M., Basiak M., Vakili M. (2022) Production of light olefins via Fischer-Tropsch process using iron-based catalysts: A review, *Catalysts*, 12, P. 174.
- Blay V., Louis B., Miravalles R., Yokoi T., Pecatiello K.A., Clough M., Yilmaz B. (2017) Engineering zeolites for catalytic cracking to light olefins, *ACS Catalysis*, 7, P. 6542–6566.

3. Ивашкина Е. Н., Фуртан С. К. (2022) Термодинамический анализ реакций получения низших олефинов в технологии FCC на основе учета функциональных групп в молекулах

углеводородов и квантовой химии, *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, Т. 333, 11, С. 101–114.

ПЕРЕРАБОТКА ТЯЖЕЛОЙ ДИЗЕЛЬНОЙ ФРАКЦИИ НА ЦЕОЛИТНОМ КАТАЛИЗАТОРЕ

Е. С. Чебанова, И. А. Богданов, А. А. Алтынов
Научный руководитель – ассистент ОХИ ТПУ И. А. Богданов

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет
пр. Ленина 43а, esc14@tpu.ru*

Соединениями, оказывающими наиболее значительное влияние на застывание дизельного топлива, являются *n*-парафины. Благодаря изменению строения парафинов, а именно получению изо-парафинов, а также их трансформации в другие классы органических соединений возможно улучшение низкотемпературных характеристик дизельного топлива. Такого рода процессы возможно реализовать с помощью цеолитных катализаторов. Важно, что технология получения низкозастывающего дизельного топлива на цеолитном катализаторе не требует затрат на дорогостоящие металлы и водородсодержащий газ [1].

Однако на цеолитных катализаторах активно протекают реакции крекинга, что увеличивает выход газообразных и легких углеводородных нецелевых продуктов. Одним из способов снижения выхода такого рода нецелевых продуктов является корректировка состава исходного сырья, используемого для переработки.

Данная работа посвящена исследованию и сравнению физико-химических свойств тяжелой дизельной фракции (начало кипения 240 °С) и продуктов её переработки на цеолитном катализаторе. Для исходного сырья и полученных продуктов согласно требованиям [2], были

определены такие характеристики как плотность, вязкость, содержание серы, температура помутнения (*T_п*), температура застывания (*T_з*), предельная температура фильтруемости (ПТФ). Результаты представлены в таблице.

Результаты, приведенные в таблице, позволяют судить о том, что переработка тяжелой дизельной фракции на цеолитном катализаторе позволяет значительно улучшить такие характеристики, как ПТФ, *T_з*, *T_п*. Также полученный продукт содержит значительно меньше серы. Плотность дизельного топлива не выходит за рамки 833,5 кг/м³, следовательно, удовлетворяет установленным требованиям для арктического дизельного топлива, тоже самое можно сказать про кинематическую вязкость [2].

В работе [1], в качестве сырья использовалась широкая прямогонная дизельная фракция (пределы выкипания 134–342 °С). Температура отгона 10 % об. продукта, полученного при температуре процесса 375 °С составила 123 °С, 20 % об. составила 162 °С. В данной работе при использовании тяжелой дизельной фракции температура отгона 10 % об. продукта, полученного при температуре процесса 375 °С составила 135 °С, 20 % об. составила 159 °С. Кроме того выход жидкого продукта при использовании утя-

Таблица 1. Сравнение характеристик исходной фракции и продуктов ее переработки

Характеристика	Фракция 240 °С-к.к.	Продукт
Плотность при 15 °С, г/см ³	0,830	0,824
Плотность при 20 °С, г/см ³	0,827	0,821
Кинематическая вязкость при 15 °С, мм ² /с	8,291	3,038
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с	7,144	2,692
Содержание серы, мг/кг	924	340
<i>T_п</i> , °С	–9	не мутнеет
ПТФ, °С	–12	–61
<i>T_з</i> , °С	–19	не застывает при –80