

КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ

Н.В. Попова, Е.В. Францина, Э.Д. Иванчина, И.В. Зырянова

*Томский политехнический университет, г. Томск
Научный руководитель: Белинская Н.С., к.т.н., ассистент кафедры
химической технологии топлива и химической кибернетики ТПУ*

Промышленные каталитические процессы нефтепереработки, как правило, представляют собой сложные химико-технологические процессы, которые требуют качественного контроля и управления. Оптимизация технологического процесса представляет большую сложность ввиду его нестационарности, которая обусловлена постоянным изменением состава сырьевых фракций, непостоянством технологических режимов, протеканием химических реакций и дезактивацией катализатора. Одновременный учет всех этих факторов на практике невозможен, поэтому прогнозирование работы сложных промышленных установок в условиях нестационарности является трудоемкой задачей.

Решение данной проблемы представляется возможным с использованием математических моделей, разработанных на основе фундаментальных закономерностей превращения углеводородов на катализаторе с учетом факторов нестационарности и взаимного влияния каждого из сопряженных процессов, протекающих в единой химико-технологической системе. Применение таких моделей позволяет спрогнозировать поведение сложной химико-технологической системы в постоянно меняющихся условиях протекания процесса.

На кафедре химической технологии топлива и химической кибернетики Томского политехнического университета была разработана математическая модель процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива. Данный процесс направлен на получение зимних, летних и арктических дизельных топлив с улучшенными низкотемпературными свойствами. Это сложная химико-технологическая система, которая включает в себя взаимосвязанные стадии гидроочистки, депарафинизации, стабилизации и ректификации [1, 2]. Разработанная с учетом сопряженности аппаратов, на основе установленных термодинамических и кинетических закономерностей, математическая модель была использована для решения основной проблемы промышленной реализации процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив – повышения его ресурсоэффективности, что позволило определить оптимальную технологию эксплуатации Ni-катализатора в промышленных условиях для максимального использования ресурса катализатора при

соблюдении требований по качеству и количеству получаемого продукта [4].

В системе сопряженных реакторных аппаратов процесса протекают реакции гидрокрекинга, гидроизомеризации, гидрирования ненасыщенных углеводородов, гидрирования меркаптанов с образованием сероводорода, ароматизации, коксообразования. На основе экспериментальных данных с промышленной установки, а также с применением метода квантовой химии, реализованного в программе Gaussian были определены термодинамические параметры реакций и составлена формализованная схема превращений в реакторе депарафинизации (рис. 1).

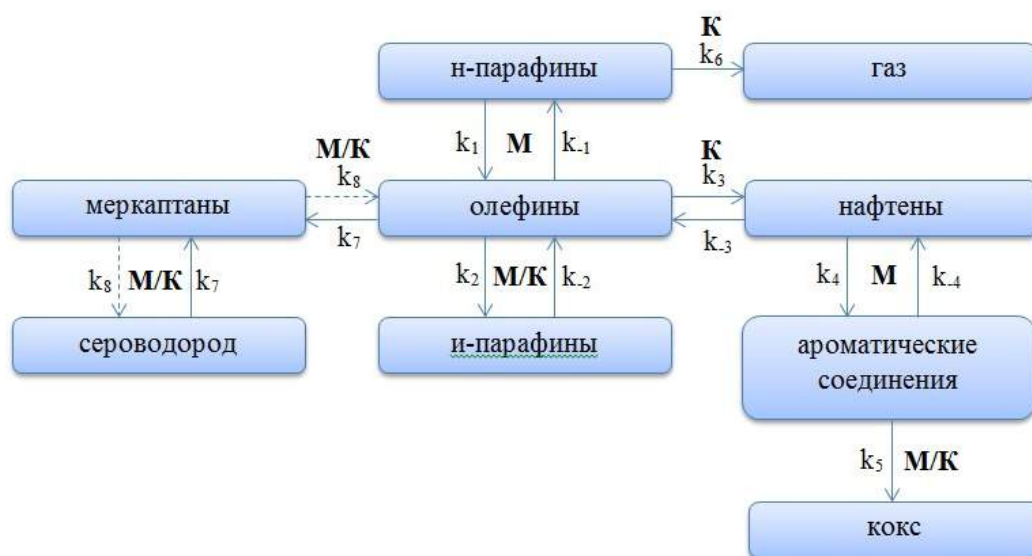


Рис. 1. Схема превращений углеводородов в процессе депарафинизации: *M* – металлический центр катализатора; *K* – кислотный центр катализатора

Целевыми реакциями процесса являются реакции гидрокрекинга высокомолекулярных парафинов нормального строения и дегидрирования низкомолекулярных парафинов с последующей их изомеризацией через стадию образования олефина. Основной побочной реакцией является коксообразование.

На основе формализованной схемы превращений в реакторе было составлено кинетическое описание процесса в виде системы дифференциальных уравнений изменения концентраций реагирующих веществ по времени контакта с начальными условиями.

Проверка модели на адекватность проведена путем сравнения расчетных значений, и экспериментальных данных с промышленной установки. В табл. 1 показано, что модель адекватно описывает процесс и может применяться для выявления закономерностей процесса, проведения прогнозных расчетов и оптимизации.

Таблица 1

Сравнение экспериментальных и расчетных значений

Продукт (эксперимент), % мас.	Продукт (расчет), % масс.	Погрешность (абсолютная), %
н-парафины C ₁₀ –C ₂₇		
10.17	11.18	1.01
13.54	11.85	1.69
изо-парафины		
26.46	26.40	0.06
22.95	24.1	1.15
олефины		
1.74	1.99	0.25
2.63	2.58	0.05
Моноароматические соединения		
20.53	20.06	0.47
19.90	20.09	0.19

В процессе каталитической депарафинизации происходит дезактивация катализатора вследствие закоксовывания и отравления серой кислотных и металлических центров катализатора. С помощью модели было установлено, что в период с 2012 по 2016 г. происходило постепенное снижение выхода дизельных фракций с 90 до 44 % с одновременным увеличением выхода бензиновых фракций с 8 до 20 %. Это свидетельствует об ослаблении реакций гидрирования, приводящее к снижению выхода дизельных фракций, и усилению реакций крекинга, приводящее к увеличению выхода легких фракций. При этом увеличение выхода остатка (фракция >340 °С) (рис. 2) свидетельствует об уменьшении общей активности катализатора, что приводит к снижению конверсии сырья, что приводит к необходимости увеличивать температуру в реакторе.

Для управления процессом дезактивации катализатора с учетом изменяющегося состава сырья математическая модель процесса депарафинизации была дополнена функцией дезактивации.

Расчет на модели показал, что температура в реакторе депарафинизации без дезактивации катализатора в среднем ниже фактической на 19 °С при условии обеспечения определенного выхода продукта одинакового качества по предельной температуре фильтруемости (табл. 2).

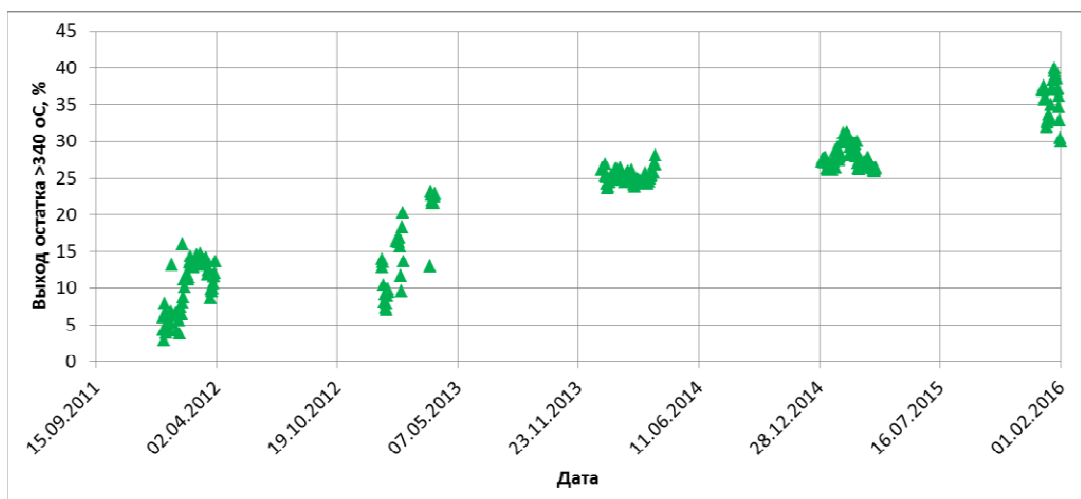


Рис. 2. Выход остатка >340 °С в процессе депарафинизации в период 2012–2016 г.

Таблица 2

Расчет температуры, компенсирующей дезактивацию

[1] Дата	[2] Выход фракции 240-340 (ДТ), %	[4] ПТФ, [5] °С	[6] Т на входе в Р-3 (факт), °С	[8] Т на входе в Р-3 (расчет), °С	[10] ΔТ, °С
[11] 25.01.2016	[12] 41,4	[13] -34	[14] 341	[15] 318	[16] 23
[17] 27.01.2016	[18] 41,8	[19] -37	[20] 352	[21] 332	[22] 20
[23] 29.01.2016	[24] 41,5	[25] -44	[26] 360	[27] 345	[28] 15
[29] 05.02.2016	[30] 43,0	[31] -41	[32] 369	[33] 350	[34] 19

Было подсчитано, что дезактивация катализатора за период работы составила 32 %.

Предложенная математическая модель процессакаталитической депарафинизации дизельных, основанная на одновременном учете физико-химических закономерностей превращения углеводородов на катализаторе, факторов нестационарности и взаимного влияния каждого из сопряженных процессов, протекающих в единой химико-технологической системе, позволяет определять оптимальную технологию эксплуатации каталитических систем в промышленных условиях и прогнозировать их работу в условиях нестационарности.

Список информационных источников

1. Белинская Н.С., Иванчина Э.Д., Ивашкина Е.Н., Чузлов В.А., Фалеев С.А. Математическое моделирование процесса каталитической депарафинизации атмосферного газойля с учетом взаимосвязи аппара-

- тов технологической схемы // *ProcediaEngineering* (Просидиа Инжиниринг). – 2015. – № 113. – С. 68–72.
2. Белинская Н.С., Иванчина Э.Д., Ивашкина Е.Н., Силко Г.Ю. Оптимизация режима работы установки депарафинизации дизельного топлива методом математического моделирования // *Химия и химическая технология*. – 2014. - № 11. – С. 90–92.
 3. Эрдаль А., Айзе Д.К., Хасан С. Динамическое моделирование промышленной установки гидропереработки дизельных топлив методом приближения // *Comp.and Chem.Eng.*(Информационные и химические технологии). – 2015. – №82. – С. 44–54.
 4. Кохли К., Прайapati Р., Маити С.К. Дезактивация катализаторов гидроочистки металлами смол и асфальтенов тяжелых нефтей и остатков // *Fuel*. – 2016. – № 175. – С. 264–273.