

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 нефти гидрокрекинга доля олефиновых углеводородов достигает до 1,74 % масс., что выше, чем в образцах прямогонной нефти. Повышенное содержание непредельных углеводородов, а также тяжелых углеводородов C_{9+} , которые не содержатся в таких количествах в прямогонной нефти 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., Garcia 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. – 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-

дификации, представленные в работе О. В. Калашникова [1]. Также проводится расчет относительной плотности газовой смеси с учетом образования гидратов двух структур. Основная зависимость, по которой ведется расчет температуры имеет следующий вид:

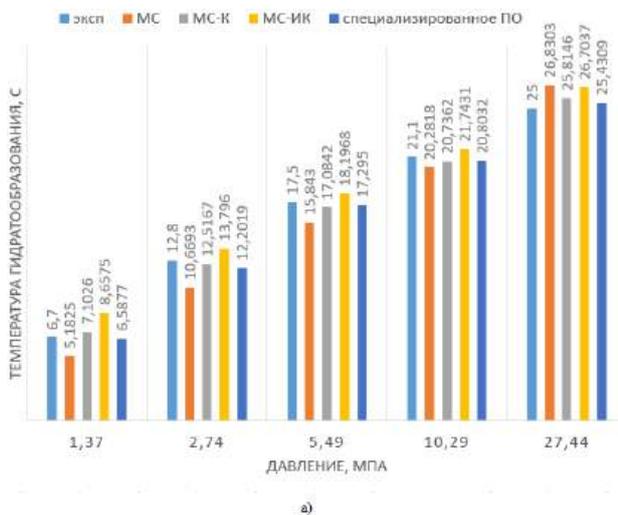
$$\lg P = \beta + \alpha(t_r + kt_r^2),$$

где P – давление, бар; t_r – температура образования гидратов, С; α – коэффициент, принятый постоянной величиной; β, k – коэффициенты, которые рассчитываются относительно значений относительной плотности смеси.

Была разработана математическая модель для расчета температуры гидратообразования на основе указанных уравнений с использованием языка программирования Python. Также было проведено исследование модели на собственных данных (Таблица 1, состав 2) и сравнение результатов с данными, полученными с использованием специализированного программного обеспечения.

Таблица 1. Составы газовых смесей

Составы	CO2	N2	CH4	C2	C3	i-C4	n-C4	C5+	H2S
	Содержание, % мол.								
1	0	0,0064	0,8641	0,0647	0,0357	0,0099	0,0114	0,0078	0
2	0,002	0,0128	0,8642	0,0488	0,0276	0,0171	0,0082	0,0193	0



Первый опыт проводился при давлениях: 1,37, 2,74, 5,49, 10,29 и 27,44 МПа. Сравнение полученных результатов показало, что наибольшей точностью обладает модификация исследуемого метода – МС-К (Рисунок 1, а), результаты которой наиболее приближены к экспериментальным и данным, полученным с помощью коммерческого продукта. Наибольшие отклонения наблюдаются при низких давлениях.

При исследовании состава 2 (Рисунок 1, б) при давлениях 2–12 МПа, сравнение результатов проводилось относительно данных коммерческого продукта, показавших близкие к истинным значения в первом опыте. Наименьшие отклонения рассчитанных температур наблюдаются при использовании корреляции МС-К.

В ходе дальнейшей работы планируется провести исследования на других составах, сравнить полученные результаты с другими методиками, а также разработать программный код для расчета давления образования гидратов и подачи ингибитора гидратообразования.

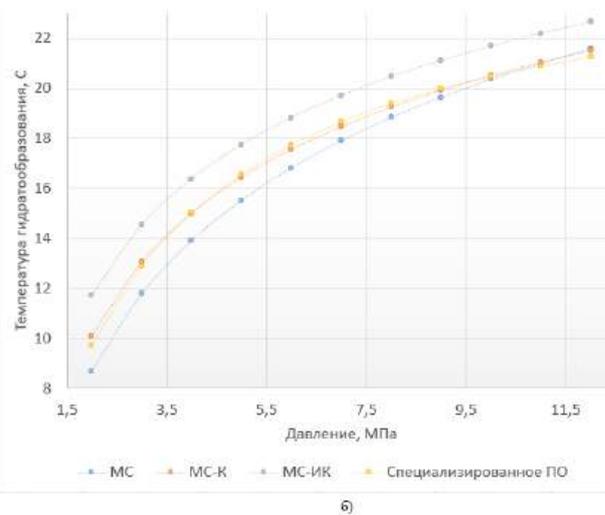


Рис. 1. Исследование методик для смесей: а) исходного состава 1; б) исследуемого состава 2

Список литературы

1. Калашников О.В. К определению температуры гидратообразования во влажном природном газе // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2001. – № 3. – С. 8.