

УДК 66.011

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЛИФТ-РЕАКТОРА  
КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

А.А. Орешина, Е.К. Вымятнин, Г.Ю. Назарова, П.Д. Безруких, Е.Ф. Грищенко

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

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: sasha.oreshina.94@mail.ru, EKVT70@gmail.com, silko@tpu.ru

**THE MOST EFFICIENT PROCESS CONDITIONS PREDICTION FOR CATALYTIC CRACKING  
RISER-REACTOR BY MATHEMATICAL MODELING**

A.A. Oreshina, E.K. Vymyatnin, G.Yu. Nazarova, P.D. Bezrukih, E.F. Gritsenko

Scientific Supervisor: Prof., Dr. E.N. Ivashkina

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: sasha.oreshina.94@mail.ru, EKVT70@gmail.com, silko@tpu.ru

***Abstract.** Today the most intensive and commonly used catalytic cracking process in crude oil refining is continuous fluid catalytic cracking FCC. Riser reactor and regenerator are the most complex and crucial parts of any FCC unit because of intricate multiphase flow behavior coupled with complex chemical reactions. Development of highly effective catalysts along with recent catalytic cracking technology enhancements made it possible to reduce contact time of products and catalyst, improved separation of products and catalyst, and simultaneously improving desirable products yields and quality. This paper presents catalytic cracking feedstock and products analysis results. Density, molecular weight and sulfur mass content of studied samples was established. To increase the desirable products yield It is necessary to maintain specific temperature: for diesel – 503–510 °C, for gasoline – 524–529 °C, for unsaturated gas – 528–537°C. It was assumed on the basis of mathematical model calculations presented in this paper.*

**Введение.** Каталитический крекинг является одним из базовых крупнотоннажных процессов углубленной переработки нефти, сырьем процесса являются как вакуумные газойли, так и нефтяные остатки и их смеси [1]. В зависимости от назначения процесса целевым продуктом может быть бензиновая фракция, фракция 195–340, используемая в качестве компонента дизельного топлива, и непредельные углеводородные газы [2].

Утяжеление нефтяного сырья и крекинг в области высоких температур приводят к увеличению образования побочного продукта – кокса, вследствие чего снижается выход целевых продуктов [1]. Кроме того, это может вызвать существенный подъем температуры в регенераторе при экзотермическом процессе окисления кокса и привести к нарушению теплового баланса системы «лифт-реактор-регенератор». В связи с этим, на действующих установках существует ограничение по выходу кокса 5-6 % при переработке вакуумного газойля в зависимости от технологии), что необходимо учитывать при оптимизации процесса для увеличения того или иного вида целевого продукта. Для комплексного

учета состава сырья и других параметров режима необходима надежная математическая модель, которая позволит оптимизировать данный процесс. Физико-химические характеристики сырья должны быть учтены при прогнозировании оптимальных режимов и являются основой для формирования математической модели производства нефтепродуктов [2].

Цель работы – определение эффективных технологических режимов работы лифт-реактора для увеличения выхода бензина, газа или дизельной фракции методом математического моделирования.

**Экспериментальная часть.** В данной работе анализировались образцы вакуумного газойля (ВГ-1 и ВГ-2). В таблице 1 представлены результаты основных характеристик сырья крекинга.

Таблица 1

*Результаты исследования сырья каталитического крекинга (экспериментальные данные)*

Сырье	Массовая доля серы, %мас.	Плотность при 20, г/м <sup>3</sup>	Молекулярная масса, г/моль
ВГ-1	0,152	890,6	342
ВГ-2	0,103	889,9	338

Базовые технологические режимы для расчетов по модели представлены в таблице 2.

Таблица 2

*Основные параметры технологического режима работы лифт-реактора и состав сырья (фактические данные)*

Состав сырья / Параметры технологического режима	Значение	
	ВГ-1	ВГ-2
Парафиновые углеводороды, %мас.	57,7	61,6
Ароматические углеводороды, %мас.	39,7	35,4
Смолистые компоненты, %мас.	2,6	3,0
Расход сырья, м <sup>3</sup> /ч	173,86	194,99
Температура сырья, °С	302,51	288,23
Расход шлама в реактор, м <sup>3</sup> /ч	19,12	18,94
Расход водяного пара в захватное устройство реактора, кг/ч	6963,36	6056,77
Расход водяного пара на распыл сырья, кг/ч	2399,25	2400,10
Температура потока после регенерации, °С	661,51	660,71
Температура крекинга, °С	526	528
Давление в реакторе, кгс/см <sup>2</sup>	1,24	1,39
Кратность циркуляции катализатора, ткат/тсырья	9,17	9,27

**Результаты.** Концентрация парафиновых углеводородов в сырье варьируется в интервале от 57,7% до 61,6%, содержание ароматических углеводородов изменяется в пределах от 35,4 до 39,7%, смол – от 2,6 до 3,0%. На рисунке 1 представлены графики изменения выхода основных и побочных продуктов крекинга с увеличением температуры процесса. Для увеличения выхода жирного газа по прогнозным расчетам модели необходимо увеличить температуру процесса до 538° (с 13,5 до 45,5%мас. – для ВГ-1 и 13,2 до 47,1 %мас. – для сырья с большим содержанием насыщенных углеводородов) и кокса (с 3,7 до 6,1 и 4,1 до 6,75 %мас.). Характерный экстремум для ВГ-1 с выходом 44,4%мас. и октановым числом по моторному методу 92,2 п., для ВГ-2 – 44,6%мас. и 91,2 п. приходится на бензиновые фракции. При этом от состава сырья и температуры зависит выход максимального значения бензина (524 и 529°С).

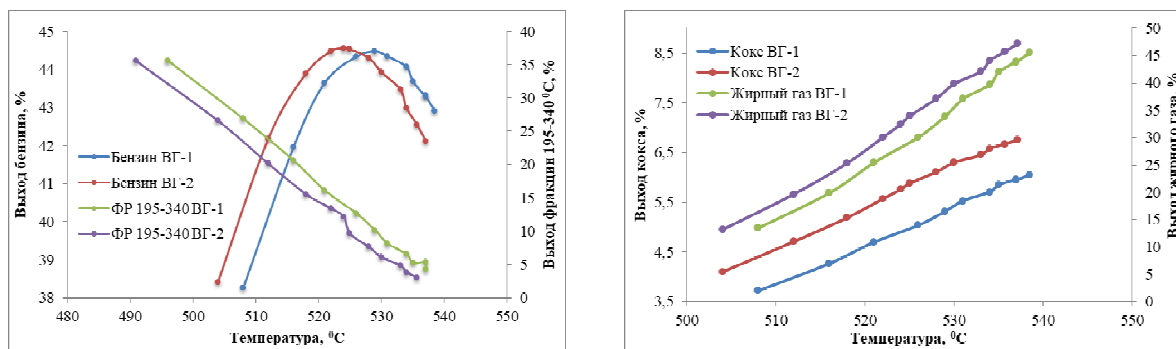


Рис. 1. Изменение выхода продуктов каталитического крекинга с увеличением температуры процесса (расчет по модели)

Такие выходы продуктов (рис.1) связаны с составом сырья. ВГ-2 характеризуется большим содержанием смол, наряду с высоким содержанием насыщенных углеводородов. Вследствие этого, выход бензина и газов при работе на таком сырь выше и выше выход кокса.

Увеличение выхода и октановых характеристик сырья могут быть достигнуты путем оптимизации температуры процесса крекинга с учетом интенсивности коксообразования. Достигая высоких значений температуры, происходит увеличение скорости коксообразования на катализаторе, что является существенным ограничением для данного процесса. Выход кокса не должен быть менее 4 %мас. и более 6 %мас. для снижения интенсивности дезактивации катализатора, перегрева катализатора и обеспечения теплового баланса процесса. В таблице 3 показаны температуры, необходимые для увеличения выхода бензина, газа и легкого газойля.

Таблица 3

Температуры необходимые для увеличения выхода бензина, газа и легкого газойля (расчет по модели)

Показатель	Целевой продукт					
	Дизельная фракции		Бензин		Непредельный газ	
	ВГ-1	ВГ-2	ВГ-1	ВГ-2	ВГ-1	ВГ-2
Температура крекинга,	510,7	503	529	524	537	528

**Заключение.** В ходе проведения исследований были определены основные характеристики сырья каталитического крекинга. Комплексный учет параметров режима и состава сырья обеспечивает надежное прогнозирование эффективных режимов работы лифт-реактора. Установлено, что организация температуры на уровне 503–510 обеспечивает увеличение выхода дизельной фракции; увеличение выхода бензина достигается при 524–529, непредельного газа – 528–537.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соляр Б.З., Аладышева Э.З., Галиев Р.Г., Хавкин В.А. Каталитический крекинг остаточного нефтяного сырья // Технология нефти и газа. – 2009. – Т.1., №60. – С. 3–10.
2. Исламов Г.И., Губайдуллин И.М. Обзор и анализ математических моделей процесса каталитического крекинга // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики. – 2019. – С.175–180.