

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ГАЗОВ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА

М.И. Шаймарданов, студент

М.Р. Валеев, аспирант

Г.Д. Ханнанова, аспирант

Р.Р. Фасхутдинов, канд. тех. наук, доцент

Уфимский государственный нефтяной технический университет
(Россия, г. Уфа)

DOI:10.24412/2500-1000-2023-12-5-72-78

Аннотация. Проведены анализ работы и цифровое моделирование блока газодифракционного разделения установки каталитического крекинга 1-А/1М завода ПАО АНК «Башнефть» «Башнефть-Уфанефтехим». В результате проведенного анализа определены пути совершенствования процесса выделения пропан-пропиленовых, бутан-бутиленовых фракций. В рамках процесса моделирования были рассмотрены различные сценарии повышения эффективности процесса газоразделения. В результате работы выявлены оптимальные технологические параметры колонны.

Ключевые слова: каталитический крекинг, газодифракционирование, пропан-пропиленовая фракция, бутан-бутиленовая фракция, фракционирующий абсорбер, жирный газ, Aspen Hysys, моделирование.

В данный момент наблюдается кризис сырьевой базы нефтехимической промышленности. Основное назначение нефтехимических предприятий состоит в использовании продуктов нефтеперерабатывающих заводов для производства синтетических материалов и изделий.

Основным сырьем для нефтехимических предприятий выступают продукты нефти и газопереработки, в том числе непредельные углеводородные газы, такие как пропан-пропиленовая фракция (ППФ), бутан-бутиленовая фракция (ББФ), которые вырабатываются в процессе каталитического крекинга. ППФ применяется в качестве сырья процессов полимеризации и алкилирования, ББФ является сырьем процесса алкилирования, также используется в производстве метилэтилкетона, полиизобутилена, синтетического каучука и т.д. [4; 5]

Каталитический крекинг (КК) является одним из основных крупнотонажных процессов углубленной переработки нефти. Установка КК состоит из следующих блоков: гидроочистки вакуумного газойля (сырьё процесса), реакторно-регенераторного, нагревательно

– фракционирующего и газодифракционирования.

Разделение газов осуществляется на блоке газодифракционирования. Типичная схема блока газодифракционирования состоит из фракционирующего абсорбера, компрессора, сепараторов, циркуляционных насосов и откачки продуктов [2].

В рамках данной работы рассмотрим методы интенсификации процесса разделения газов, полученных в процессе каталитического крекинга. Конкретизируем задачу на примере газодифракционирующего блока установки КК 1-А/1М Филиала ПАО АНК «Башнефть» «Башнефть-Уфанефтехим», где существует проблема потерь ППФ, ББФ в результате уноса с сухим газом КК.

Предложенный метод позволяет повысить качество разделения газодифракционирующего блока установки с минимальными капитальными затратами. Проведен анализ работы текущей технологической схемы газодифракционирующего блока установки КК 1-А/1М ПАО АНК «Башнефть» «Башнефть-Уфанефтехим», на основе которого были определены основные возможные направления модернизации, показано влияние основных технологиче-

ских параметров процесса на выход и качество получаемых продуктов.

Фракционирующий абсорбер представляет собой аппарат колонного типа с ребойлером.

Необходимая четкость отбора сухих и жирных газов может быть достигнута следующими методами:

1. Изменение технологических параметров процесса:

- Увеличение давления в колонне;
- Уменьшение температуры в кубовой части фракционирующего абсорбера;
- Увеличение кратности циркуляции абсорбента [3].

2. Изменение конструктивных особенностей газофракционирующего блока:

- Увеличение числа контактных устройств фракционирующего абсорбера.
- Модернизация внутренних контактных устройств фракционирующего абсорбера на более эффективные без изменения их количества.
- Регулирование количества циркуляционных орошений, их температуры, а также изменения тарелок их отбора и возврата [1].

Эффективность процесса разделения зависит от таких технологических параметров, как температура, давление, количество контактных устройств, а также соотношение величины потоков пара и жидкости по высоте колонны. В контексте работы фракционирующего абсорбера К-51 необходимо выделение сухого газа, не содержащего в своем составе ППФ, ББФ. ППФ и ББФ выводятся с куба колонны вместе с бензином КК, и направляются на дальнейшее разделение [6].

Сформированная модель газофракционирующего блока в системе моделирования Aspen Hysys позволила оценить эффективность работы абсорбера и разработать мероприятия по корректировке режима его работы для повышения качества продуктов и увеличения выхода целевых компонентов в кубовом продукте. На базе модели были рассмотрены различные сценарии работы фракционирующего абсорбера К-51, с целью нахождения оптимальных значений давления верха и низа колонны, при которых удалось достигнуть повышения качества газоразделения.

Модель была построена на основе уравнения состояния Пенга-Робинсона.

Уравнение имеет следующий вид:

$$p = \frac{R \cdot T}{V_m - b} - \frac{a(T)}{V_m^2 + 2 \cdot b \cdot V_m - b^2}$$

где p – давление газа, кПа;

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);

V_m – молярный объём, м³/моль;

T – температура газа, К.

Достоинством уравнения является то, что свойства чистого газа описываются этим уравнением с помощью только трёх индивидуальных свойств: температуры и давления критической точки газа, а также ацентрического фактора Питцера. Эти параметры определены для широкого круга веществ [8].

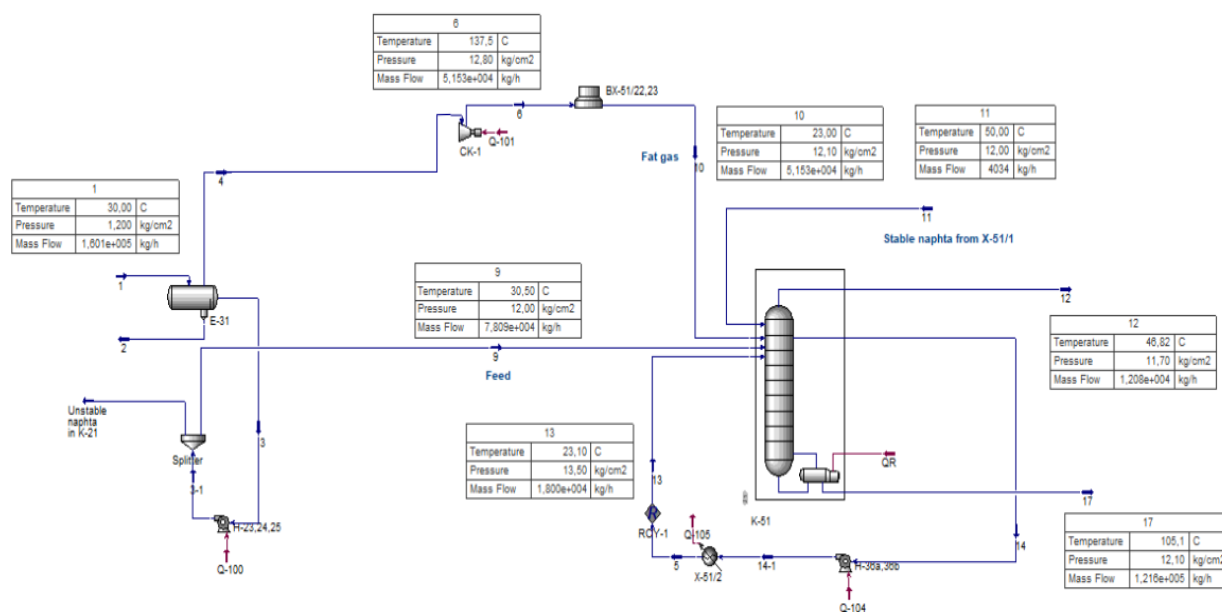
При расчёте смесь рассматривается как некоторый гипотетический газ, параметры критической точки которого являются известной функцией концентраций исход-

ных компонентов и термодинамических параметров их критических точек [8].

На установке 1-А/1М Филиала ПАО АНК «Башнефть» «Башнефть-Уфанефтехим» в настоящее время есть проблема потери жирных газов в составе сухого газа, выводимого с верха фракционирующего абсорбера К-51. Для анализа пути интенсификации процесса выделения газов жирных газов из сухого газа КК была сформирована модель абсорбера К-51 в среде Aspen Hysys.

Для сравнительного анализа вариантов работы фракционирующего абсорбера К-51 была воспроизведена технологическая схема, представленная на рисунке 1. Со-

став сырья и технологические параметры фракционирующего абсорбера установки 1-А/1М представлены в таблицах 1 и 2.



К-51 – фракционирующий абсорбер; Е-31 – газосепаратор; СК-1 – газовый компрессор; Н-23, 24, 25, 36а, 36в – насос; ВХ-51/22,23 – аппарат воздушного охлаждения; Х-51 – теплообменник

Рис. 1. Схема газофракционирующего блока установки 1-А/1М

Для достижения необходимой степени отбора сухих и жирных газов, методы, связанные с изменением конструкций газофракционирующего блока, не рассматриваются в рамках решения производственной задачи, что связано с высокими капитальными затратами и длительными сроками реализации проекта модернизации.

Увеличение кратности циркуляции абсорбента не позволит должным образом выделить сухой газ в качестве верхнего

продукта без увеличения диаметра колонны, что обусловлено повышенным расходом жидкого потока над паровым на контактных устройствах в верхней части фракционирующего абсорбера и физическим уносом жидкой фазы с сухим газом [7].

Уменьшение температуры в кубе фракционирующего абсорбера уменьшает отпаривание легких компонентов, и повышают концентрацию компонентов сухого газа C_1-C_2 в кубовом продукте.

Таблица 1. Исходный состав сырья колонны К-51

Наименование компонента	Состав, % масс.
Метан	1,57
Этан-этиленовая фракция	2,35
Пропан-пропиленовая фракция	7,11
Бутан-бутиленовая фракция	11,59
H ₂ S	0,11
O ₂	0,10
H ₂	0,05
N ₂	1,23
CO	0,10
CO ₂	0,30
H ₂ O	6,32
фр. н.к. - 50 °С	22,82
фр. н.к. - 50-78 °С	11, 7
фр. н.к. - 78-106 °С	7,31
фр. н.к. - 106-134 °С	5,47
фр. н.к. - 134-162 °С	12,6
фр. н.к. - 162-190 °С	5,09
фр. н.к. - 190-218 °С	1,72
фр. н.к. - 218-246 °С	1,14
фр. н.к. - 246-274 °С	1,32
Итого:	100

Таблица 2. Нормы технологического режима фракционирующего абсорбера К-51

Наименование параметра	Единицы измерения	Рабочие значения	Расчетные значения
Давление верха колонны	кгс/см ²	10,72	15,0
Давление низа колонны	кгс/см ²	11,11	
Температура верха колонны	°С	42,0	150,0
Температура низа колонны	°С	96,3	

Наиболее предпочтительным является регулирование давления фракционирующего абсорбера.

Полученная модель позволила оценить эффективность процесса разделения газов фракционирующего абсорбера К-51. Зафиксированные значения массовых расходов С₃-С₄, при различных сценариях изменений давления в колонне К-51, представлены в таблицах 3-4 (* в таблицах отмечены оптимальные значения параметров).

В таблице 3 представлены результаты расчета программы по значениям массового выхода жирного газа и изменение массовых расходов с укрепляющей (12 поток) и кубовой (17 поток) части фракционирующего абсорбера при изменении дав-

лении на 1 кгс/см² с постоянным перепадом давления. Исходя из полученных результатов следует, что увеличение давления приводит к уменьшению содержания смеси ППФ и ББФ в сухом газе.

Исходя из значений таблицы 4 можно сделать вывод, что увеличение давления приводит к повышению концентрации целевых компонентов в кубе колонны и уменьшению массового расхода верхнего продукта колонны, что коррелирует со снижением потерь целевых компонентов. Прослеживается динамика увеличения массового расхода с куба колонны по жирному газу и другим компонентам.

Таблица 3. Зависимость массового выхода и расхода C₃-C₄ от давления в К-51

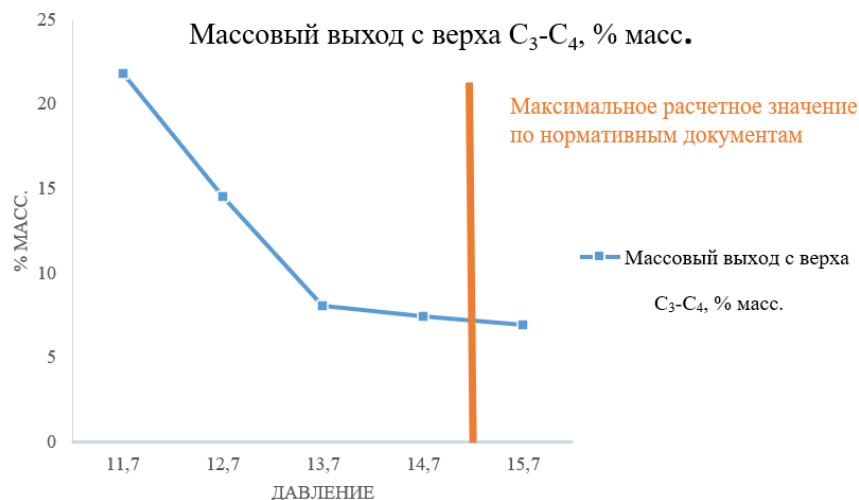
Параметр	Вариант №				
	1	2	3*	4	5
Давление верха, кгс/см ²	11,7	12,7	13,7	14,7	15,7
Давление низа, кгс/см ²	12,1	13,1	14,1	15,1	16,1
Массовый выход C ₃ -C ₄ с верха, %	21,80	14,54	8,08	7,44	6,90
Массовый выход C ₃ -C ₄ с низа, %	20,57	21,23	21,66	21,63	21,60
Массовый расход с верха, кг/ч	12052,32	10658,5	9472,49	8812,55	8208,09
Массовый расход с низа, кг/ч	121596,4	122988,17	124174,44	124834,67	125439,03

Таблица 4. Зависимость массового выхода и расхода C₃-C₄ от давления в К-51

Параметр	Вариант №				
	1	2	3*	4	5
Давление верха, кгс/см ²	11,7	12,7	13,7	14,7	15,7
Давление низа, кгс/см ²	12,1	13,1	14,1	15,1	16,1
Массовый выход C ₃ -C ₄ в потоке 12, %	21,80	14,54	8,08	7,44	6,90
Массовый выход других компонентов в потоке 12, %	78,20	85,46	91,92	92,56	93,10
Массовый расход C ₃ -C ₄ в потоке 12, кг/ч	2627,41	1549,26	765,42	655,51	566,28
Массовый расход других компонентов в потоке 12, кг/ч	9424,91	9109,25	8707,07	8157,03	7641,81
Массовый расход C ₃ -C ₄ в потоке 17, кг/ч	25016,38	26116,01	26894,71	27000,88	27091,67
Массовый расход других компонентов в потоке 17, кг/ч	96580,01	96872,16	97279,73	97833,80	98347,37

После моделирования был проанализирован количественный и качественный состав газа, уходящего с верха газофракционирующего абсорбера. Как видно из рисунка 2 и таблиц, представленных выше, изменение давления с укрепляющей и от-

гонной части колонны К-51, при неизменном градиенте давлений, позволяет улучшить абсорбцию жирных компонентов газа, в следствии чего уменьшить потери C₃-C₄ вместе с сухим газом.

Рис. 2. График зависимости изменения процентного содержания выхода C₃-C₄ с верха колонны от давления

Таким образом, можно утверждать, что оптимальное разделение без увеличения диаметра фракционирующего абсорбера достигается при давлении 13,7 кгс/см², и входит в интервал расчетных технологических параметров данной колонны согласно допустимым нормам по проекту. Массовый выход C₃-C₄ с верха колонны при уве-

личении давления до 13,7 кгс/см² уменьшается на 13,72% масс., а расход кубового продукта – на 2579,83 кг/ч, одновременно с этим, выход C₃-C₄ с куба абсорбера увеличится на 1% масс., а расход соответственно на 2578,04 кг/ч. Данное давление можно считать оптимальным, так как при дальнейшем повышении давления наблю-

дается незначительное повышение качества разделения, однако нагрузка на оборудование и энергозатраты значительно увеличиваются.

Действующий компрессор на установке 1-А/1М Филиала ПАО АНК «Башнефть»

«Башнефть-Уфанефтехим» позволяет создавать давление в колонне К-51 11,2 кгс/см², поэтому необходима его замена. Затраты при этом будут на порядок ниже замены самого фракционирующего абсорбера на установке.

Библиографический список

1. Анищук Е.А. Модернизация газодифракционирующего блока установки каталитического крекинга / Е.А. Анищук, А.В. Ганцев // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Международной научно-технической конференции: в 2 т. – Тюмень: ТИУ, 2016. 2 т. – С. 148-150.

2. Ахметов С.А. и др. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа: Учебное пособие / С.А. Ахметов, Т.П. Сериков, И.Р. Кузеев, М.И. Баязитов; Под ред. С.А. Ахметова. – СПб.: Недра, 2006. – 868 с.

3. Задегбейджи Р. Каталитический крекинг в псевдооживленном слое катализатора. Справочник по эксплуатации, проектированию и оптимизации установок ККФ: пер. с англ. яз. 3-го изд; под ред. О.Ф. Глаголевой. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2014. – 384 с.

4. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 30-2017 «Переработка нефти». – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/NDT/sprav_NDT_2017 (дата обращения 09.10.2023).

5. ЛакПром. Нефтехимический комплекс. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lcprom.ru/analitika/neftekhimicheskiiy-kompleks---zadachi-i-perspektivy/> (дата обращения 09.10.2023).

6. Мейерс Р.А. Основные процессы нефтепереработки. Справочник: пер. с англ. 3-го изд. / Р.А. Мейерс и др.; под ред. О.Ф. Глаголевой, О.П. Лыкова. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2011. – 944 с.

7. Мясин Я.О., Мясина Е.А., Ганцев А.В., Мустафин И.А. Повышение эффективности разделения продуктов каталитического крекинга в результате моделирования и анализа работы газодифракционирующих блоков // Башкирский химический журнал. – 2017. – Том 24. № 3. – С. 77-84.

8. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей: Справочное пособие / Пер. с англ. под ред. Б.И. Соколова. – Л.: Химия, 1982. – 592 с.

**INTENSIFICATION OF THE PROCESS OF SEPARATION OF CATALYTIC
CRACKING GASES**

M.I. Shaimardanov, *Student*

M.R. Valeev, *Graduate Student*

G.D. Khannanova, *Graduate Student*

R.R. Faskhutdinov, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

Ufa State Petroleum Technical University

(Russia, Ufa)

Abstract. *An analysis of the operation and digital modeling of the gas fractionation unit of the 1-A/1M catalytic cracking unit of the Bashneft-Ufaneftekhim plant of PJSC Bashneft was carried out. As a result of the analysis, ways to improve the process of separating propane-propylene and butane-butylene fractions were determined. As part of the modeling process, various scenarios for increasing the efficiency of the gas separation process were considered. As a result of the work, the optimal technological parameters of the column were identified.*

Keywords: *catalytic cracking, gas fractionation, propane-propylene fraction, butane-butylene fraction, fractionating absorber, wet gas, Aspen Hysys, modeling.*