

Ульянов Борис Александрович,
д.т.н., профессор, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: xtt-agta@yandex.ru

Семёнов Иван Александрович,
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет
e-mail: semenovia.chem@yandex.ru

Евсеева Дарья Викторовна,
магистрант, Ангарский государственный технический университет

РАЗДЕЛЕНИЕ БУТЕН-ДИВИНИЛЬНОЙ ФРАКЦИИ НА ОБОГАЩЕННЫЕ СЫРЬЕВЫЕ ПОТОКИ

Ulyanov B.A., Semenov I.A., Evseeva D.V.

SEPARATION OF THE BUTENE-DIVINYL FRACTION INTO ENRICHED RAW MATERIAL STREAMS

Аннотация. Рассмотрено влияние расхода разделяющего экстрагента на разделение бутен-дивинильной фракции.

Ключевые слова: бутadiен, экстрактивная ректификация, ацетонитрил.

Abstract. The effect of the separating extractant consumption on the separation of the butene-divinyl fraction is considered.

Keywords: butadiene, extractive rectification, acetonitrile.

Бутадиен-1,3 (дивинил) является ценным сырьем химической промышленности. Он используется для получения различных видов синтетического каучука, а также для производства термопластов, смол и других востребованных продуктов.

Самым конкурентоспособным способом производства бутадиена-1,3 является пиролиз, из продуктов которого выделяется бутен-дивинильная фракция (БДФ). На Ангарском заводе полимеров производится бутен-дивинильная фракция, состав которой представлен в таблице 1.

Таблица 1

Состав БДФ за период с 1.01.2021 по 20.09.2021

| № п/п | Наименование | Содержание, масс. дол. | | |
|----------|------------------------------------|------------------------|-------------|--------------|
| | | среднее | минимальное | максимальное |
| 1 | Углеводороды C ₃ | 0,02 | 0,00 | 0,05 |
| 2 | Изобутан | 3,41 | 1,63 | 9,13 |
| 3 | Углеводороды C ₅ и выше | 0,10 | 0,03 | 0,34 |
| 4 | н-Бутан | 8,98 | 4,87 | 21,52 |
| 5 | Бутен-1 | 9,60 | 8,40 | 10,92 |
| 6 | Изобутилен | 24,24 | 19,06 | 28,14 |
| 7 | <i>транс</i> -Бутен-2 | 4,74 | 3,42 | 6,44 |
| 8 | <i>цис</i> -Бутен | 3,88 | 2,73 | 5,04 |
| 9 | Бутадиен-1,3 | 44,44 | 34,95 | 50,57 |

Как следует из таблицы 1 наибольшая доля в смеси приходится на два компонента – изобутилен (~24 %) и бутадиен-1,3 (~44 %). Они же являются и наиболее ценными компонентами. Изобутилен служит сырьем для получения метил-*трет*-бутилового эфира (МТБЭ), а бутадиен-1,3, как указывалось, востребован в производстве каучуков, смол и других ценных продуктов.

Представляет интерес разделить БДФ на два обогащенных сырьевых потока. Один из них, включающий изобутилен и более легкие углеводороды, может быть использован для производства МТБЭ, а другой, содержащий бутадиен-1,3 и более тяжелые углеводороды, направляют на производство полимеров. В этом случае изобутилен и бутадиен-1,3 являются ключевыми компонентами. Разделение их с помощью ацетонитрила, как разделяющего агента, рассмотрено в работе [1]. При этом было выбрано массовое соотношение углеводороды : экстрагент как 1 : 4. Повышенный расход разделяющего агента ведет к увеличению энергетических затрат, связанных с его нагревом и частичным испарением в процессе ректификации, а также с последующей регенерацией и возвращением в цикл. С другой стороны, имеются сведения о повышении селективности процесса с увеличением расхода экстрагента [2].

С целью оценки влияния расхода ацетонитрила на качество разделения смеси изобутилен – бутадиен-1,3 были выполнены расчеты экстрактивной ректификации при разных соотношениях углеводород : экстрагент.

Параметры колонны и условия процесса представлены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры процесса ректификации

| № п/п | Наименование параметра, его обозначение и размерность | Значение |
|-------|---|-----------|
| 1 | Число теоретических тарелок, n_{TT} | 45 |
| 2 | Подача питания на тарелку, считая сверху | 35 |
| 3 | Подача ацетонитрила на тарелку, считая сверху | 1 |
| 4 | Давление вверху колонны, P_B , ата | 4,0 |
| 5 | Давление внизу колонны, P_H , ата | 4,3 |
| 6 | Содержание изобутилена в смеси, $x_{И}$, масс. дол. | 0,33 |
| 7 | Содержание бутадиена-1,3 в смеси, x_B , масс дол. | 0,67 |
| 8 | Флегмовое число, R | 4,5 |
| 9 | Температура верха колонны, t_B , °C | 42,9-43,1 |
| 10 | Температура низа колонны, t_H , °C | 73,9-96,1 |

В расчетах требовалось получить дистиллят с содержанием бутадиена-1,3, не превышающим 0,1 % масс. и кубовый остаток с содержанием изобутилена, не превышающим 1 % масс. Расчеты разделения смеси изобутилена и бутадиена-1,3 указанного состава проводились при четырех соотношениях исходной смеси и разделяющего агента (ацетонитрила): 1:2; 1:3; 1:4; 1:5. Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Содержание отделяемых компонентов в дистилляте и кубовом остатке

| № п/п | Соотношение исходная смесь : ацетонитрил | Содержание бутадиена-1,3 в дистилляте, % масс. | Содержание изобутилена в кубовом остатке, % масс. |
|-------|--|--|---|
| 1 | 1:2 | 4,26 | 0,94 |
| 2 | 1:3 | 0,02 | 0,3 |
| 3 | 1:4 | 0,00 | 0,27 |
| 4 | 1:5 | 0,00 | 0,23 |

Из таблицы 3 следует, что колонна с 45-ю теоретическими ступенями в состоянии обеспечить заданную чистоту кубового остатка при всех указанных соотношениях питания и разделяющего агента, а дистиллят требуемого качества может быть получен при соотношениях расходов питания и ацетонитрила 1:3 и больших. Низкое содержание примесей в целевых продуктах для второго, третьего и четвертого вариантов указывает на то, что колонна с 45-ю теоретическими ступенями имеет избыточную разделяющую способность.

Анализ составов пара и жидкости по высоте колонны позволил оценить число теоретических ступеней разделения, обеспечивающих требуемое количество дистиллята и кубового остатка (табл. 4).

Таблица 4

Число теоретических ступеней, обеспечивающих требуемую степень разделения

| № п/п | Соотношение исходная смесь: ацетонитрил | Требуемое число теоретических ступеней | | |
|-------|---|--|------------------------|-------------------------|
| | | общее | в нижней части колонны | в верхней части колонны |
| 1 | 1:3 | 40 | 11 | 29 |
| 2 | 1:4 | 33 | 11 | 22 |
| 3 | 1:5 | 27 | 10 | 17 |

Из таблицы 4 следует, что с увеличением расхода разделяющего агента необходимое число теоретических ступеней сокращается и, следовательно, требуется колонна меньшей высоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ульянов, Б.А.** Выделение дивинила из бутен-дивинильной фракции (бдф) продуктов пиролиза углеводородного сырья / Б.А. Ульянов, И.А. Семёнов, А.С. Немцов // Вестник Ангарского государственного технического университета. – 2022. – № 16. – С. 70-74.

2. **Павлов, С.Ю.** Выделение и очистка мономеров для синтетического каучука / С.Ю. Павлов – Л.: Химия, 1987. – 231 с.