

В.В. Серов

УПРОЩЕННЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТАВА КОНЕЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПРИ РЕКТИФИКАЦИИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЕЙ

Расчет процесса ректификации многокомпонентных смесей вызывает определенные затруднения ввиду отсутствия в начальной стадии расчета надежного метода определения состава конечных продуктов. Для многокомпонентных смесей это определение особенно сложно, так как требует учета взаимного влияния компонентов.

Установление общих закономерностей распределения компонентов между отгоном и остатком в процессе ректификации многокомпонентных смесей позволяет упростить решение задачи, предсказать составы отгона и остатка в том или ином случае и, следовательно, резко сократить расчетную процедуру (даже при использовании ЭВМ).

Исследованию в этом направлении посвящены работы ряда авторов, среди которых следует отметить Д.Д. Зыкова, В. А. Кузнецова [1, 2] и др.

Для определения содержания компонентов легкой группы (преимущественно переходящих в верхний продукт) в работе предлагается использовать функцию

$$\varphi_i^+ = \frac{x_i^+}{z_i} = f(\alpha_{i,t_{cp}}), \quad (1)$$

где x_i^+ , z_i - соответственно содержание i -го компонента в верхнем продукте и сырье (в долях моля); $\alpha_{i,t_{cp}}$ - относительная летучесть i -го компонента при средней температуре кипения смежных ключевых компонентов.

$$t_{cp} = \frac{t_k + t_l}{2}, \quad (2)$$

где t_l - температура кипения легкого смежного ключевого компонента; t_k - то же для тяжелого смежного ключевого компонента.

Для определения содержания компонентов тяжелой группы в нижнем продукте (преимущественно переходящих в кубовую жидкость) рекомендуем применить функцию

$$\varphi_i^- = \frac{x_i^-}{z_i} = f(\alpha_{i,t_{cp}}), \quad (3)$$

где x_i^- - содержание i -го компонента в нижнем продукте.

На основании расчетных и экспериментальных данных было установлено, что зависимости $\varphi_i^+ = f(\alpha_{i,t_{cp}})$ и $\varphi_i^- = f(\alpha_{i,t_{cp}})$ могут быть аппроксимированы уравнением

$$\varphi_i = \frac{a}{\alpha_{i,t_{cp}} + b}. \quad (4)$$

При использовании уравнения

$$\varphi_i^+ = \frac{a_l}{\alpha_{i,t_{cp}} + b_l} \quad (5)$$

для определения содержания компонентов $1 \div m$ (1 - индекс легко кипящего, m - индекс наиболее легко кипящего компонента) в дистилляте необходимо определить значения a_l и b_l .

Концентрацию компонента m в верхнем продукте x_m^+ можно определить с некоторым приближением по уравнению

$$x_m^+ = \frac{z_m}{\epsilon_{\text{опт}}}, \quad (6)$$

а следовательно, и $\varphi_m^+ = \frac{1}{\epsilon_{\text{опт}}}$, где z_m - содержание наиболее легко кипящего компонента в сырье (в долях моля).

Согласно [2], оптимальное значение степени отгона

$$\epsilon_{\text{опт}} = \sum_1^m z_i. \quad (7)$$

Значением концентрации легкого ключевого компонента в верхнем продукте x_1^+ задаемся в начале расчета, исходя из требований на качество верхнего продукта. Следовательно, $\varphi_1^+ = \frac{x_1^+}{z_1}$. Тогда для легкой группы записываем систему уравнений:

$$\varphi_m^+ = \frac{a_l}{\alpha_{m,t} + b_l}; \quad (8)$$

$$\varphi_1^+ = \frac{a_l}{\alpha_{1,t} + b_l}$$

и из нее определяем значения a_l и b_l .

Зная a_l и b_l , по уравнению (5) рассчитываем значения φ_i^+ для промежуточных компонентов легкой группы. При известных значениях φ_i^+ по уравнению

$$\varphi_i^+ \cdot z = x_i^+ \quad (9)$$

определяем концентрации всех компонентов легкой группы в верхнем продукте. Используя уравнение покомпонентного материального баланса для полной колонны вида

$$z_i = \varepsilon x_i^+ + (1 - \varepsilon) x_i^-, \quad (10)$$

получаем концентрации компонентов легкой группы в нижнем продукте.

Для определения концентраций компонентов тяжелой группы в нижнем продукте по уравнению (4) необходимо определить значения a_T, b_T .

Для этого находим φ_K^- и φ_1^- значения коэффициентов распределения соответственно для тяжелого ключевого и наиболее тяжелого компонентов.

Концентрацией тяжелого ключевого компонента зададимся в начале расчета, исходя из условий на качество нижнего продукта, а следовательно, и $\varphi_K^- = \frac{x_K^-}{z_K}$.

Коэффициент распределения для наиболее тяжелого компонента предлагается определить по уравнению

$$\varphi_1^- = \frac{1}{1 - \varepsilon_{\text{опт}}}. \quad (11)$$

Значения коэффициентов a_T и b_T выводим при решении системы уравнений:

$$\varphi_K^- = \frac{a_T}{\alpha_{K, t_{\text{ср}}} + b_T}; \quad (12)$$

$$\varphi_1^- = \frac{a}{\alpha_{1, t_{\text{ср}}} + b_T}.$$

Затем по уравнению $\varphi_i^- = \frac{a_T}{\alpha_{i, t_{\text{ср}}} + b_T}$ находим коэффициенты

распределения для всех промежуточных компонентов тяжелой группы, а по уравнению $x_i^- = \varphi_i^- z_i$ — концентрации компонентов тяжелой группы в нижнем продукте.

Таблица 1. Результаты контрольных расчетов для тяжелой группы

Компонент	Z_i	α_i	По [1]		По предложенному методу		По [1]		По предложенному методу	
			x_i^+	φ_i^+	x_i^+	φ_i^+	x_i^-	φ_i^-	x_i^-	φ_i^-
CH_4	0,020	16,5	0,0633	3,16	0,0665	3,28	0,000	0,000	0,000	0,00
C_2H_6	0,100	4,16	0,316	3,16	0,3140	3,14	0,000	0,000	0,004	0,04
C_3H_6	0,060	1,88	0,190	3,14	0,188	3,13	0,000	0,000	0,0035	0,06
C_3H_8	0,125	1,65	0,390	3,12	0,390	3,12	0,0025	0,0025	0,0025	0,02
i - C_4H_{10}	0,035	0,942	0,0232	-	0,0232	-	0,041	1,2	0,041	1,2
n - C_4H_{10}	0,150	0,785	0,0190	-	0,0590	-	0,211	1,41	0,189	1,26
C_5	0,152	0,392	0,000	-	0,0300	-	0,222	1,46	0,205	1,35
C_6	0,113	0,188	0,000	-	0,0060	-	0,165	1,46	0,1599	1,41
C_7	0,090	0,098	0,000	-	0,0000	-	0,132	1,46	0,1295	1,44
C_8	0,085	0,045	0,000	-	0,0000	-	0,124	1,46	0,1235	1,45
$360^\circ F$	0,070	0,009	0,000	-	-	-	0,102	1,46	0,101	1,45
	$\Sigma 1,00$		1,000		1,0858		0,9995		0,9581	

Таблица 2. Результаты контрольных расчетов для легкой группы

Ком- по- нент	α_1	z_1	По [1]		По предло- женному методу		По [1]		По предло- женному методу	
			x_i^+	φ_i^+	x_i^+	φ_i^+	x_i^-	φ_i^-	x_i^-	φ_i^-
C_6	0,35	1,26	0,985	2,8	0,985	2,80	0,0524	0,15	0,0524	0,15
C_7	0,15	1,00	0,015	0,1	0,015	0,10	0,2020	1,35	0,2020	1,35
C_7	0,30	0,68	0,0005	-	0,091	0,30	0,4470	1,49	0,4020	1,34
C_8	0,15	0,39	-	-	0,012	0,08	0,2240	1,49	0,2180	1,45
R	0,05	0,086	-	-	0,000	0,00	0,0750	1,50	0,0750	1,50
Σ	1,00		1,0005		1,103		1,0004		0,9494	

Применив уравнение (10), можем определить концентрации компонентов тяжелой группы в верхнем продукте.

По предлагаемому методу с использованием данных [1] были произведены контрольные расчеты. Результаты приведены в табл. 1 и 2.

С выполнением данной работы нами завершен комплекс исследований, позволяющий упрощенным методом определить число теоретических тарелок в ректификационной колонне при разделении многокомпонентных смесей следующим образом.

1. По предлагаемому в данной работе методу определить составы целевых продуктов.

2. Используя работы Андервуда, найти R_{\min} , а по нему $R_{\text{раб}}$.

3. Зная $R_{\text{раб}}$ и $\epsilon_{\text{опт}}$, рассчитать материальные потоки по колонне.

4. Используя данные пп. 1, 3 и [3, 4, 5, 6, 7, 10], определить состав смеси на тарелке питания. При этом автоматически учитываются признаки ее оптимальности [1, 2]:

$$\epsilon = \epsilon_{\text{опт}}; \quad \frac{x_{1,p}}{x_{k,p}} = \frac{x_{1,f}}{x_{k,f}}$$

5. На основании данных предыдущих вычислений [8] возможно определить число теоретических тарелок по схеме от

тарелки питания к концам колонны или [9]. Более проще групповым методом рассчитать число теоретических тарелок в верхней и нижней секциях колонны.

Групповой метод [9] опробован в 100 студенческих курсовых работах. Во всех случаях отклонение от результатов по-тарелочного расчета не превышало $\pm 10\%$ относительных.

Л и т е р а т у р а

1. Robinson C.R., Gilliland E.R. The Elements of Fractional Distillation. New York - Toronto - London, 1950.
2. Майков В.П. Автореф. докт. дис. М., 1972.
3. Серов В.В., Зыков Д.Д. - "Химия и технология топлив и масел", 1968, № 4, с. 40.
4. Серов В.В., Зыков Д.Д. - "Изв. вузов. Нефть и газ", 1969, № 4, с. 53.
6. Серов В.В., Зыков Д.Д. - "Изв. вузов. Нефть и газ", 1969, № 11, с. 63.
7. Серов В.В., Зыков Д.Д. - "Изв. вузов. Нефть и газ", 1971, № 4, с. 60.
8. Серов В.В., Зыков Д.Д. - "Изв. вузов. Нефть и газ", 1971, № 6, с. 52.
9. Серов В.В., Абраменко В.П., Зыков Д.Д. - "Изв. вузов. Нефть и газ", 1973, № 1.
10. Серов В.В. Расчет процесса ректификации многокомпонентной смеси. Тюмень, 1972.
11. Зыков Д.Д. Автореф. докт. дис. М., 1962.
12. Кузнецов В.А. Автореф. канд. дис. М., 1967.