



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 6.048:668.473

Т.М. Владимирова, О.М. Соколов, С.И. Третьяков

Владимирова Татьяна Михайловна родилась в 1981 г., окончила в 2003 г. Архангельский государственный технический университет, доцент кафедры стандартизации, метрологии и сертификации АГТУ. Имеет более 10 печатных работ в области получения и переработки талловых продуктов.



Соколов Олег Михайлович родился в 1936 г., окончил в 1960 г. Ленинградский технологический институт ЦБП, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой биотехнологии, президент Архангельского государственного технического университета, академик Международной академии наук, РИА, РАЕН, Академии проблем качества РФ, чл.-кор. МИА, заслуженный деятель науки РФ. Имеет около 200 научных трудов в области исследования процессов сульфатной варки, изучения свойств и применения технических лигнинов.



Третьяков Сергей Иванович родился в 1946 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры лесохимических производств Архангельского государственного технического университета. Имеет около 90 печатных трудов в области химической переработки древесины.



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА РЕКТИФИКАЦИИ ТАЛЛОВОГО МАСЛА

Выполнен сравнительный анализ расчета процесса ректификации таллового масла по ключевым компонентам и точного метода расчета «от ступени к ступени». Установлено, что применение точного метода позволяет исключить ошибки в расчете.

Ключевые слова: талловое масло, смоляные кислоты, ректификация, многокомпонентная смесь, ключевые компоненты, метод «от ступени к ступени».

Талловое масло по своему составу представляет многокомпонентную систему. В силу термической неустойчивости компонентов таллового масла процесс ректификации на практике проводят в вакууме при небольшом флегмовом числе.

При расчете процесса ректификации многокомпонентной смеси требуется определить число единиц переноса (ступеней разделения), необходимое для осуществления заданного разделения, флегмовое число, распре-

деление температур, потоков и концентраций компонентов по высоте колонны [4]. Ввиду недостаточности данных о кинетике процесса массообмена при многокомпонентной ректификации расчет проводят по числу теоретических ступеней разделения, или теоретических тарелок.

Все существующие методы расчета ректификации многокомпонентных смесей можно разделить на точные и приближенные. При использовании приближенных методов расчета талловое масло рассматривают как псевдобинарную систему, состоящую из жирных (ЖК) и смоляных кислот (СК), которые принимают в качестве соответственно легких (ЛКК) и тяжелых (ТКК) ключевых компонентов [4].

Точный метод предусматривает расчет «от ступени к ступени» исходя из допущения, что талловое масло является идеальной смесью. Реализация метода заключается в решении системы уравнений материального и теплового балансов и уравнений термодинамического равновесия для каждой ступени, причем расчет выполняют от ступени к ступени методом последовательных итераций. Большое значение при этом имеет выбор независимых переменных и исходных данных, а также критерия сходимости, определяющего направление итераций. Решение получаемой системы нелинейных уравнений при использовании современных программных средств не представляет сложности.

Известны два способа расчета от ступени к ступени, отличающиеся независимыми переменными: Льюиса и Мачесона (независимые переменные – составы продуктов разделения), Тиле и Геддеса (независимые переменные – температуры на каждой теоретической ступени). Остальные величины, необходимые для решения системы уравнений (флегмовое число, количество и состав питания), являются зависимыми переменными.

ЖК и СК имеют малую упругость пара и, как следствие, высокую температуру кипения. СК при продолжительном нагревании выше температуры 260 °С декарбоксилируются; ЖК более устойчивы и не разлагаются при нагревании до 270 °С, но подвергаются полимеризации [2].

Если принять сумму ключевых компонентов за 100 %, то содержание каждого из них в эквивалентной бинарной смеси характеризуется эффективной концентрацией ключевого компонента. При расчете эффективных концентраций все другие компоненты таллового масла, имеющие летучести, близкие к летучестям ключевых компонентов, объединяются с ключевыми компонентами.

В ЛКК включают все компоненты, для которых справедливо условие

$$1 < \frac{x_{P_i}}{x_{W_i}} < 100,$$

а в ТКК – все компоненты с соотношением

$$1 > \frac{x_{P_i}}{x_{W_i}} > 0,01,$$

где x_{P_i} и x_{W_i} – содержание i -го компонента соответственно в дистилляте и остатке.

Так как опытные данные о составе дистиллята при заданном составе исходной смеси отсутствуют и рабочее флегмовое число колонны существенно отличается от минимального, то в основу расчета заданной степени разделения ректификационной колонны положена приближенная зависимость

$$\lg \frac{x_{P_i}}{x_{W_i}} = C\alpha_i + A, \quad (1)$$

где α_i – относительная летучесть данного компонента при средней температуре колонны;

C, A – константы.

На основании уравнения (1) и с учетом соотношения содержаний ЖК и СК в дистилляте и остатке строят графические зависимости соотношения x_P/x_W от относительной летучести. Через точки, соответствующие ключевым компонентам (СК и ЖК), строят линейную зависимость, пользуясь которой по известным значениям относительной летучести для остальных компонентов находят соотношение их содержаний в дистилляте и остатке. Зная эти соотношения, по уравнению материального баланса определяют его содержание в дистилляте и остатке:

$$Fx_{F_i} = Px_{P_i} + Wx_{W_i}$$

или

$$F \frac{x_{F_i}}{x_{W_i}} = P \frac{x_{P_i}}{x_{W_i}} + W, \quad (2)$$

где x_{F_i} – содержание i -го компонента в питании (исходной смеси);

F, P, W – соответственно расход (количество) исходной смеси, дистиллята и остатка.

Отсюда при заданных величинах F, x_{F_i}, P, W и определенном отношении x_{P_i}/x_{W_i} находят x_{P_i} и x_{W_i} .

Два компонента, получаемые в результате такой группировки, называют эффективными ключевыми компонентами. Для таллового масла за эффективные ключевые компоненты приняты ЖК и СК.

Состав компонентов таллового масла в паровой и жидкой фазах не постоянен и изменяется по высоте колонны. В укрепляющей части колонны содержание более летучих, чем ЛКК, компонентов примерно постоянно и изменяется только в верхней ее части, а содержание менее летучих, чем ТКК, значительно уменьшается выше точки ввода питания. В исчерпывающей части колонны содержание менее летучих, чем ТКК, компонентов практически постоянно и изменяется только в кубовой части.

Флегмовое число, или отношение количества флегмы к количеству дистиллята, является основным параметром в расчете процесса ректифика-

ции. При увеличении флегмового числа необходимое число тарелок уменьшается, при снижении – растет.

Минимальное флегмовое число при расчете ректификации по ключевым компонентам в ректификационной колонне непрерывного действия определяют по уравнению

$$R_{\min} = \frac{x_P - y_F^*}{y_F^* - x_F},$$

где x_P , x_F и y_F^* – содержание легколетучего компонента соответственно в дистилляте, исходной смеси и в паре, находящемся в равновесии с жидкостью, поступающей на ректификацию [3].

Принимая содержание ЖК в исходном талловом масле 50,8 %, СК – 49,2 %, а в дистилляте соответственно 95,0 и 5,0 %, в результате расчета получаем:

$$R_{\min} = \frac{95,0 - 74,2}{74,2 - 50,8} = 0,89.$$

При многокомпонентной ректификации R_{\min} рассчитывают по методу Андервуда. Принимая флегмовое число и относительную летучесть компонентов постоянными по высоте колонны, R_{\min} определяют с помощью следующей системы уравнений:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i x_F}{\alpha_i - \omega} &= v_F; \\ \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i x_P}{\alpha_i - \omega} - 1 &= R_{\min}, \end{aligned} \quad (3)$$

где α_i – летучесть данного компонента при температуре питания относительно наименее летучего компонента;

x_F , x_P – содержание того же компонента соответственно в питании (исходной смеси) и дистилляте;

v_F – доля питания, поступающего в парообразном состоянии (так как все питание подается в виде жидкой смеси, то $v_F = 0$);

ω – условная относительная летучесть, определяемая подбором.

В результате расчета

$$R_{\min} = \frac{1}{2,3 - 1} \left(\frac{0,95}{0,51} - 2,3 \frac{0,05}{0,49} \right) = 1,25.$$

Следовательно, минимальное флегмовое число, полученное методом расчета от ступени к ступени, значительно отличается от результатов расчета по ключевым компонентам.

Число теоретических ступеней разделения таллового масла находят графическим методом путем построения линии равновесия и эффективных рабочих линий. Эти зависимости построены и приведены в работе А. Линдера [4].

**Сравнение приближенного и точного методов расчета
ректификации таллового масла**

Флегмовое число	Число теоретических тарелок					
	по данным А. Линдера [4]			по результатам расчета многокомпонентной смеси		
	Исчерпывающая часть	Укрепляющая часть	Всего	Исчерпывающая часть	Укрепляющая часть	Всего
∞	3	3	6	1	2,5	3,5
10,00	3	3	6	1,5	2,5	4
5,00	3,5	3,5	7	2	3	5
2,00	5,5	4,5	10	2,5	3,5	6
1,25	7	5	12	∞		
1,10	12	8	20			
1,00	∞					

Результаты расчета многокомпонентной ректификации таллового масла при одинаковом составе смоляных и жирных кислот в исходном продукте, полученные приближенным методом ключевых компонентов [4], были сопоставлены с данными точного метода (см. таблицу).

Как видно из таблицы, число теоретических тарелок в колонне для непрерывной ректификации таллового масла, найденное в результате расчета многокомпонентной смеси, существенно отличается от результатов приближенного расчета. При расчете по методу ключевых компонентов флегмовое число изменяется от 1 до бесконечности. Причем, чем меньше флегмовое число, тем большее количество тарелок необходимо для заданного разделения. Как нами было показано ранее [1], увеличение числа теоретических тарелок нецелесообразно, так как это повышает гидродинамическое сопротивление колонны, снижает степень разделения многокомпонентной смеси и, что особенно важно для термолабильных веществ, приводит к деградации компонентов таллового масла.

Применение точных методов многокомпонентного расчета позволяет исключать ошибки в расчете. Методы расчета от ступени к ступени являются наиболее надежными и при использовании современных программных средств не представляют сложности, а полученные с их помощью результаты подтверждаются на практике.

Таким образом, рассчитывать процесс ректификации таллового масла по приближенному методу ключевых компонентов нецелесообразно. Для этой цели необходимо применять более точные методы расчета от ступени к ступени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Владиминова, Т.М.* Моделирование процесса ректификации и парциальной конденсации при разделении таллового масла [Текст] / Т.М. Владимирова, О.М.

Соколов, С.И. Третьяков //Лесн. журн. – 2006. – №3. – С. 151–153. – (Изв. высш. учеб. заведений).

2. *Сумароков, В.П.* Талловое масло [Текст] / В.П. Сумароков, М.Л. Ваньян, А.И. Аскинази. – М.: Лесн. пром-сть, 1965. – 148 с.

3. *Файнберг, Е.Е.* Ректификация природных жирных кислот и высших жирных спиртов [Текст] / Е.Е. Файнберг. – М.: Пищевая пром-сть, 1970. – 183 с.

4. *Linder, A.* Tall Oil Refining [Text] / A. Linder // Ing. Vetensk. Akad. Handl. – N 207. – Stockholm, 1952.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 27.04.06

T.M. Vladimirova, O.M. Sokolov, S.I. Tretyakov

Comparative Analysis of Calculation Method for Tall Oil Rectification

The comparative analysis of the rectification process calculation for tall oil is carried out according to key components and accurate “stage by stage” method of calculation. It is established that application of the accurate method allows to exclude mistakes in calculation.
