

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР**



**ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ**

*ISSN 0579—3009*

# **ПИЩЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ**

**ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК**

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯЧЕЕЧНОЙ МОДЕЛИ ПРИ РАСЧЕТЕ ЦИКЛИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ

В. Н. МАЛЕТА, В. М. ТАРАН, В. А. ДУБОВИК, Т. В. ЛЕСКОВА

Киевский ордена Трудового Красного Знамени технологический институт  
пищевой промышленности

В проектных расчетах циклического процесса ректификации необходимо учитывать реальные условия работы колонн, в частности, криволинейную равновесную зависимость, величину локального КПД  $E_0$ , кратность вытеснения жидкостной задержки  $\Phi$  и другие факторы, влияющие на процесс.

Предлагаем новый метод расчета колонны, работающей в циклическом режиме, существенно учитывающий нелинейность кривой равновесия и основанный на представлении циклического режима ячеечной моделью.

Разделим паровой поток в колонне на  $N$  долей, в каждой из которых осуществляется полное перемешивание, но между ними перемешивание не происходит. Тогда количество легколетучего компонента ЛЛК, поступающего на  $n+1$ -ое контактное устройство, можно представить в виде:

$$G \int_0^{t_n} y_n(t) dt = V_N \sum_{i=1}^N y_n^{(i)},$$

где  $G$  — поток пара в колонне, моль/с;  $y_n$  — концентрация ЛЛК в

паре после  $n$ -й ступени контакта, *моль/моль*;  $y_n^{(i)}$  — концентрация ЛЛК в паре после выхода потока из  $i$ -той ячейки, *моль/моль*;  $t$  — время, *с*;  $t_n$  — время подачи пара, *с*;  $N$  — число долей разбиения парового потока (количество ячеек);  $i$ -текущее значение интервала разбиения;  $V_\Lambda = Gt_n/N$  — количество пара на единицу разбиения, *моль*.

Очевидно, количество пара, прошедшего через каждую ступень контакта, удовлетворяет условию  $Q = V_\Lambda i$ ,  $1 \leq i \leq N$ .

Для каждой ступени контакта отсчет времени связан с элементарным актом массопередачи, который можно записать так:

$$V_N y_{n-1}^{(i)} + H x_n^{(i-1)} = V_N y_n^{(i)} + H x_n^{(i)}, \quad (1)$$

где  $x_n^{(i)}$  — концентрация ЛЛК в жидкости для  $i$ -той ячейки, *моль/моль*;  $H$  — количество жидкости на ступени контакта, *моль*.

Таким образом, выражение (1) является уравнением материального баланса ячейки идеального перемешивания.

Если известен вид функции  $y=f(x)$ , описывающей равновесную зависимость, то любое значение  $y_n^{(i)}$  можно представить равенством

$$y_n^{(i)} = m_n^{(i)} x_n^{(i)} + b_n^{(i)}, \quad (2)$$

причем  $m_n^{(i)} = f'(x_n^{(i)})$ ,  $b_n^{(i)} = f(x_n^{(i)}) - m_n^{(i)} x_n^{(i)}$ .

Геометрически это значит (рис. 1), что криволинейный участок равновесной зависимости  $f(x)$  заменяется не отрезком прямой  $AA_1$ , как обычно, а ломаной  $BB_1$ , которая при больших значениях  $N$  практически не отличается от кривой  $f(x)$ . Отсюда следует также, что  $m_n^{(i)} \approx m_n^{(i-1)}$ ,  $b_n^{(i)} \approx b_n^{(i-1)}$ ,

поэтому из (1) и (2) находим концентрацию ЛЛК на  $n$ -й ступени контакта для  $i$ -того интервала разбиения периода подачи пара  $t_n$ :

$$x_n^{(i)} = V_N y_{n-1}^{(i)} + H x_n^{(i-1)} - V_N b_n^{(i-1)} / V_N m_n^{(i-1)} + H. \quad (3)$$

Степень отклонения пара от равновесного значения учитывается величиной локального КПД  $E_0 = y_n^{(i)} - y_{n-1}^{(i)*} / y_n^{(i)*} - y_{n-1}^{(i)}$ .

Предполагаем, что во время жидкостного периода массообмен не происходит, а переток жидкости со ступени на ступень осуществляется мгновенно. В реальных условиях это достигается непрерывной подачей жидкости на тарелку питания и минимальным временем перетока со ступени на ступень. Следует отметить, что основная роль жидкостного периода заключается в распределении концентраций ЛЛК в жидкости по ступеням контакта до начала периода подачи пара. В нашем случае оно определяется формулой

$$x_n^{(1)} = \Phi x_{n+1}^N + (1 - \Phi) x_n^N, \quad 0 < \Phi \leq 1. \quad (5)$$

Система уравнений (1)–(5) является математической моделью циклического процесса ректификации, параметры модели — величины  $E_0$  и  $\Phi$ , которые в идеальных условиях принимают единичные значения.

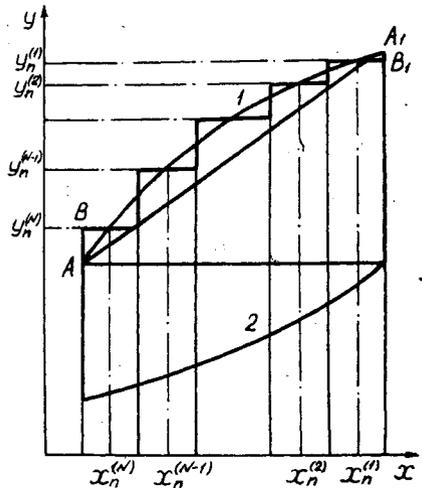


Рис. 1. Изображение числа долей разбиения парового потока на  $n$ -ой ступени контакта. 1 — линия равновесия, 2 — рабочая линия

Модель была реализована на ЭВМ ЕС-1022. Для проверки точности метода машинный расчет сравнивали (для системы линейных дифференциальных уравнений [1]) с точным аналитическим решением. Оказалось, что при  $N=1000$  максимальная относительная погрешность в определении концентрационного профиля для каждой ступени контакта не превышает 1%.

Влияние параметров модели  $E_0$  и  $\Phi$  и ее управляющих факторов  $L$ ,  $G$  и  $t_n$  исследовали на эквимольярной бинарной смеси этанол—вода. Для заданной степени разделения (концентрация питания  $X_n = 5,1\%$ , концентрация кубового остатка  $X_0 = 0,004\%$ ) и расхода контактирующих фаз ( $L/G=6$ ) определили число ступеней контакта и их эффективность. Результаты моделирования получены в виде зависимостей  $x_n = f(t)$  (рис. 2).

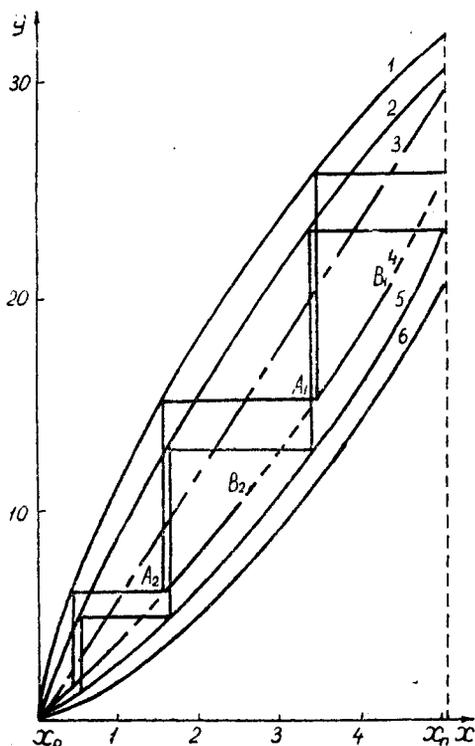


Рис. 2. Изображение процесса разделения смеси этанол—вода. 1 — линия равновесия, 2 — кинетическая кривая, 3 — рабочая линия идеального перемешивания,  $n=12$ .

Рабочие линии при различных параметрах циклического процесса: 4 —  $\Phi=0,5$ ,  $E_0=1$ ,  $n=7$ ; 5 —  $\Phi=1$ ,  $E_0=0,8$ ,  $n=7$ ; 6 —  $\Phi=1$ ,  $E_0=1$ ,  $n=5$

рабочей линии циклического процесса будет рабочая линия идеального перемешивания, с тангенсом угла наклона  $L/G$  (рис. 2, линия 3).

Влияние величины  $E_0$  на эффективность разделения проявляется не только на степени достижения равновесия, как это известно при обычном методе расчета с использованием соотношения  $L/G$ , но и на положении рабочей линии (рис. 2, линии 2 и 5).

Определение общей эффективности ступени контакта  $E_m$  в зави-

Кривизна рабочих линий обусловлена кривизной линии равновесия и непрерывным изменением концентрации ЖЛК в жидкости и паре. Для каждой ступени контакта имеет место зависимость величины фактора диффузионного потенциала  $\lambda$  от времени подачи пара  $\lambda=f(t)$ , что влечет за собой изменение эффективности работы ступени [2].

Основную роль в процессе разделения играет расход контактирующих фаз, т. е. отношение жидкостной  $L$  и паровой  $G$  нагрузок. С увеличением жидкостной нагрузки рабочая линия меняет свое положение, приближаясь к линии равновесия, увеличивая число ступеней контакта для заданной степени разделения.

При  $\Phi < 1$  (рис. 2, линия 4) рабочая линия носит дискретный характер. Рабочие участки  $AB$  определяются формулой (5) и зависимостью  $\lambda=f(t)$ . Если  $\Phi \rightarrow 0$ , то среднее время пребывания жидкости на ступени  $\theta \rightarrow \infty$  [3], эффективность процесса разделения падает и рабочие участки стягиваются в точку. Предельным положением

симости от  $E_0$  и  $\lambda$  показало удовлетворительное совпадение с расчетными значениями  $E_n$  по Льюису [2].

Если запас жидкости на ступени контакта выразить как  $H=Lt_n$ , то положение рабочей линии (эффективность разделения) не зависит от величины  $t_n$ , а определяется соотношением  $L/G$ .

### ВЫВОДЫ

1. Использование ячеечной модели при расчете циклического режима с достаточной для инженерной практики точностью дает возможность определить число ступеней контакта, учитывая при этом реальные условия работы колонны.

2. Построенные на основании расчета рабочие линии процесса позволяют наглядно показать взаимосвязь распределения концентраций легколетучего компонента в жидкости и паре, выявить влияние управляющих факторов и параметров модели на эффективность разделения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Соммерфельд Д. Т. Контролируемая циклическая ректификация. — Хим. пром-сть, 1968, № 1, с. 51.
2. Lewis W. Rectification of binary mixtures. — Ind. Engin. Chem., 1936, 28, 399.
3. Малета В. Н., Таран В. М., Дубовик В. А. Сопоставление циклического и стационарного процесса ректификации. — Изв. вузов СССР, Пищевая технология, 1986, № 6, с. 52.

Кафедра процессов и аппаратов  
пищевых производств  
Кафедра высшей математики

Поступила 17 XII 1985