

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ПИЩЕВАЯ
ТЕХНОЛОГИЯ

ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК

КОЭФФИЦИЕНТ ИЗБЫТКА ПАРА БРАЖНОЙ И ФЛЕГМОВОЕ ЧИСЛО РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

И. Ф. МАЛЕЖИК, П. С. ЦЫГАНКОВ

Киевский технологический институт пищевой промышленности

Определены методом А. Н. Плановского оптимальный коэффициент избытка пара бражной колонны и оптимальное флегмовое число ректификационной колонны брагоректификационных аппаратов.

При расчете колонн брагоректификационных аппаратов соотношение между паровым и жидкостным потоками принято выбирать на основе практических данных. А. Н. Плановский [1] предложил новый метод выбора рабочего флегмового числа v (соотношения между паровым и жидкостным потоками), намечающий при помощи расчета оптимальные условия орошения. Главное в этом методе — положение о пропорциональности площади свободного сечения колонны количеству парового потока, измеряемого величиной $(v + 1)$, а рабочей высоты колонны — числу единиц переноса m . Рабочий объем колонны, в свою очередь, пропорционален $m(v + 1)$. Поскольку m зависит от величины движущей силы процесса, определяемой v , построим зависимость $m(v + 1) = f(v)$.

Исследование этой зависимости показывает резко выраженный минимум, определяющий оптимальное v , которое соответствует минимальному объему колонны.

Методом Плановского мы определяли оптимальные значения коэффициента избытка пара бражной колонны и v ректификационной колонны применительно к трехколонному брагоректификационному аппарату спиртовой промышленности.

Для расчета бражной колонны исходными данными были концентрации спирта: в барде $x_o = 0,015 \text{ об. \%} = 0,0047 \text{ мол. \%}$; в бражке на питательной тарелке $x_n = 9 \text{ об. \%} = 2,95 \text{ мол. \%}$.

На диаграмме $X - Y$ (рис. 1) показаны кривая фазового равновесия для смеси этанол — вода [2] и рабочие линии при различном значении избытка пара. Для построения последних использовали уравнение:

$$y = \frac{L}{G} (x - x_o), \quad (1)$$

где x_o — концентрация спирта в остатке, *моль*;

L и G — соответственно жидкостный и паровой потоки, *кмоль*.

Рабочая линия I—I соответствует минимальному расходу пара на единицу подаваемого продукта:

$$G_{\min} = L \frac{x_n - x_o}{y_p}, \quad (2)$$

где y_p — концентрация спирта в паре, находящемся в равновесии с жидкостью на питательной тарелке x_n .

Принимая $L = 1$, получим:

$$G_{min} = \frac{x_n - x_o}{y_p}, \quad (3)$$

где G_{min} — расход пара, моль/моль бражки.

Но при G_{min} требуется бесконечно большое число тарелок в колонне. Поэтому в реальной колонне всегда должен быть избыток пара. При конечном числе тарелок расход пара G должен превышать G_{min} .

$$G = G_{min}\beta; \quad \frac{G}{G_{min}} = \beta > 1, \quad (4)$$

где β — коэффициент избытка пара.

С ростом β увеличивается удельный расход пара и сечение колонны, но зато уменьшается необходимое число тарелок для истощения легколетучего компонента из бражки. Величину β при расчете колонны определяем методом Плановского. В нашем случае количество парового потока измеряется величиной $G_{min}\beta$, а рабочий объем колонны пропорционален $m G_{min}\beta$. Если задаться различными β и определить для них общее по всей колонне m графическим интегрированием в пределах заданных x_o — x_n и построить зависимость $m G_{min}\beta = f(\beta)$, то на графике последней будет отчетливо выражен минимум. Он отвечает тому значению β , при котором рабочий объем колонны наименьший.

Рис. 1. Значения β : 1 — 1,05; 2 — 1,15; 3 — 1,25; 4 — 1,4; 5 — 1,5.

При принятых $x_o = 0,0047$ мол.%, $x_n = 2,95$ мол.% и равновесной концентрации спирта в паре над питательной тарелкой $y_p = 24,4$ мол.% по уравнению (3) находим $G_{min} = 0,125$ кмоль (при $L = 1$ кмоль). Результаты расчета m и $m G_{min}\beta$ при различных β сведены в табл. 1.

Таблица 1

β	$G_{min}\beta$	$\frac{L}{G} = \text{tg } \alpha$	m	$m G_{min}\beta$	β	$G_{min}\beta$	$\frac{L}{G} = \text{tg } \alpha$	m	$m G_{min}\beta$
1,05	0,131	7,63	17,0	2,23	1,25	0,156	6,4	13,7	2,14
1,1	0,137	7,3	16,0	2,19	1,3	0,162	6,17	13,36	2,16
1,15	0,143	7,0	15,1	2,16	1,4	0,174	5,75	12,7	2,21
1,2	0,149	6,7	14,44	2,15	1,5	0,187	5,35	12,0	2,24

Из таблицы видно, что оптимальное значение $\beta = 1,25$, из которого рассчитаем G на 100 кг бражки.

Количество спирто-водного пара, уходящего из бражной колонны на 100 кг бражки, определим из уравнения баланса спирта:

$$Gy = 100 x_{\sigma p}, \quad (5)$$

$$\text{откуда } G = \frac{7,2 \cdot 100}{45,2} = 15,9 \text{ кг.}$$

При $\beta = 1,25$ действительное количество спирто-водного пара: $G_{\partial} = 19,9$ кг. Действительная концентрация спирта в парах составит: $x_{\partial} = 36,2$ вес.%, или 18,1 мол.%.
Уравнение материального баланса бражной колонны:

$$100 + P = 19,9 + B, \quad (6)$$

где P — расход пара, кг;

B — количество барды, кг;

откуда $B = 80,1 + P$.

Уравнение теплового баланса имеет вид:

$$100C_{\sigma p}t_{\sigma p} + Pi_1 = G_{\partial}i_2 + (80,1 + P)C_{\sigma}t_{\sigma} + Q_n, \quad (7)$$

где $C_{\sigma p}$ — теплоемкость бражки, ккал/кг·град;

$t_{\sigma p}$ — температура бражки, °С;

i_1, i_2 — энтальпия соответственно греющего и спирто-водного пара, ккал/кг;

C_{σ} — теплоемкость барды, ккал/кг·град;

t_{σ} — температура барды, °С;

Q_n — тепло, теряемое в окружающую среду, на 100 кг бражки, ккал; примем $Q_n = 200$ ккал.

Подставляя в уравнение (7) известные величины, получим:

$$100 \cdot 0,95 \cdot 93,2 + 642,8P = 19,9 \cdot 514 + 8010 + 100P + 200,$$

откуда $P = 17,6$ кг и $B = 97,7$ кг.

Расход греющего пара на 1 дал безводного спирта

$$P_{\text{дал}} = \frac{17,6}{7,2} \cdot 10 \cdot 0,79 = 19,3 \text{ кг/дал.}$$

При расчете ректификационной колонны исходные данные по содержанию спирта таковы: в остатке $x_o = 0,015$ об.% = 0,0047 мол.%; в элюрате, поступающем на питательную тарелку ректификационной колонны, $x_n = 45$ об.% = 19,21 мол.%, в дистилляте $x_{\partial} = 96,2$ об.% = 86,25 мол.%.

Минимальное значение v находим графически, пользуясь диаграммой равновесия $x - y$ (рис. 2):

$$v_{\min} = \frac{x_{\partial} - B_{\max}}{B_{\max}} = \frac{0,8625 - 0,273}{0,273} = 2,16. \quad (8)$$

Таблица 2

ε	v	B
1,1	2,38	0,255
1,3	2,81	0,226
1,5	3,24	0,203
1,8	3,89	0,176
2,2	4,75	0,150
3,0	6,48	0,115
3,7	7,99	0,0958

Для ряда значений флегмовых чисел больше $v_{\min} = 2,16$ находим значения отрезков B на диаграмме по формуле:

$$B = \frac{x_{\partial}}{v + 1}, \quad (9)$$

где $v = v_{\min} \varepsilon$ при ε — коэффициенте избытка флегмы, и получаем табл. 2.

Соединяя точки B с точкой I , получаем ряд рабочих линий укрепляющей части ректификацион-

ной колонны, точки пересечения их с линией x_n соединяем с точкой 2 и имеем ряд рабочих линий отгонной части ректификационной колонны.

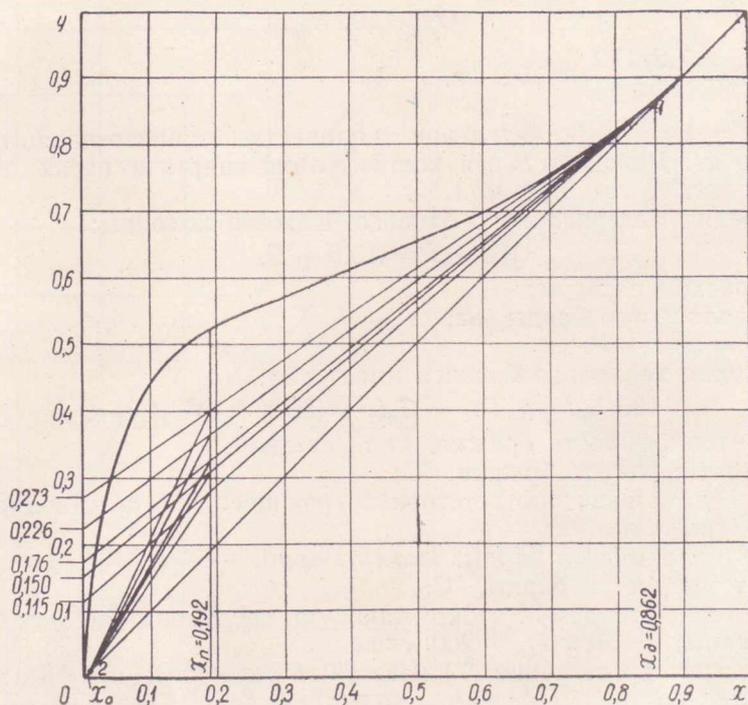


Рис. 2.

Для каждого выбранного v в заданных концентрациях жидкости от $x_0 = 0,0047$ мол. % до $x_d = 86,25$ мол. % определяем $x - x_p$ как величины отрезков по горизонтали между линиями рабочих концентраций и кривой равновесия. Затем вычисляем $\frac{1}{x - x_p}$ и графическим интегрированием для каждого v рассчитываем соответствующее m согласно уравнению:

$$m_x = \int_{x_0}^{x_d} \frac{dx}{x - x_p} \quad (10)$$

Результаты сведены в табл. 3. Минимальному значению $m_x(v+1)$ соответствует оптимальное $v = 3,24$. Коэффициент избытка над минимальным флегмовым числом составляет:

$$\varepsilon = \frac{v}{v_{\min}} = \frac{3,24}{2,16} = 1,5. \quad (11)$$

Расчет сделан для бинарной смеси этанол—вода и не учитывает влияния примесей в колонне, так как содержание их незначительно.

Таблица 3

$v+1$	m_x	$m_x(v+1)$
3,38	53,24	180
3,81	36,66	140
4,24	26,97	114,5
4,89	24,9	122
5,75	23,95	137,5
7,48	21,67	162
8,99	20,22	182

ВЫВОДЫ

1. Оптимальное значение коэффициента избытка пара бражной колонны брагоректификационного аппарата $\beta=1,25$, а коэффициент избытка флегмы над минимальным флегмовым числом ректификационной колонны $\varepsilon=1,5$.

2. Число единиц переноса бражной колонны при оптимальном соотношении между паровым и жидкостным потоками $m=13,7$, а ректификационной колонны $m=27$.

Кафедра процессов и аппаратов
пищевых производств

Поступила 22 X 1962

ЛИТЕРАТУРА

1. Плановский А. Н., Николаев П. И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. Гостоптехиздат, М., 1960.
 2. Стабников В. Н., Муравская О. Г. Тр. Киевск. технол. ин-та пищ. пром-сти, вып. 13, 209, 1953.
-