

663.551.24

АНАЛИЗ ЭПЮРАЦИИ В БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННОМ АППАРАТЕ СИСТЕМЫ КТИПП

А. П. НИКОЛАЕВ, П. С. ЦЫГАНКОВ, В. С. БОДРОВ

Киевский технологический институт пищевой промышленности

В брагоректификационном аппарате системы КТИПП [1] бражка, поступающая в аппарат, проходит эпюрацию в эпюрационной колонне ЭК. Знание статистики ЭК и величины затрат на процесс поможет правильно спроектировать колонну, выбрать и обосновать экономически выгодный режим процесса [2].

Введем обозначения:

F — количество бражки, поступающей на эпюрацию, *моль*;

W_o — количество эпюрированной бражки, *моль/моль* питания;

P — количество спирто-водного пара, поступающего в ЭК для ее обогрева, *моль/моль* питания;

D — количество всех легколетучих в эфирно-альдегидной фракции ЭАФ, % от поступающего с бражкой спирта;

L, G — жидкостный и паровой потоки, *моль/моль* питания;

n, m — число теоретических тарелок и единиц переноса;

$X_f, X_o, X_d, X_{пит}$ — концентрация спирта в бражке, эпюрате, ЭАФ и на питательной тарелке, *моль/моль* питания;

$Y^{эп}$ — концентрация спирта в греющем паре, *мол. %*;

A, Y — текущие значения концентрации спирта в жидкости и в паре, находящихся в контакте в любом сечении колонны, *мол. %*;

$X_{f1}', X_o', X_d', X_{пит}'$ — концентрация примеси в бражке, эпюрате,

ЭАФ и в жидкости на питательной тарелке, *мол. %*;

α — степень извлечения примеси;

K, K' — коэффициенты испарения этанола и примеси [3].

Для расчетов выбраны такие значения переменных величин: P , *моль/моль* питания: 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; X_f , *об. %*: 5; 7,5; 10; α , а) для ацетальдегида: 20, 100, 400, 1000; б) для этилацетата: 50, 200, 1000, 1500; в) для метанола: 5, 10, 20, 30. Расчет проводим по отношению к $F=1$ *моль*.

Материальный баланс ЭК по спирту:
$$FX_f + PY^{эп} = W_o X_o, \quad (1)$$

откуда
$$X_o = \frac{FX_f + PY^{эп}}{F + P}. \quad (2)$$

Материальный баланс нижней части колонны:

$$(F + P)X + PY^{эп} = PY + (F + P)X_o, \quad (3)$$

откуда уравнение рабочей линии низа ЭК:

$$Y = \frac{F + P}{P}X + Y^{эп} - \frac{F + P}{P}X_o. \quad (4)$$

В данном случае недогрев бражки до температуры кипения не сказывается на материальном балансе и уравнении рабочей линии.

Решим совместно уравнения (4) и (2), тогда:

$$Y = \frac{F+P}{P}X - Y^{эп} - \frac{F+P}{P} \left(\frac{FX_f + PY^{эп}}{F+P} \right) = \frac{F+P}{P}X - \frac{FX_f}{P}. \quad (5)$$

Если $Y=X$, то $X=X_f$, т. е. точке пересечения рабочих линий нижней и верхней частей ЭК соответствует определенная величина X_f (при условии, что флегмовое число верхней части колонны равно бесконечности, т. е. рабочая линия верхней части ЭК совпадает с диагональю графика кривой равновесия системы этанол—вода). Значение $X_{нит}$ в пределе приближается к точке пересечения кривой равновесия и рабочей линии низа ЭК и определяется их совместным решением. Величины низа колонны n_n , m_{xn} [3, 4]:

$$n_n = \frac{\lg \left[1 + \alpha \left(\frac{K'G}{L} - 1 \right) \right]}{\lg \frac{K'G}{L}} - 1, \quad (6)$$

$$m_{xn} = n_n \frac{K'}{K' - K''} \ln K' K'', \quad (7)$$

где $K'' = L/G$. Значения α принимаем на основании [5, 6]. Расчет проводим применительно к извлечению и концентрированию ацетальдегида, этилацетата и метанола, т. е. примесей, определяющих качество эюрирования паточных и зерно-картофельных бражек [7, 8].

Зависимость n_n от P , α и X_f при извлечении ацетальдегида представлена на рис. 1 а (сплошные линии). Изменение α от 20 до 1000

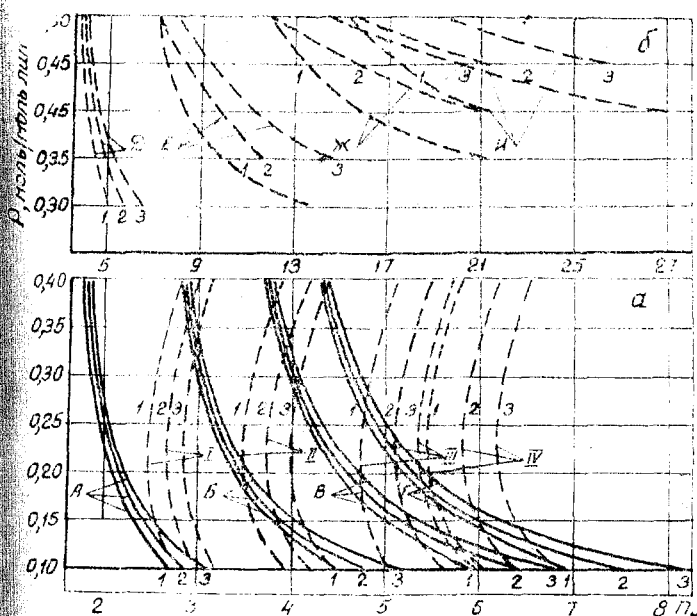


Рис. 1. Извлечение примесей. X_f , об. %: 1—5; 2—7.5; 3—10. α : А—20; Б—100; В—400; Г—100; Д—5; Е—10; Ж—20; И—30; I—50; II—200; III—1000; IV—2500.

вызывает изменение необходимого n_n от 3 до 8 (при $P=0.1$) и от 2 до 5 (при $P=0.4$ моль/моль питания). С ростом P требуемое n_n уменьшается с возрастанием α . Влияние X_f на n_n невелико (при $\alpha = \text{const}$) и колеблется в пределах одной тарелки. При постоянных n_n и X_f увеличение P приводит к повышению α .

На рис. 1 *а* приведена также зависимость n_n от P , α и X_f при извлечении из бражки этилацетата (штрихпунктирные линии). Влияние α и X_f на n_n такое же, что и при извлечении ацетальдегида. Отличие в том, что при постоянных α и X_f изменение расхода пара от 0,2 моль/моль питания в сторону уменьшения или увеличения вызывает увеличение n_n в пределах одной теоретической тарелки.

На рис. 1 *б* показана зависимость n_n от P , α и X_f при извлечении метанола. Особенностью в данном случае является то, что даже при минимальных α эта примесь начинает извлекаться только при расходе пара от 0,3 моль/моль питания и выше, что объясняется малыми K' метанола. С увеличением α резко возрастают минимальная величина P , при которой возможно извлечение, и необходимое число тарелок. Увеличение X_f при $\alpha = \text{const}$ также вызывает рост требуемого n_n . Так, с изменением X_f от минимума до максимума (при $P = 0,05 \div 0,35$ моль/моль питания) величина n_n изменяется: при $\alpha = 5,0$ — в пределах одной тарелки (4,5 — 5,5); при $\alpha = 10,0$ — от 7,0 до 13,0; при $\alpha = 20,0$ — от 11,0 до 27,0.

Расчет n_b проведен методом „от тарелки к тарелке“ [4] с использованием ранее полученных зависимостей $X_{\text{нум}}$ от P и X_f . При этом исходим из условия полного отвода с ЭАФ примеси, поступавшей в ЭК с бражкой (наличие примеси в элюрате обусловлено поступлением ее с непастеризованным спиртом), т. е. $\Delta X_{\theta}' = F X_f'$, где Δ — количество молей ЭАФ.

$$\text{Так как } D = \frac{\Delta X_{\theta} \cdot 100}{F X_f}, \text{ а } \Delta = \frac{F X_f'}{X_{\theta}'}, \text{ то } D = \frac{X_f' X_{\theta} \cdot 10}{X_{\theta}' X_f}. \quad (8)$$

Содержание X_f' на тарелках определяем по зависимости:

$$X_{n+1} = X_n K_n. \quad (9)$$

Расчеты n_b (m_{xb}) проводились применительно к условиям концентрирования ацетальдегида, этилацетата и метанола.

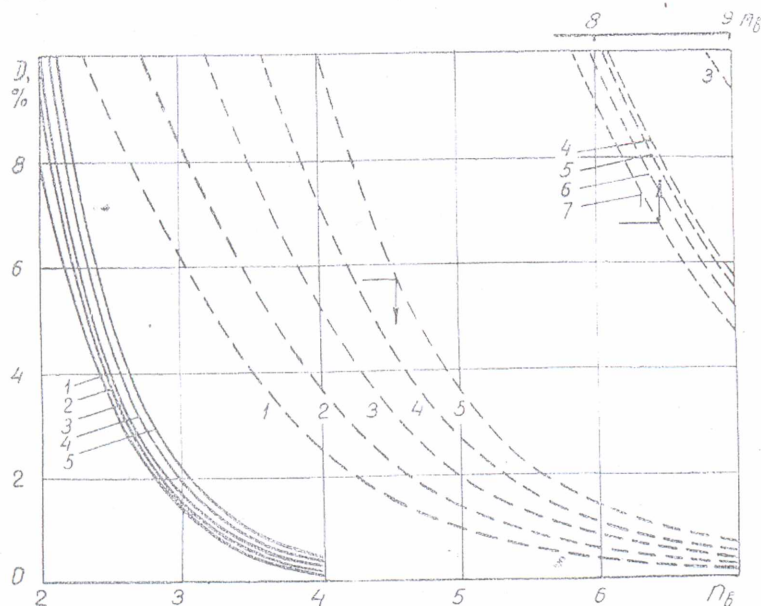


Рис. 2. Концентрирование примесей. P , моль/моль питания: 1—0,1; 2—0,15; 3—0,2; 4—0,25; 5—0,3; 6—0,35; 7—0,4.

На рис. 2 показана зависимость n_b от D и P для этих примесей при наиболее часто встречающемся на практике $X_f = 2,5$ мол. % (7,5 об. %). Из графика видно, что с уменьшением D до 1% и ниже число требуемых n_b возрастает: для ацетальдегида — до 3,5 — 4,0, для

этилацетата — до 6,0—7,0. Метанол может быть выведен из ЭК при $D \geq 4,0\%$, для чего требуется до девяти теоретических тарелок в верхней части ЭК. Увеличение P вызывает повышение D для ацетальдегида и этилацетата (при $n_v = \text{const}$) и уменьшение для метанола. Это объясняется тем, что K' метанола (в противоположность K' этилацетата и ацетальдегида) растет при увеличении $X_{\text{нмт}}$. Последнее повышается с ростом P . Поэтому увеличение P может ухудшить при определенных условиях работу колонны. Рис. 2 иллюстрирует возможность концентрирования и отвода из колонны ацетальдегида и этилацетата с достаточно малыми значениями D и трудность вывода метанола. Влияние X_f на процесс невелико. С изменением X_f от 5,0 до 10,0 об.% n_v изменяется в пределах 0,5 тарелки.

Затраты на эюрацию K_{Σ} определялись как сумма затрат на амортизацию $K_{\text{ам}}$, ремонт $K_{\text{рем}}$ колонны и на вторичную переработку спирта $K_{\text{вт}}$, отводимого с ЭАФ на колонну разгонки ЭАФ

$$K_{\Sigma} = K_{\text{ар}} + K_{\text{вт}} = K_{\text{ам}} + K_{\text{рем}} + K_{\text{вт}} \text{ руб/дал абсолютного алко-голя (а.а.)}, \quad (10)$$

$$K_{\text{ам}} = K_{\text{рем}} = \left(\frac{n_{\Sigma}}{\eta} - 2 \right) C_{\text{ам}} \text{ руб/дал а. а.}, \quad (11)$$

$$K_{\text{вт}} = \frac{D(K^{\text{БР}} + K_{\text{ар}})}{100 - D} \text{ руб/дал а. а.}, \quad (12)$$

где η — к.п.д. тарелок;

$C_{\text{ам}}$ — удельные амортизационные отчисления;

„2“ — две реальные тарелки [9]; $n_{\Sigma} = n_n + n_v$;

$K^{\text{БР}}$ — суммарные затраты на брагоректификацию [1].

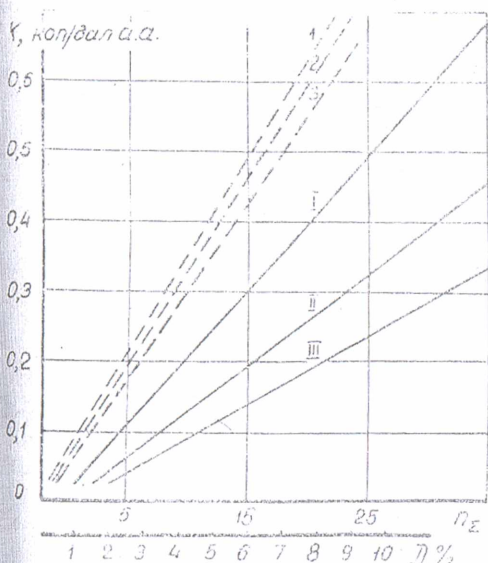


Рис. 3. Затраты на эюрацию. X_f , об.%:

I — 5; II — 7,5; III — 10.

η : I — 0,3; II — 0,45; III — 0,6.

Затраты на пар не входят в K_{Σ} , так как они были учтены при расчете $K^{\text{БР}}$.

График зависимости $K_{\text{ар}}$ от n_{Σ} и η представлен на нижней части рис. 3 (сплошные линии). При постоянном n_{Σ} изменение η от 0,3 до 0,6 ведет к уменьшению $K_{\text{ар}}$ на 0,05—0,25 коп/дал а. а. Изменение n_{Σ} от 2,0 до 25,0 изменяет затраты с ~0,1 до 0,3 коп/дал а. а. при $\eta = 0,45$. Такая незначительная величина $K_{\text{ар}}$ дает возможность более свободно варьировать величину n_{Σ} при проектировании колонны. Изменение D интенсивнее влияет на $K_{\text{вт}}$, чем n_{Σ} на $K_{\text{ар}}$. Зависимость $K_{\text{вт}}$ от D представлена на верхней части рис. 3 (штриховые линии). Уменьшение D с 9,0

до 1,0 приводит к снижению $K_{\text{ам}}$ от 0,7 до 0,05 коп/дал а. а. при $X_f = \text{const}$. Практически $K_{\text{вт}}$ от X_f не зависит. Суммарные затраты на эюрацию, таким образом, целиком зависят от правильно выбранного режима; их оптимум может быть достигнут тщательным подбором величин n_n , n_v и D .

Расчеты проведены на ЭЦВМ „Проминь“. Адекватность математической модели реальному процессу установлена экспериментом на Хоростковском спирткомбинате.

ВЫВОДЫ

Полученные статические и статико-экономические характеристики объясняют взаимное влияние переменных на ход процесса и его стоимость, помогают в выборе и обосновании экономически выгодного режима работы колонны. Эти зависимости позволяют также выбирать рациональное число тарелок извлекающей и концентрационной частей колонны при ее проектировании. Используя эти зависимости, а также изложенные в [1], можно выбирать оптимальный режим работы брагоректификационного аппарата системы КТИПП, обеспечивающий минимум затрат на брагоректификацию спирта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев А. П., Цыганков П. С., Бодров В. С. Изв. вузов СССР, Пищевая технология, № 4, 85, 1971.
2. Николаев А. П. Ферменты и спирт. пром-сть, № 8, 15, 1970.
3. Харин С. Е., Перелыгин В. М. Изв. вузов СССР, Пищевая технология, № 22, 133, 1968.
4. Цыганков П. С. Ферменты и спирт. пром-сть, № 2, 11, 1968.
5. Егоров А. С. Сб. Совершенствование процессов ректификации. УкрНИИТИ, Киев, 1968.
6. Матюша И. Г. Тр. Укр. н.-и. ин-та спирт. пром-сти, вып. 10, 28, Киев, 1965.
7. Грязнов В. П. Практическое руководство по ректификации спирта. Пищепромиздат, М., 1968.
8. Цыганков П. С., Николаев А. П. Изв. вузов СССР, Пищевая технология, № 5, 16, 1960.
9. Николаев О. П., Юдицкий Д. Г. Сб. Харчова промисловість, № 12, 6, 1970.
10. Прейскурант 23-03, ч. I. Дополнение № 10, 1968, НИИХИММАШ, № 12, 1969.

Кафедра процессов и аппаратов
пищевых производств

Поступила 14 VII 1970

АННОТАЦИЯ

В 1972 г. издательство «Пищевая промышленность» выпустит книгу: **Попов В. Д.** Тепло- и массообмен при кристаллизации сахарных растворов. 18 печ. л., 3000 экз., цена 2 руб.

В книге изложены физические основы и методика расчета главных параметров процессов, протекающих при промышленной кристаллизации сахарных растворов в вакуум-аппаратах и в мешалках-кристаллизаторах. Обобщены теоретические и экспериментальные данные автора и других исследователей для формирования основ общей теории процесса в утфельных вакуум-аппаратах и кристаллизаторах и использования этих данных при разработке современной автоматизированной аппаратуры непрерывного действия.

Книга предназначена для работников, занимающихся исследованием, расчетом, разработкой, изготовлением и эксплуатацией кристаллизационной аппаратуры сахарного производства.

Заказы (без денежных переводов) следует направлять по адресу: Москва, 107120, Мрузовский пер., д. 1, Отдел распространения издательства.