

УДК 661.729.9

## ANALYTICAL CALCULATION OF ETHANOL — WATER RECTIFICATION PROCESS

I. Malezhik, T. Mysyura

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Rectification  
Theoretical plate  
Equilibrium curve  
Ethanol  
Phase equilibria*

---

**ABSTRACT**

An empirical equation that accurately describes the phase equilibrium curve of ethanol – water binary system for any values of concentration of alcohol is obtained. This equation is the base for analytical calculation of exhausting and concentrating section of the columns. This calculation is much more accurate than large graphical calculation and can be easily done with the help of a computer.

---

**Article history:**

Received 23.07.2014  
Received in revised form  
04.08.2014  
Accepted 11.08.2014

---

**Corresponding author:**

T. Mysyura  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

---

## АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ РЕКТИФІКАЦІЇ СУМІШІ ЕТАНОЛ — ВОДА

I.Ф. Малежик, Т.Г. Мисюра

*Національний університет харчових технологій*

*У статті одержано емпіричне рівняння, яке з високою точністю описує криву фазової рівноваги бінарної системи етиловий спирт — вода за будь-яких значень концентрації спирту. За допомогою цього рівняння зроблено аналітичний розрахунок виснажних і концентраційних частин колон брагоректифікаційних установок спиртових заводів. Цей розрахунок значно точніший за громіздкий графічний розрахунок і легко виконується з допомогою комп'ютера.*

**Ключові слова:** *ректифікація, теоретична тарілка, крива рівноваги, етанол, фазова рівновага.*

Розрахунок кількості теоретичних тарілок у колонах брагоректифікаційних установок спиртового виробництва здійснюється поперемінним застосуванням кривої фазової рівноваги й робочих ліній концентраційних і виснажних частин колон.

Наразі кількість теоретичних тарілок у ректифікаційних колонах визначають, як правило, графічним методом, наносячи на діаграму  $y - x$  за табличними даними криву фазової рівноваги і за відповідними рівняннями робочі лінії.

Це пояснюється відсутністю достатньо точної аналітичної залежності для спиртоводної суміші між молярним складом парової фази ( $y$ ) і рівноважної до неї рідкої фази ( $x$ ) для всього діапазону зміни концентрацій. Запропоновані різними авторами аналітичні залежності для розрахунку кривої фазової рівноваги передбачають розділення її на дві і більше частин, для кожної з яких одержано окреме емпіричне рівняння. Точність графічного методу залежить від масштабу діаграми, особливо при високих концентраціях етилового спирту.

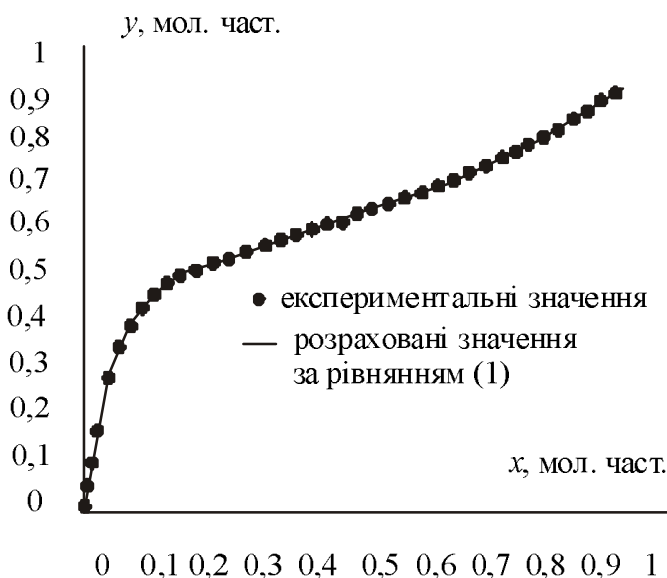
Нами одержано єдине емпіричне рівняння для розрахунку кривої фазової рівноваги бінарної системи етиловий спирт-вода за будь-яких значень концентрації спирту — від рекомендованої в промисловості концентрації спирту в кубовому залишку (0,0047 %мол.) до концентрації в азеотропній точці (89,4 %мол.):

$$y = \frac{14,501x}{1,25 + 21,927x + 28,862x^2} + 0,5x + 0,21x^3, \quad (1)$$

де  $y, x$  — молярні частки етилового спирту в парі і рідині.

На рис.1 показано криві фазової рівноваги, що побудовані за рівнянням (1) і табличними даними, одержаними експериментально В.М. Стабніковим і Т.Б. Процюк [1].

Як видно з рис. 1, обидві криві практично збігаються. Похибка при розрахунках складає лише 0,8%, що менше за похибку при одержанні експериментальних даних.



**Рис.1. Криві фазової рівноваги бінарної суміші етанол — вода, побудовані за експериментальними даними і рівнянням (1)**

Для аналітичного розрахунку кількості теоретичних тарілок (ступенів зміни концентрацій) у ректифікаційних колонах необхідно поперемінно використовувати рівняння фазової рівноваги (1) і рівняння робочих ліній виснажної і концентраційної частин колони. Розрахунок починають від точки  $x_R$  (концентрації етанолу в кубовому залишку) для виснажної колони або виснажної частини ректифікаційної колони і від точки  $x_M$  (концентрації етанолу в початковій суміші) при розрахунках концентраційної частини ректифікаційної колони. За значенням  $x_R$  або  $x_M$  визначають концентрацію етанолу в парі  $y_1$  за рівнянням (1), а за  $y_1$  за рівнянням робочої лінії розраховують концентрацію етанолу в рідині, що стікає з вище розташованої тарілки  $x_1$ . Згідно з таким напрямком розрахунку необхідно рівняння робочих ліній перетворити із залежності  $y=f(x)$  у залежність  $x=\varphi(y)$ . Тоді рівняння робочої лінії для виснажної частини колони при обігріванні відкритою парою матиме вигляд:

$$x = \frac{G}{L}y + x_R = qy + x_R; \quad (2)$$

при закритому обігріву колони:

$$x = \frac{G}{L}(y - x_R) + x_R = q(y - x_R) + x_R, \quad (3)$$

де  $G$  і  $L$  — потоки пари і рідини, кмоль/с;  $q=G/L$ .

Приймаємо, що початкова суміш надходить у конону при температурі кипіння. Тоді відношення матиме вигляд:

$$G/L = \frac{v+1}{v+M/D}, \quad (4)$$

де  $v$  — флегмове число (відношення молярної кількості флегми до кількості дистилляту);  $M$  і  $D$  — відповідно, молярна витрата початкової суміші і дистилляту.

На рис.2 наведена схема алгоритму аналітичного розрахунку кількості теоретичних тарілок у виснажній частині ректифікаційної колони при нагріванні відкритою (гострою) парою. Розрахунок починається від  $x_R$  і закінчується, коли значення  $x$  буде більше або дорівнювати молярній частці етанолу  $x_M$  в початковій суміші (на тарілці живлення).

При закритому обігріві колони в схемі алгоритму, наведеній на рис.3, замість рівняння (2) використовується рівняння (3).

Для концентраційної частини ректифікаційної колони рівняння робочої лінії, виражене відносно  $x$ , має вигляд:

$$x = \frac{v+1}{v}y - \frac{x_D}{v}, \quad (5)$$

де  $x_D$  — молярна частка етанолу в дистилляті (готовому продукті).

Схема алгоритму аналітичного розрахунку кількості теоретичних тарілок у концентраційній частині ректифікаційної колони наведена на рис.4.

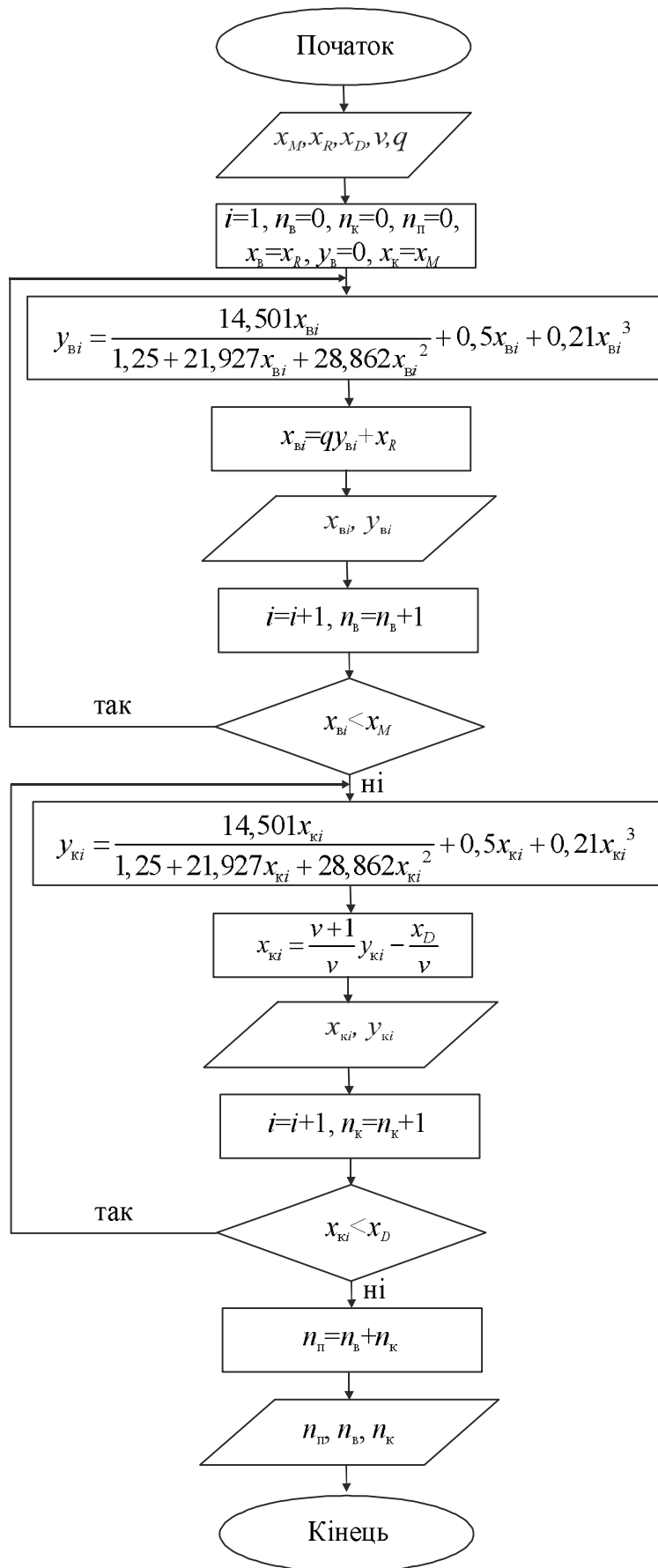


Рис.2. Схема алгоритму розрахунку кількості теоретичних тарілок у повній ректифікаційній колоні

Розрахунок кількості теоретичних тарілок у концентраційній колоні або концентраційній частині повної колони починається від  $x_M$  і закінчується, коли поточне значення  $x$  дорівнює або перевищує молярну частку етанолу  $x_D$  в дистилаті. На рис.2 наведена схема алгоритму розрахунку кількості теоретичних тарілок у повній ректифікаційній колоні.

Для розрахунку кількості дійсних тарілок у ректифікаційній колоні можна користуватися рівнянням:

$$n_d = n_t / \eta, \quad (6)$$

де  $n_t$  — кількість теоретичних тарілок;  $\eta$  — коефіцієнт корисної дії колони.

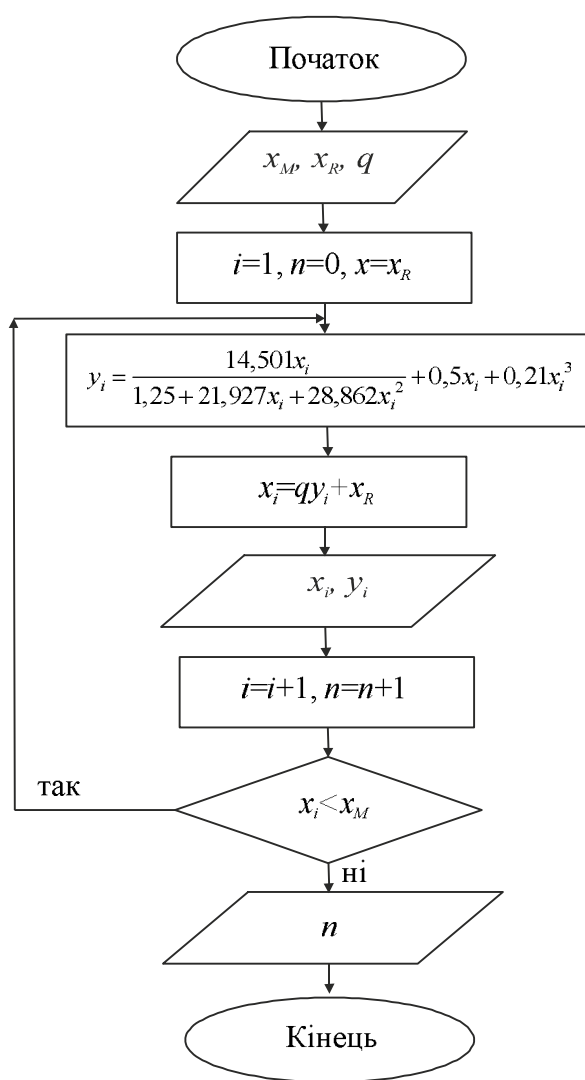


Рис.3. Схема алгоритму розрахунку кількості теоретичних тарілок у виснажній частині ректифікаційної колони при нагрівання відкритою парою

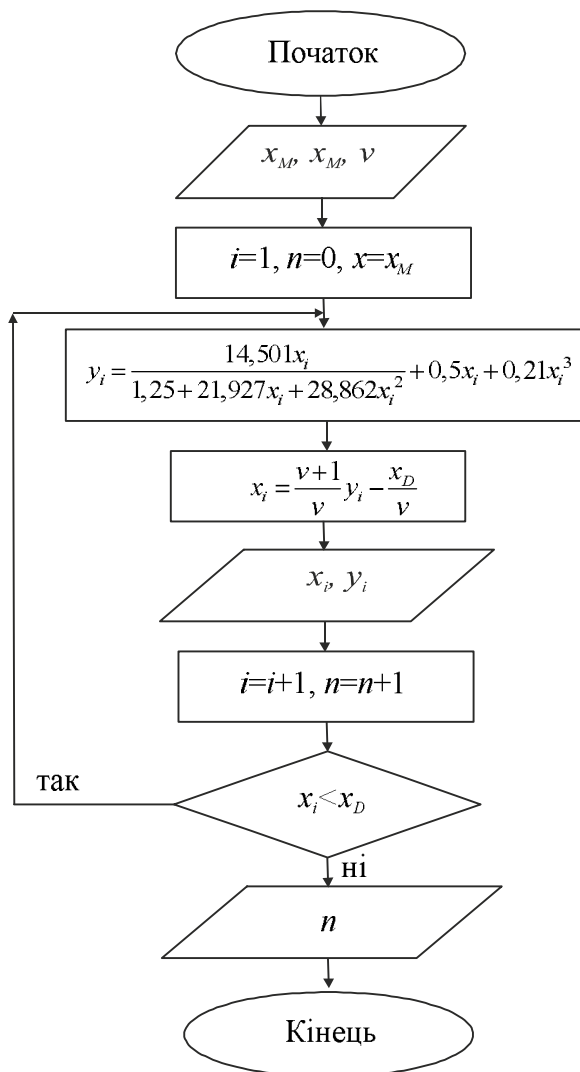


Рис.4. Схема алгоритму розрахунку кількості теоретичних тарілок у концентраційній частині ректифікаційної колони

### Висновок

Вперше одержано єдине емпіричне рівняння, що описує криву фазової рівноваги бінарної суміші етанол — вода, що надає можливість замінити наближений графічний розрахунок кількості теоретичних тарілок у

ректифікаційних колонах спиртової промисловості на значно точніший аналітичний розрахунок.

### **Література**

1. *Стабников В.Н.* Этиловый спирт. // В.Н. Стабников, И.М. Ройтер, Т.Б. Процюк. — М.: Пищевая промышленность, 1976. — 272с.
2. *Цыганков П.С.* Ректификационные установки спиртовой промышленности. — М.: «Легкая и пищевая промышленность», 1984. — 336 с.
3. *Гребенюк С.М.* Расчеты и задачи по процессам и аппаратам пищевых производств / С.М. Гребенюк, Н.С. Михеева, Ю.П. Грачев и др. — М.: Агропромиздат, 1987. — 304 с.

## **АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ СМЕСИ ЭТАНОЛ — ВОДА**

**И.Ф. Малежик, Т.Г. Мисюра**

*Национальный университет пищевых технологий*

*В статье получено эмпирическое уравнение, которое с высокой точностью описывает кривую фазового равновесия бинарной системы этиловый спирт — вода при любых значениях концентрации спирта. С помощью этого уравнения разработан аналитический расчет исчерпывающих и концентрационных частей колонн брагоректификационных установок спиртовых заводов. Этот расчет значительно точнее от громоздкого графического расчета и легко выполняется с помощью компьютера.*

**Ключевые слова:** *ректификация, теоретическая тарелка, кривая равновесия, этанол, фазовое равновесие.*