

## МОДЕЛИРАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА ПРИ РЕКТИФИКАЦИЯ НА ЛАБОРАТОРНА КОЛОНА

Десислава Колева, Мариана Караиванова, Желчо Стефанов, Христо Генчев  
 Университет "Проф. д-р Асен Златаров", Факултет по технически науки, 8010, Бургас,  
 България,  
[desikol2002@yahoo.com](mailto:desikol2002@yahoo.com); [anamariana@abv.bg](mailto:anamariana@abv.bg); [zhstefanov@abv.bg](mailto:zhstefanov@abv.bg); [hrgentchev@abv.bg](mailto:hrgentchev@abv.bg)

### АБСТРАКТ

Rectification is widely used in chemical industry as basic method for separation of liquid homogeneous mixtures. The process is carried out in column apparatuses with plates and filler. Designing rectification columns is based on the method of "theoretical plates", and the transition to the actual plates is achieved by the efficiency coefficient of the plate. Has not yet been proposed a method of theoretical calculation of the efficiency of the tray due to the complex hydrodynamic conditions and the influence of several factors, but exist in the literature empirical correlations for calculating the integral or local coefficient of efficiency of the tray. The aim of the present work is a comparison between the experimentally obtained data for the local efficiency rectification in a laboratory column with one sieve plate of a binary mixture water - acetic acid, calculated data using known from the literature model to determine the model parameters. The method specified is semiempirical and allows calculation of the number of mass-transfer unit respectively the local efficiency.

**Key words:** distillation, local efficiency, coefficient of efficiency of Murphree

### УВОД

Най-важните работни характеристики на една колона са нейната производителност (натоварвания по двете фази) и ефективност. Ефективността на масообменния процес върху отделната тарелка се характеризира чрез диференциални и интегрални характеристики [1]. Диференциалната (локална) характеристика определя масопренасянето в елементарен обем на системата газ-течност, а интегралната – в границите на цялата тарелка. Като диференциална характеристика на ефективността на масопренасянето се използва локалният КПД  $E_{OG}$  (локална ефективност), а като интегрална характеристика на ефективността на масопренасянето на цялата тарелка е КПД на тарелката или КПД на Мърфри  $E_{MV}$ . Като се приемат за постоянни дебитите на потоците по височината на една противотокова колона за  $n$ -та тарелка различаваме КПД на Мърфри –  $E_{MV}$  за парна фаза:

$$E_{MV} = \frac{y_n - y_{n-1}}{y^* - y_{n-1}}, \quad (1)$$

където:

$y_n$ ,  $y_{n-1}$  - среден състав на напускащия, респективно постъпващия на  $n$ -та тарелка парни потоци;

$y^*$  - състав на парите, намиращи се в равновесие с напускащата тарелка течност със състав  $x_n$ .

За дефиниране на локалната ефективност (локалният КПД), се използва аналитичен израз, подобен на уравнение (1), с тази разлика, че всички концентрации се отнасят за потоци, постъпващи и напускащи в един произволно избран елементарен обем от газо-течностния слой. По този начин, локалният КПД по парна фаза ще се определя от уравнение (2):

$$E_{OG} = \frac{y_p - y_{p-1}}{y^* - y_{p-1}}, \quad (2)$$

където, индексите  $p, p+1, p-1$  се отнасят за постъпващите и напускащите потоци на един елементарен обем.

Локалните характеристики на ефективността на масопренасянето ( $E_{OG}$ ), зависят от кинетичните параметри на процеса и отразяват главно дифузионните съпротивления на двете контактиращи фази. В първоначалният етап на изучаване ефективността на тарелките при ректификация, са обобщени експлоатационния опит от работата на промишлените колони и предлагането на емпирични корелации за изчисляване на общия КПД на колоната или КПД на тарелката, и по точно за ефективността на звънчеви и ситести тарелки [1]. Първите предложени корелации и техни модификации са изведени чрез обобщаване на експлоатационния опит на ректификационни колони в нефтопреработката, съдържащи малко на брой влияещи веществени параметри ( $\alpha, \mu^L, x^F$ ). И днес все още се използват за предварително изчисляване на локалния КПД при разделяне на въглеводородни смеси. По-късно предложените корелации включват и конструктивни, и работни параметри, но остават валидни само за определен тип тарелки и работни условия.

Цел на настоящата работа е да се направи сравнение между експериментално получените данни за локалната ефективност при ректификация в лабораторна колона с една ситеста тарелка на моделна бинарна смес Вода – Оцетна киселина, с изчислените по модел известен от литературата [2] с цел определяне параметрите на модела. Разглежданият метод е полуемпиричен и позволява изчисляването на броя преносни единици, респективно локалната ефективност.

### МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

Ефективността на тарелките, както е известно е необходима за преминаване от изчислените теоретични тарелки към броя на действителните тарелки. За сега все още не е предложен теоретичен метод за изчисляване на КПД на тарелката, поради сложната хидродинамична обстановка и влиянието на редица фактори. За определяне на локалната ефективност е използван модел известен от литературата [2] и полуемпиричен метод за изчисляването на броя преносни единици, респективно локалната ефективност. С помощта на полуемпиричен метод са определени параметрите на модела. Извода на модела за изчисляване на локалния КПД протича по следната схема:

$$E_{OG} = 1 - \exp^{(-N_{OG})} \quad (3)$$

$$N_{OG} = \frac{N_G}{1 + \lambda \cdot \frac{N_G}{N_L}} = \frac{N_G}{1 + m \cdot \frac{G}{L} \cdot \frac{N_G}{N_L}} \quad (4)$$

$$N_G = K_G \cdot a \cdot t_G = C_1 \frac{1}{\mu^{0.1} \cdot \phi^{0.14}} \cdot \left[ \frac{F_S^2 \cdot \rho_L}{\sigma^2} \right]^{\frac{1}{3}} \cdot (D_G \cdot t_G)^{0.5} \quad (5)$$

$$N_L = K_L \cdot a \cdot t_L = C_2 \frac{1}{\mu^{0.1} \cdot \phi^{0.14}} \cdot \left[ \frac{F_S^2 \cdot \rho_L}{\sigma^2} \right]^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{M_G \cdot G}{M_L \cdot L} \right) (D_G \cdot t_G)^{0.5} \quad (6)$$

$$N_{OG} = \frac{N_G}{1 + \lambda \cdot \frac{N_G}{N_L}} = \frac{C_1 \frac{1}{\mu^{0.1} \cdot \phi^{0.14}} \cdot \left[ \frac{F_S^2 \cdot \rho_L}{\sigma^2} \right]^{\frac{1}{3}} \cdot (D_G \cdot t_G)^{0.5}}{\lambda \frac{C_1}{C_2} \left( \frac{D_G \cdot \rho_G}{D_L \cdot \rho_L} \right)^{0.5} \cdot \left( \frac{M_L \cdot L}{M_G \cdot G} \right) + 1}, \quad (7)$$

където:

$N_{OG}, N_G, N_L$  - брой преносни единици, съответно общия, за парната и течна фази;

$K_{OG}, \beta_G, \beta_L$  - обемни коефициенти на масопренасяне, съответно общия, за парната и течната фази,  $\text{kmol/m}^3 \cdot \text{s}$ ;

$\lambda$  – дифузионен потенциал;

$m$  - наклон на равновесната крива;

$G$  и  $L$  – дебити, съответно на парите и течността,  $\text{kmol/s}$ .

$K_{OG}, \beta_G, \beta_L$  - коефициенти на масопренасяне, съответно общият, за парната и течната фази,  $\text{m/s}$ ;

$a$  – обемна междуфазова повърхност,  $\text{m}^2 / \text{m}^3$ ;

$t_G, t_L$  - времето на престой на парната и течната фази в газо – течностния слой,  $\text{s}$ ;

$C_1, C_2$  – константи на модела.

За сравнение между експериментално определените данни за локалната ефективност и изчислените по модела е избрана моделната бинарна смес Вода – Оцетна киселина. Експериментите са проведени на лабораторна стъклена колона с една ситеста тарелка с диаметър 0,032 m и изнесени външни преливници [3]. Малкият диаметър на колоната и изнесените преливници прави коректно приемането за пълно смесване на течността върху тарелката и позволява директно опитно определяне на локалния КПД. При пълно смесване на течността върху тарелката и пълно изместване на парната фаза по височина на газотечностния слой, двата КПД са числено равни:

$$E_{MV} = E_{OG} \quad (8)$$

За определяне експерименталния брой преносни единици при ректификация се използва зависимостта:

$$N_{OG\text{exp}} = -\ln(1 - E_{OG\text{exp}}) \quad (9)$$

където:

$E_{OG\text{exp}}$  - е експериментално определения локален КПД по уравнение (1).

## РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Константите на модела  $C_1$  и  $C_2$  се определят при условието на пълна флегма  $G/L = 1$ , от уравнение (7) с използването на експериментални данни за  $N_{OG}$ , като функция от  $m$  по:

$$N_{OG}^{cal} = \frac{C_1 \cdot A}{m \cdot z_1 \cdot B + 1} \quad (10)$$

$$A = \frac{1}{\mu_L^{0,1} \cdot \phi^{0,14}} \left[ \frac{\rho_L \cdot F_S^2}{\sigma^2} \right]^{\frac{1}{3}} \cdot (D_G \cdot t_G)^{0,5} \quad (11)$$

$$B = \left( \frac{D_G \cdot \rho_G}{D_L \cdot \rho_L} \right)^{0,5} \cdot \left( \frac{M_L \cdot L}{M_G \cdot G} \right), \quad (12)$$

където:

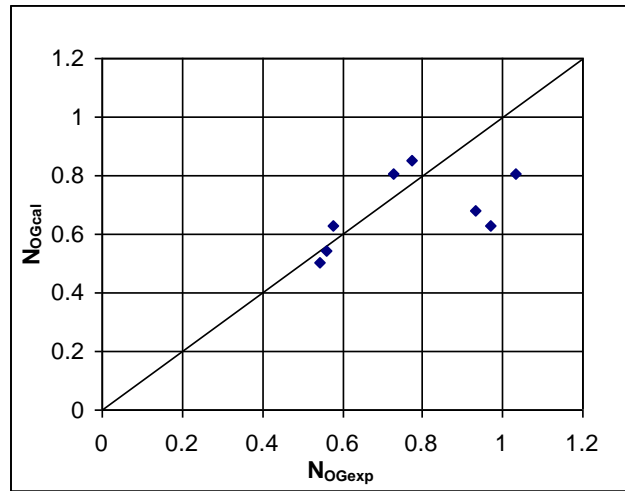
$F_S$  - фактор на натоварването,  $\text{kg}^{0,5}/(\text{m}^{0,5} \cdot \text{s})$ ;

$A$  и  $B$  – променливи величини изчислени съответно по уравнения (11) и (12);

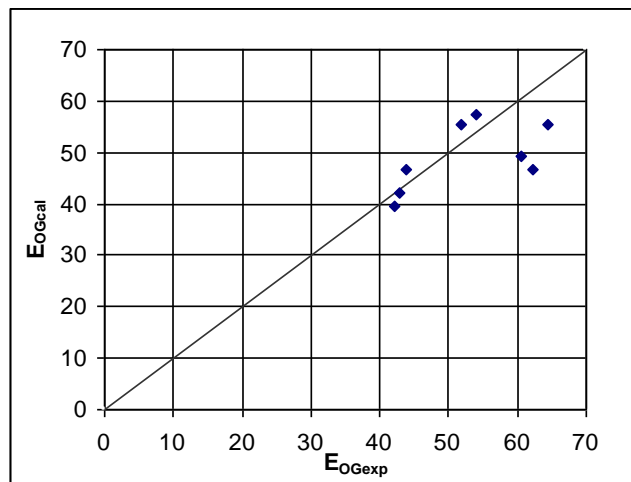
$C_1, z_1, C_2$  - константи в модела, намерени чрез обработка на опитните и изчислени данни.

Получените за използваната моделна смес Вода – Оцетна киселина стойности на константите са:

$$C_1 = 11; \quad z_1 = 0,786; \quad C_2 = \frac{C_1}{z_1} = 14$$



**Фиг. 1.** Сравнение между експерименталните данни за общия брой преносни единици за сместа вода-оцетна киселина и изчислените по модела.



**Фиг. 2.** Сравнение между експерименталните данни за локалния КПД за сместа вода-оцетна киселина и изчислените по модела.

На Фиг. 1. е направено сравнение между експерименталните данни за общия брой преносни единици за сместа Вода – Оцетна киселина [4] и изчислените по модела, а на Фиг. 2. между локалната ефективност за сместа Вода – Оцетна киселина определена експериментално [4] с тези по модела.

### ИЗВОДИ

1. Проверена е приложимостта на полуемпиричен модел разработен на основата на модела на Люис – Уитман и пенетрационния модел за изчисляване на локалния КПД, за моделната смес Вода – Оцетна киселина.

2. Въз основа на направеното сравнение между експериментално получените данни за локалната ефективност и изчислените по модела данни, са определени стойностите на двете константи в модела:  $C_1 = 11$  и  $C_2 = 14$ .

3. Намерено е добро съвпадение между изчислените и опитните данни за локалния КПД на сместа Вода – Оцетна киселина, като максималната грешка е под  $\pm 25\%$ .

4. Разглежданият модел може да се използва за предварително предсказване на локалната ефективност при ректификация на произволна бинарна смес в зависимост от физикохимичните ѝ свойства.

### БЛАГОДАРНОСТ

Авторите изказват благодарност на Фонд научни изследвания при Университет “Проф. д-р Асен Златаров” – Бургас за финансовата подкрепа на настоящата разработка.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Тасев Ж., Докторска дисертация, (1996) ВХТИ- Бургас
2. Guang, X. Chen, K. T. Chuang, (1993) *Ind. Eng. Chem. Res.* **32**, 701- 708
3. Biddulph, M. W., M. A. Kalbsssi, (1990) *I. Trans, Chem. Eng.*, **68**, Part A, 453-456
4. Караиванова, М., А. Георгиева, Ж. Стефанов, (2012) *Научни трудове на Русенски Университет " А. Кънчев"*, **51**, серия 9.1., 186 – 190