

Влияние на ефекта на Марангони върху ефективността на разделяне при ректификация на бинарни смеси

Мариана Караиванова, Десислава Колева, Желчо Стефанов

Influence of the Marangoni effect on the efficiency by rectification of the binary mixture:
Rectification is one of the most complex processes of chemical technology with high consumption of energy and metal and strong influence on the properties of the products, economics and ecology of production. The technical difficulties and issues related to security pose certain limitation on the transfer of experimental work to pilot-plant conditions. This makes it necessary to find new methods to increase the efficiency of rectification facilities at the expense of processes carried out under conditions of unstable flow of phases due to the effect of Marangoni.

The aim of the present work is to obtain experimental data on the influence of Marangoni effect on the efficiency of separation of three model mixtures (ethanol – water, acetone – methanol and water – acetic acid) in glass rectification column with one sieve plate.

Key words: *rectification, local efficiency, surface tension, effect of Marangoni*

ВЪВЕДЕНИЕ

Ефектът на Марангони се изразява в преноса на маса по разделителната повърхност между две фази с голяма разлика между повърхностните напрежения. За оценка влиянието на повърхностното напрежение върху локалния КПД (E_{OG}) бе избран стабилизационен индекс, наричан още М-индекс. Той представлява произведение от движещата сила на процеса по течната фаза и градиента на повърхностно напрежение по състава на течната фаза. Изчислява се по формулата [1]:

$$M = -\left(x - x^*\right) \cdot \frac{\Delta\sigma}{\Delta x} \quad [1]$$

Изучавайки влиянието на повърхностното напрежение върху образуването на междофазна повърхност в ректификационни колони от различен тип, Зюйдервег и Харменс (1958) [2] предлагат следната класификация на разделяните системи: положителни (тези, при които леснолетливия компонент от сместа е с по-ниска стойност на повърхностно напрежение от труднолетливия), отрицателни (при които леснолетливия компонент от сместа е с по-висока стойност на повърхностно напрежение от труднолетливия компонент) и неутрални (и двата компонента от сместа имат близки стойности на повърхностно напрежение).

Целта на настоящата работа бе да се получат експериментални данни за влиянието на ефекта на Марангони върху ефективността на разделяне при ректификация на три моделни смеси (етанол – вода, ацетон – метанол и вода-оцетна киселина) в стъклена ректификационна колона с една ситеста тарелка.

ЕКСПЕРИМЕНТЕЛНА ЧАСТ

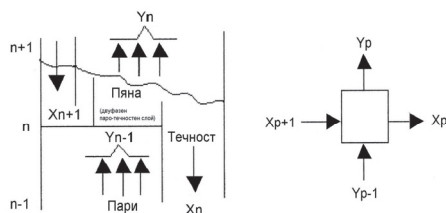
За осъществяване на експерименталната част е използвана стъклена опитна инсталация [3]. Колоната има изнесени външни преливници за елиминиране на пристенния ефект върху образуващия се газо-течностен двуфазен слой върху тарелката. Малкият диаметър на тарелката (32 мм) прави коректно приемането на пълно смесване на течността и позволява директно опитно определяне на локалния КПД.

Като първи етап на експеримента бе търсене на подходящ метод за определяне съставите на постъпващите и напускащите тарелката потоци. Като достатъчно точен, но същевременно лесно приложим бе избран метода на рефрактометричното определяне на съставите. За целта беше построена по литературни данни [4] зависимостта на коефициента на рефракция при 20⁰С от състава на изследваните смеси: етанол – вода, ацетон – метанол и вода-оцетна

киселина. Проби за анализ бяха вземани от постъпващите и напускащите тарелката парни потоци и от напускащата тарелката течност. Температурата бе измервана с локални живачни термометри в куба и на върха на колоната. Визуалните наблюдения на двуфазния слой показваха образуването на хидродинамично стабилен слой. Височината на пяната се отчиташе визуално.

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

За дефиниране на локалната ефективност (локалния КПД) се използва израз, при който всички концентрации се отнасят за потоци, постъпващи и напускащи в един произволен елементарен обем на газотечностния слой.



Фиг. 1. Към определението за КПД на Murphree (E_{MV}) и локалния КПД (E_{OG})

Така локалният КПД по парна фаза ще се дефинира по израз:

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

За определянето на КПД на тарелката (КПД по Murphree) E_{MV} за парна фаза се използва израз:

$$E_{MV} = \frac{(y_n - y_{n-1})}{(y^* - y_{n-1})} \quad [3]$$

По своя физичен смисъл КПД на тарелката за парната фаза (y -ние 2) е отношение от реалното изменение на средната концентрация на преминаващите през n -та тарелка пари ($y_n - y_{n-1}$) към теоретично възможното изменение ($y^* - y_{n-1}$), което би настъпило, ако напускащите тарелката пари достигнат равновесен състав y^* , съответстващ на състава на напускащата течност x_n .

Използваната опитна инсталация позволява експерименталните изследвания да се провеждат при идеални хидродинамични режими на движение на фазите – парите в режим на пълно изместване, течността в режим на пълно смесване. Тогава опитно получените данни за КПД на тарелката са равни на локалния КПД и са функция само от скоростта на парите и физикохимичните свойства на смесите.

Повърхностното напрежение на моделните смеси при различен състав са изчислени по следната формула [5]:

$$\sigma_m^{1/4} = \rho_m \cdot \left(\frac{x_1}{\rho_1} \cdot \sigma_1^{1/4} + \frac{x_2}{\rho_2} \cdot \sigma_2^{1/4} \right) \quad [4]$$

Където: x_1 и x_2 – молни части на ЛЛК и ТЛК

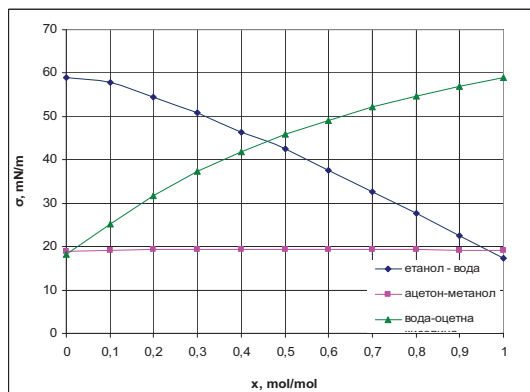
ρ_1, ρ_2, ρ_m – плътност на течната фаза на ЛЛК, ТЛК и на сместа, kg/m^3

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_m$ - повърхностно напрежение на ЛЛК, ТЛК и на сместа, N/m

ρ_m се изчислява по формулата [6]:

$$\frac{1}{\rho_m} = \frac{\bar{x}_1}{\rho_1} + \frac{\bar{x}_2}{\rho_2} \quad [5]$$

На фиг.2 е представено графично изменението на повърхностното напрежение на изследваните смеси в зависимост от съставите им.

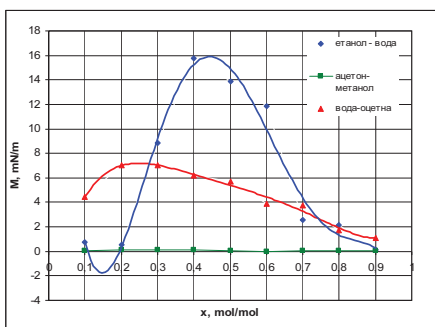


Фиг. 2. Изменение на повърхностното напрежение за смесице етанол – вода, ацетон – метанол и вода-оцетна киселина за целия концентрационен интервал

На база получените резултати можем да направим заключение, че сместа ацетон – метанол се отнася към неутралните смеси, при които $d\sigma/dx \approx 0$, сместа етанол – вода се отнася към положителните смеси, при които $d\sigma/dx < 0$, т.е с нарастването на ЛЛК в разделяната смес, повърхностното напрежение намалява. Сместа вода-оцетна киселина се отнася към отрицателните смеси, при които $d\sigma/dx > 0$.

На фиг.3 е представена зависимостта на М-индекса за трите смеси в зависимост от състава на смесице.

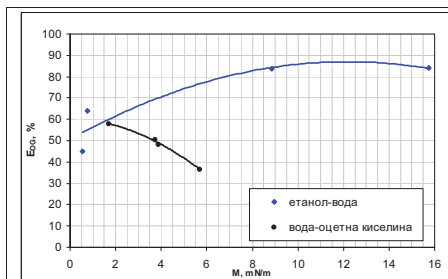
От фигурата се вижда, че стойностите на М-индекса за положителната смес етанол-вода са в интервала от 0,1 – 15,74 mN/m, като кривата $M = f(x)$ минава през максимум при концентрационен интервал $x = 0,3 - 0,5$ mol/mol. За отрицателната смес вода-оцетна киселина стойностите на М-индекса се изменят в интервала от 1,1 – 7,01 mN/m, като кривата $M = f(x)$ минава през максимум при концентрационен интервал $x = 0,1 - 0,4$ mol/mol. Стойностите на М-индекса за неутралната смес ацетон – метанол се изменят в интервала от 0,01 – 0,1 mN/m, като кривата $M = f(x)$ се изменя незначително.



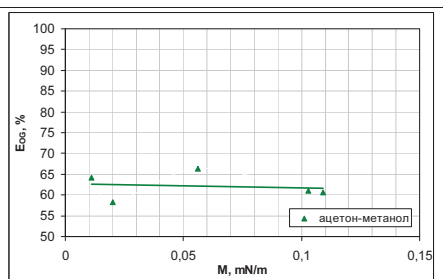
Фиг. 3. Зависимост на М-индекса от състава на смесите етанол – вода, ацетон – метанол и вода-оцетна киселина

Беше направен опит за количествена оценка за влиянието на повърхностното напрежение върху локалния КПД (E_{OG}). За целта беше определена зависимостта на E_{OG} от М-индекса, като се използват експериментално получени данни за E_{OG} и от диаграмите $M = f(x)$ бяха отчетени стойностите на М-индекса на всяка смес за експерименталните стойности на x за съответното E_{OG} .

На фиг.4 са показани получените резултати за положителната смес етанол-вода и отрицателната вода – оцетна киселина, а на фиг.5 зависимостта на локалния КПД от М – индекса за неутралната смес ацетон – метанол.



Фиг. 4. Зависимост на локалния КПД от М-индекса за сместа етанол – вода и вода-оцетна киселина



Фиг. 5. Зависимост на локалния КПД от М-индекса за неутралната смес ацетон – метанол

От фиг.4 се вижда, че с повишаване на М-индекса стойностите на локалния КПД (E_{OG}) за сместа етанол-вода нарастват от 65% до 87%. За отрицателната смес вода-оцетна киселина с повишаване на М-индекса стойностите на локалния КПД намаляват от 58% до 37%. От фиг.5 се вижда, че изменението на М-индекса не оказва влияние върху E_{OG} за неутралната смес ацетон – метанол, т.е при ректификация на изследваната неутрална смес М-индекса не оказва влияние върху степента на разделяне.

ИЗВОДИ:

1. На лабораторна ректификационна колона с една ситеста тарелка са проведени експериментални изследвания върху ефективността на разделяне при ректификация на 3 моделни двукомпонентни смеси: етанол – вода, ацетон – метанол и вода – оцетна киселина.

2. Анализирано е изменението на стабилизационния М-индекс от състава на смесите етанол – вода, ацетон – метанол и вода-оцетна киселина.

3. Установена е нарастваща зависимост на локалния КПД от М-индекса за положителната смес етанол-вода от 45% до 84%.

4. Установена е намаляваща зависимост на локалния КПД от М-индекса за отрицателната смес вода-оцетна киселина от 58% до 37%.

5. Установено е, че М-индекса не оказва влияние върху степента на разделяне при неутралната смес ацетон-метанол.

6. Установено е, че ефективността на разделяне при положителната смес етанол-вода е с около 25% по-висока от тази на неутралната смес ацетон-метанол и с около 50% по-висока от ефективността на разделяне на отрицателната смес вода-оцетна киселина.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Zuiderweg, F.J., Marangoni effect in distillation of alcohol-water mixtures, Chem. Eng. Res. Des., 1983, Vol.61, 388.

[2] [16] Zuiderweg, F.J., A. Harmens, The influence of surface phenomena on the performance of distillation columns, Chem Eng Sci, 1958, V.9, № 1, 89.

[3] Biddulph, M. W., M. A. Kalbsssi, A New Column for Measurement of Multicomponent Distillation Design Efficiencies, Transaction of the Institution of Chemical Engineers, 1990, Vol. 68, Part A, 453.

[4] Абрамова, Н.А, Г.В. Белченко и колектив, Справочник химика, т.III, Химия, Москва, 1964

[5] Рид, Р., Дж. Праусниц, Т. Шервуд, Свойства газов и жидкостей, Химия, Ленинград, 1982

[6] Павлов К., Романков П., Носков., Примери и задачи по процеси и апарати в химическата технология, Техника, София, 1990

За контакти:

Гл. ас. Мариана Кръстева Караиванова, катедра „Химично инженерство“, Университет „Проф.д-р Асен Златаров“ – гр.Бургас, тел. 056 858 424,

E-mail: anamariana@abv.bg

Проф. д-р Желчо Стефанов Стефанов, катедра „Химично инженерство“, Университет „Проф.д-р Асен Златаров“ – гр.Бургас, тел. : 056 858 255,

E-mail: zhstefanov@abv.bg

Докладът е рецензиран