

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Кіровоградський національний технічний університет



**ТЕХНІКА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ
ВИРОБНИЦТВІ, ГАЛУЗЕВЕ
МАШИНОБУДУВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ**

Випуск 15

Кіровоград 2004

Модель брагоректифікаційної установки як об'єкта керування

Наведена ієрархічна математична модель процесів брагоректифікації, яка побудована з використанням системного підходу та принципів самоорганізації.
математичне моделювання, брагоректифікація, тепло-масообмін

Процес брагоректифікації – є складною фізико – хімічною системою, суттєвою особливістю якого є те, що сукупність складових його явищ носить детерміновано-стохастичну природу, яка полягає в накладенні стохастичних особливостей гідродинамічної обстановки в апараті на процеси масо-теплообміну та хімічних перетворень. Це пояснюється випадковими взаємодіями складових компонентів фаз, або випадковим характером геометрії граничних умов в апараті[1].

Подібного роду система характеризуються надзвичайно складною взаємодією фаз та компонентів, внаслідок чого вивчення їх з позицій класичних детермінованих законів переносу та збереження є неможливим.

Ключ до вирішення цієї проблеми дає метод математичного моделювання, що базується на стратегії системного аналізу[4], та теорії самоорганізації[3], що досліджує процеси утворення складних структур в процесі міжфазного переносу та нерівноважних фазових переходів. Такий підхід дає ключ до вирішення проблем з підвищенням якості та ефективності керування брагоректифікаційною установкою. На даний час ця проблема є актуальною і потребує подальших досліджень.

На початковому етапі розробки автоматизованої системи керування необхідним є розгляд комплексу математичних моделей, які відображають статику та динаміку процесів брагоректифікації. Такий підхід дозволить здійснити дослідження процесів брагоректифікації шляхом комп'ютерного експерименту для виявлення параметрів порядку(основних керуючих змінних [3]). Матеріал даної статті висвітлює ієрархію моделей процесу брагоректифікації з точки зору системного аналізу[4].

Виділено п'ять рівнів ієрархії фізико-хімічної системи брагоректифікації:

- 1) сукупність явищ на молекулярному рівні;
- 2) ефекти в масштабі надмолекулярних або глобулярних структур(компонентів);
- 3) опис гідравлічних явищ на рівні тарілки колони;
- 4) тепло-масообмінних процесів брагоректифікації, фізико-хімічних явищ в ансамблі включень різних компонентів бражки;
- 5) техніко-економічний рівень.

Першим рівнем ієрархії є фізична кінетика процесів на молекулярному рівні[2].

Основа опису складається:

- з рівнянь, які описують фізико-хімічну кінетику хімічної термодинаміки парової та рідкої фази в брагоректифікаційній установці;
- рівнянь розрахунку кінетичної швидкості молекул;
- складання рівнянь швидкостей реакцій та розрахунок кінетичних констант з врахуванням розподілу Максвелла;
- стехіометричного аналізу та складання відповідних рівнянь.

Другий рівень ієрархії процесу брагоректифікації описує основні залежності для ефектів в масштабі надмолекулярних або глобулярних структури(одного компоненту бражки)[1,2].

Аналітичний опис другого рівня включає:

- рівняння, які враховують ступінь сегрегації системи;
- опису структур надмолекулярних утворень;
- гетерофазних хімічних процесів.

Важливими з точки зору задач синтезу систем керування технологічними процесами є розгляд моделей вищих рівнів, оскільки такі моделі відображають основні закономірності поведінки як окремої секції, так і всієї брагоректифікаційної установки.

Третім рівнем ієрархії є опис:

- механіки гідравлічних явищ контактного пристрою виходячи з конструктивних особливостей тарілки;

- термодинаміки поверхових явищ;
- рівняння опису фазової рівноваги.

Розглянемо одномірну модель тарілки при наступних припущеннях:

вплив в'язкості не враховується; рух вздовж тарілки є нестационарним; нормальна компонента швидкості та тиск лінійно змінюються з глибиною.

При розрахунку динаміки тарілки з переливними пристроями, використовується залежність витрати рідини на тарілку F_l від рівня рідини в переливному патрубку h_p .

Формула для визначення витрати рідини $F_l(h_p)$:

$$F_l(h_p) = h\rho^2 g(h_p - h)s \quad (1)$$

де h_p - рівень рідини в переливному патрубку, м;

s - зазор, м;

h - рівень рідини на тарілці, м;

ρ - густина рідини кг/м^3 ;

g - прискорення вільного падіння, м/с^2 .

Для моделювання фазової рівноваги процесів брагоректифікації, застосовуємо наступне рівняння:

$$y = \frac{1}{a + bx^{1.5} + c/x} \quad (2)$$

де $a = 0,015130852$;

$b = -0,00000159907$;

$c = 0,076465132$

та

$$y = a + bx + cx^{1.5} + dx^{0.5} + e/x \quad (3)$$

де $a = -56,344742$;

$b = -5,8091226$;

$c = 0,3140708$;

$d = 42,025344$;

$e = 191,37717$;

x - концентрація етанолу у рідині;

y - концентрація етанолу у парі.

Перше рівняння описує криву фазової рівноваги в діапазоні молярних часток 0,004 ... 31,47 % , друге - від 16,77 до 89,41 % . Такий підхід пояснюємо тим, що в зоні тарілки живлення можуть відбуватися деякі зміни, що мають вплив на стабільність роботи колони, що є важливою особливістю при синтезі системи автоматизованого керування. Наприклад, концентрація і температура епюрату можуть змінюватися, тому ми уточнюємо розрахунок в зоні тарілки живлення (діапазон 16,77 ... 31,47 % мол).

Одним із важливих напрямів використання кривої фазової рівноваги є розрахунок кількості контактних пристроїв та розрахунок динаміки зміни концентрації на рівні тарілки, а також по всій довжині кожної з колон при моделюванні динаміки процесів брагоректифікації на вищих рівнях ієрархії математичної моделі.

Четвертий рівень ієрархії складається з опису процесів масообміну та теплообміну на контактному пристрої (тарілці) однієї з колон [1].

В цілому підхід до побудови математичної моделі масообміну слід розпочати з опису явищ масо-теплообміну на рівні тарілки, тобто представити модель за допомогою рівнянь переносу тепла та маси, при цьому слід врахувати конструктивні параметри тарілки.

Моделювання процесу брагоректифікації диференціальними рівняннями в частинних похідних корисний через те, що для цих систем є достатньо повна теорія, яка дозволяє передбачити деякі властивості вирішення ще до числових результатів. Для більшості промислових умов брагоректифікації перехід до систем рівнянь в частинних похідних зробити можливо. В точках вводу сировини в колони, де потоки та концентрації змінюються стрибкоподібно, необхідно записати рівняння матеріального балансу і користуватися ними як граничними умовами. Але з фізичної точки зору раціональніше записати різницеві рівняння зразу для звичайних диференціальних рівнянь. В такому випадку ми не зв'язані потребою плавності функції, яке в деяких випадках може бути дуже жорстким[2].

Для рівнянь цього рівня слід записати рівняння:

Утримуючої здатності тарілки k_1 в рідкій фазі:

$$k_1 = (h_p s_1 + s_2 h(h_p)) c_1 \quad (4)$$

Утримуючої здатності тарілки в паровій фазі:

$$k_2 = s_2 (\Delta l - h(h_p)) c_2 \quad (5)$$

Витрати рідини на тарілку, моль/год:

$$L = \Delta F c_1 \quad (6)$$

Витрати пари через тарілку, моль/год:

$$V = \frac{\pi n d^3 c_2}{6\tau} \quad (7)$$

де s_1 – площа перерізу патрубку, m^2 ;

s_2 - активна площа тарілки, m^2 ;

n – число отворів в тарілці;

d – діаметр одного отвору, м;

c_1 - молекулярний кількісний вміст окремого компонента в одиниці об'єму флегми, моль;

c_2 - молекулярний кількісний вміст окремого компонента в одиниці об'єму пари, моль;

τ - час утворення однієї бульбашки пари, с;

Δl - окрема ділянка колони, м.

Враховуючи формули (4)-(7) запишемо систему рівнянь масообміну на i -тій тарілці

$$\begin{cases} \frac{\partial k_1 x_i^k}{\partial t} - \frac{\partial L x_i^k}{\partial l} = k_m (y_i^k - y_i^*) + \delta_x^k; \\ \frac{\partial k_2 y_i^k}{\partial t} + \frac{\partial V y_i^k}{\partial l} = k_m (y_i^* - y_i^k) + \delta_y^k; \end{cases} \quad (8)$$

де x_i^k, y_i^k – концентрації компонента відповідно в рідині та в парі, моль;

L, V – потоки рідини та пару, кмоль/год;

k_1, k_2 - утримуюча здатність тарілки відповідно в рідинній, та паровій фазі коефіцієнти які визначаються на основі конструктивних особливостей тарілки (відповідно для рідини та пари, кмоль/м);

y_i^*, x_i^* - рівноважна концентрація (визначається за допомогою формул попереднього рівня), моль;

δ_x^k, δ_y^k - функції, що визначають значення густини потоку k - того компонента по довжині колони та стохастичний характер зміни якісних показників сировини відповідно в рідині та парі., кмоль/(год*м);

залежність $k(y_i - y_i^*)$ визначає неперервний по всій довжині колони фазовий перехід i - того компонента;

k_m - коефіцієнт масопередачі.

При дослідженні колон брагоректифікаційної установки необхідно врахувати в загальному записі системи рівнянь – рівняння що описують теплообмін, а саме рівняння нестационарної теплопередачі на тарілках колони.

$$\begin{cases} \frac{\partial k_1 h}{\partial t} - \frac{\partial (Lh)}{\partial l} = k_T (t_{п} - t_{ж}) + \delta_x^k; \\ \frac{\partial k_2 h}{\partial t} + \frac{\partial (VH)}{\partial l} = k_T (t_{ж} - t_{п}) + \delta_y^k; \end{cases} \quad (9)$$

де h, H – ентальпії, Дж/кг;

k_T – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²*К);

$t_{п}, t_{ж}$ - температура пари та рідини, С⁰;

δ_x^k, δ_y^k - функції, що визначають значення густини потоку k - того компонента по довжині колони та стохастичний характер зміни якісних показників сировини відповідно в рідині та парі., кмоль/(год*м).

В результаті моделювання процесів брагоректифікації в середовищі Matlab на основі рівнянь четвертого рівня аналітичного опису отримані результати (з врахуванням зосередженості параметрів рівняння) на прикладі ректифікаційної колони брагоректифікаційної установки при таких вихідних даних: кількість тарілок колони 67, початкова концентрація спирту в живленні ректифікаційної колони (початкове значення концентрації рідини на тарілці живлення), $x_0 = 0.70$ моль, початкові значення концентрації спирту в рідині $x_0 = 0.001$ моль, та парі $y_0 = 0.001$ моль, витрата пари $V = 300$ кмоль/год. Отримані характеристики наведені на рис.1 та рис. 2 (залежності взяті відносно просторової координати – довжини колони).

П'ятий рівень ієрархії являє модель техніко-економічного рівня:

Кількість продуктів розділення після кожної колони (розглядається три колони (i-1, 2, 3) бражна, епіораційна та ректифікаційна) визначається таким співвідношенням.

$$D = \frac{F_i^* x_{Fi}}{x_{D_i}^*} \quad (10)$$

де F_i^* - витрати живлення на i -ту колону;

x_{Fi} - концентрація спирту в живленні i -тої колони;

x_{D_i} - концентрація спирту в продукті розділення після i -тої колони.

Оцінюючи статичні та динамічні режими роботи брагоректифікаційної установки в цілому, а також кожної колони в окремому випадку можна записати модель:

$$Z_i = aV_i + bW_i x_{0i} \quad (11)$$

$$E = cD - \sum_i Z_i \quad (12)$$

де Z_i - виробничі витрати на процес в i -тій колоні;

V_i - витрати пари на i -ту колону ($i=1, 2, 3$);

$W_i x_{0i}$ - втрати цільового продукту розділення з кубовою рідиною ($i=1, 3$);

E - прибуток від функціонування брагоректифікаційної установки;

D - витрати (відбір) спирту ректифікату;

a, b, c - відповідні вартості.

Наведена ієрархічна модель процесів брагоректифікації побудована на принципах системного підходу та самоорганізації з врахуванням розподіленості та зосередженості параметрів відображає цільову поведінку основних змінних стану.

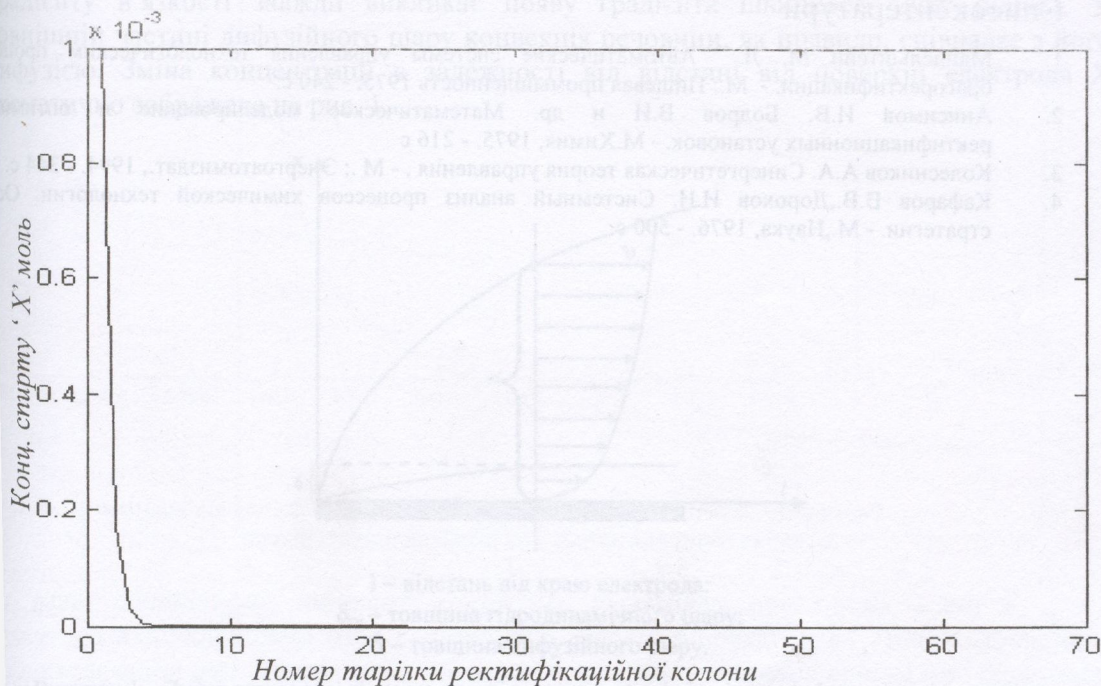


Рисунок 1 - Зміна концентрації спирту в рідині

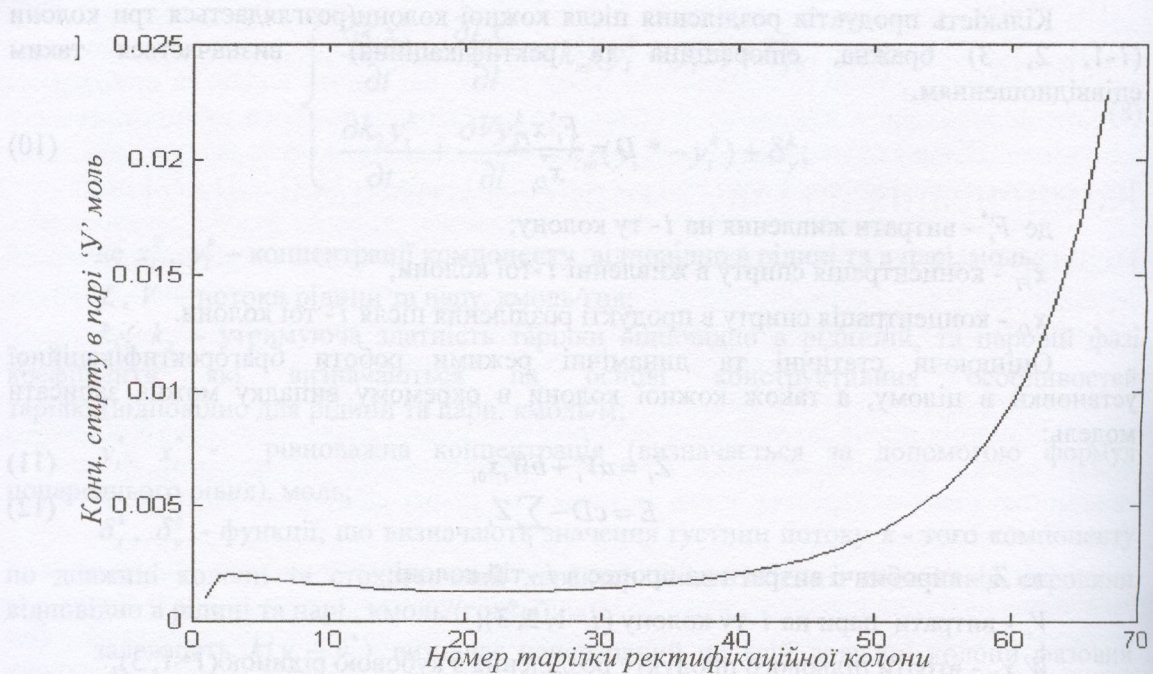


Рисунок 2 - Зміна концентрації спирту в парі

З аналізу отриманих результатів можна зробити висновок, що дослідження моделі з зосередженими параметрами дозволить здійснити аналіз процесу брагоректифікації з точки зору теорії самоорганізації.

Список літератури

1. Мандельштейн М. Л. Автоматические системы управления технологическим процессом брагоректификации. - М.: Пищевая промышленность 1975. - 240 с.
2. Анисимов И.В. Бодров В.И и др. Математическое моделирование и оптимизация ректификационных установок. - М.Химия, 1975. - 216 с
3. Колесников А.А. Синергетическая теория управления. - М.: Энергоатомиздат., 1994. - 344 с.
4. Кафаров В.В.,Дорохов И.Н. Системный анализ процессов химической технологии. Основы стратегии. - М.,Наука, 1976. - 500 с.