



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”



ДОСЛІДЖЕННЯ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРОВЕДЕННЯ НДРС З КУРСУ
"ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ"

Київ НТУУ «КПІ» 2008

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ
УСТАНОВКИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ З ДИСЦИПЛІНИ
«ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ»

для студентів інженерно-хімічного
та хіміко-технологічного факультетів
усіх форм навчання

Затверджено на засіданні кафедри
машин і апаратів хімічних
та нафтопереробних виробництв
Протокол №4 від 15 жовтня 2008р.

Київ НТУУ «КПІ» 2008

Дослідження ректифікаційної установки: Методичні вказівки до науково-дослідної роботи з курсу "Процеси та апарати хімічної технології" для студентів інженерно-хімічного і хіміко-технологічного факультетів усіх форм навчання / Укл. О.Н. Півень, - К. КПІ, 2008 – 15 с.

Навчальне видання
Дослідження ректифікаційної установки
Методичні вказівки
до науково-дослідної роботи з курсу "Процеси та
апарати хімічної технології"
для студентів інженерно-хімічного
і хіміко-технологічного факультетів
усіх форм навчання

Укладач: Півень Олександр Наумович, доктор технічних наук

Відповідальний редактор: Я.М. Корнієнко, доктор технічних наук

1. Вступ і основні задачі дослідження

В **хімічній**, харчовій, нафтопереробній та інших галузях промисловості для розділення рідких сумішей на технічно чисті компоненти широко застосовують ректифікацію. Цей процес базується на різній летючості компонентів суміші, тобто на різниці в температурах кипіння компонентів при однаковому тиску зовнішнього середовища. Процес ректифікації здійснюють ректифікаційними колонами. Одним з найбільш розповсюджених в цих галузях промисловості є тарілчасті ректифікаційні колони із ковпачковими, сітчастими та клапанними тарілками.

Таким чином метою даної роботи є вивчення основних закономірностей процесу ректифікації, реалізованих в тарілчастій колоні.

Для досягнення цієї мети повинні бути вирішені наступні задачі:

1. Теоретичне вивчення та відображення процесу ректифікації в $x - y$ діаграмі.
2. Визначення числа ступенів змінення концентрації (числа теоретичних тарілок).
3. Знаходження числа збагачення, або так званого К.К.Д. сітчастих тарілок, встановлених в верхній та нижній частині колони.

2. Теоретична частина

Процес ректифікації, що відбувається в ректифікаційній колоні, являє собою тепло і масообмін між компонентами суміші в паровій фазі, яка піднімається по колоні і рідинній фазі, що стікає зверху вниз. При цьому менш летючі, або висококиплячі компоненти (ВКК), по висоті колони частково, або повністю переходять із пари в рідину, а більш летючі, або низькокиплячі компоненти (НКК) за рахунок теплоти конденсації випаровуються і переходять із рідини в пару.

В результаті такого масообміну, що відбувається в протибіжних ректифікаційних колонах, тарілчастого чи іншого типу, потік пари піднімається вгору і збагачується НКК, а потік рідини, стікаючи вниз по колоні, поступово збіднюється на НКК, тобто збагачується на ВКК.

Рідина, в свою чергу, збіднюючись на НКК по висоті колони стікає в куб, де в вигляді чистого ВКК витікає із колони, як кубовий залишок G_w .

Частково збагачена на НКК пара в верхній частині колони барботує на тарілках через шар рідини, що являє собою збагачену на НКК суміш. При цьому із пари в першу чергу буде конденсуватися ВКК, і також за рахунок теплоти конденсації із рідини на тарілках буде випаровуватись НКК. Таким чином іде процес збагачення пари на НКК.

Досить збагачена на НКК пара, в кінцевому результаті, барботує через шар рідини на верхній тарілці верхньої частини колони. Рідина на цій тарілці являє собою майже чистий НКК, який в вигляді флегми подається в колону.

Таким чином пара із верхньої тарілки подається в холодильник - конденсатор (дефлегматор), де частково або повністю конденсується. Одна частина цього конденсату, як відмічалось раніше, подається в вигляді флегми G_f , а друга - у вигляді готового продукту G_p .

Конденсація продуктів, які одержують в процесі ректифікації, залежить від виду суміші, числа тарілок та теплового режиму роботи колони.

Для того, щоб в кубі - випаровувачі відбувалось безперервне кипіння рідини, його підігрівають водяною парою, а для конденсації пари, яка поступає в дефлегматор, останній, охолоджується водою.

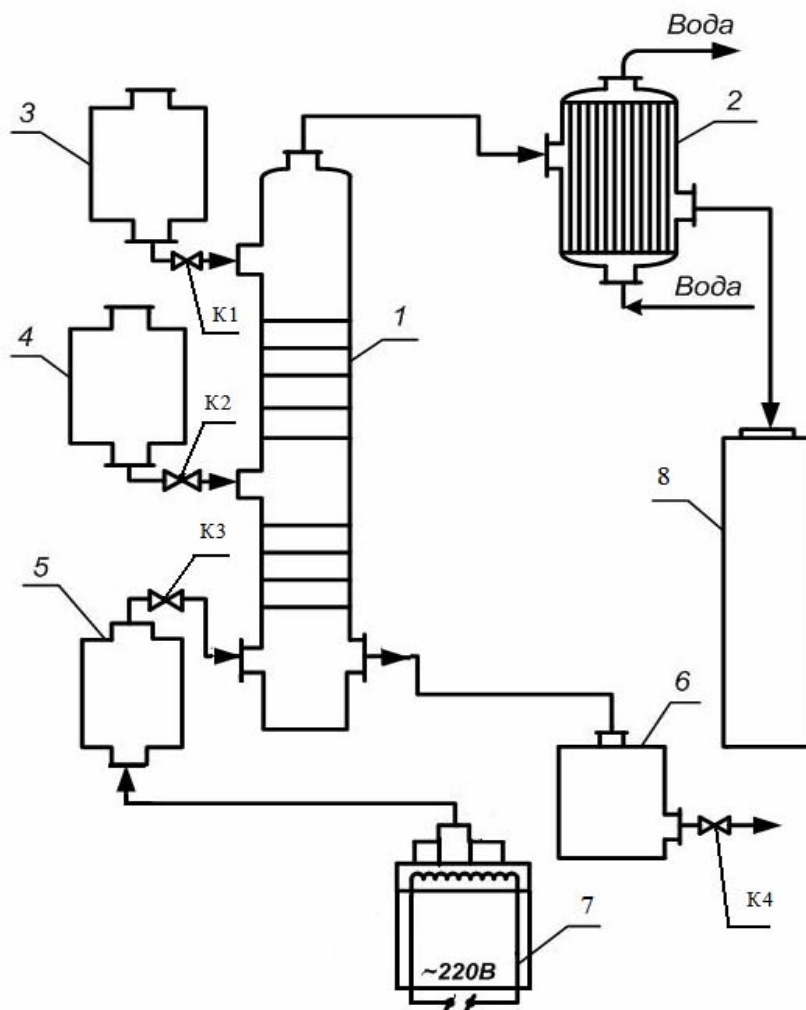
3. Опис установки

Початкова спиртово - водяна суміш із збірника початкової суміші 4 (рис. 1) подається на верхню тарілку нижньої частини колони 1. Колона 1 являє собою вертикальний циліндричний латунний апарат, по висоті якого рівномірно розміщено дев'ять сітчастих тарілок. Підігрів кубової рідини колони 1 проводиться гострою парою, одержаною у водовипаровувачі 7, де підігрів води забезпечується електричним підігрівачем. Тиск пари контролюється манометром. Перед надходженням в колону гріюча пара проходить через водовідділювач 5. Витрата гріючої пари регулюється пробковим краном К3. Пара, збагачена легколетучим (НК) компонентом, піднімається з верхньої тарілки верхньої частини колони 1 і надходить до дефлегматора 2 (рис. 1). Дефлегматор являє собою трубчатий холодильник-конденсатор, в міжтрубний простір якого подається вода. Сконденсована в дефлегматорі пара розділяється на дві частини. Одна з них - у вигляді готового продукту - надходить до збірника, а друга через регулюючий кран К1 поступає до збірника флегми 3. Потім частина цієї рідини у вигляді флегми, кількістю G_{ϕ} подається на зрошення верхньої тарілки верхньої частини колони. Витрата флегми контролюється мірним циліндром. Склад дистилата a_p і початкової суміші a_F визначається аерометром-спиртометром.

4. Методика проведення експерименту

Експеримент потрібно проводити в наступному порядку:

1. Ввімкнути в електромережу трансформатор, за допомогою регулятора напруги подати на нагрівуючий елемент напругу 220В.



- 1 - ректифікаційна колона; 2 - дефлегматор;
 3 - збірник флегми; 4 - збірник початкової суміші; 5 - водовідділювач;
 6 - збірник кубового залишку; 7 - водовипаровувач;
 8 – збірник дистиляту

Рисунок 1- Схема установки

2. Залити в збірник початкову суміш, попередньо визначивши її концентрацію спиртометром.
3. Подати воду в систему охолодження дефлегматора 2.
4. При досягненні тиску в котлі відкрити кран подачі пари К3 із водовідділювача в колону 1.
5. Після прогрівання колони, про що свідчить поява рідини в збірнику дистилята, відкрити кран подачі початкової суміші К2 на живлячу тарілку.
6. Процес ректифікації вести до досягнення температури пари в колоні 82°C , яку визначають за термометром, встановленим в кишені верхньої частини колони.
7. Під час проведення експерименту слідкувати за тиском в котлі (не більше $0,2\text{ МПа}$ і не менше $0,1\text{ МПа}$) і регулювати його за допомогою регулятора напруги нагрівачого елемента.
8. Виміряти і записати в таблицю наступні величини:
 - 8.1. Концентрацію та об'єм флегми, a_{ϕ} , G_{ϕ}
 - 8.2. Концентрацію та об'єм початкової суміші, a_F , G_F
 - 8.3. Концентрацію та об'єм дистилята, a_p , G_p
9. Вимкнути з мережі електротрансформатор.
10. Після падіння тиску пари в котлі до нуля, вимкнути воду в системі охолодження дефлегматора.

5. Техніка безпеки.

До роботи на установці допускаються люди, які вивчили конструкцію установки, порядок роботи і тривалість її роботи. Перед пуском установки

необхідно впевнитись в наявності води у випаровувачі, а також наявності води для охолодження дефлегматора.

Перевірити заземлення установки і стан електричної мережі. Під час пуску установки при досягненні тиску пари в випаровувачі і водовідділювачі менше 0,2МПа, відкривати кран подачі пари в колону забороняється.

6. Опрацювання результатів дослідження.

Із рівнянь матеріального балансу ректифікаційної колони:

$$G_{\Phi} + G_F = G_w + G_p \quad (1)$$

$$G_F a_F + \Phi a_{\Phi} = G_p a_p + G_w a_w \quad (2)$$

знайти значення G_w і a_w ,

де $G = V \times \rho$ - масова витрата, кг/с

V - об'ємна витрата, м³/с

ρ - густина, кг/м³

a - масова частка НКК (спирту), кгНКК/кг суміші

індекси F - початкова суміш;

W - кубовий залишок;

P - дистиллят;

Φ - флегма;

Для визначення числа ступенів зміни концентрації (теоретичних тарілок) побудувати на міліметровому папері по довідниковим даним криву

рівноваги суміші рідина - пара в координатах $x - y$ (рис. 2) і відкласти на вісі абсцис значення x_F, x_w, x_p в мольних частках.

Потім на цей графік нанести робочі лінії зміни концентрації для верхньої і нижньої частин колони. Рівняння цих двох прямих ліній виводиться з рівнянь матеріального балансу верхньої і нижньої частин колони і виражають залежність між змінними по висоті колони робочими концентраціями НКК в рідині (x) і в парі (y) в будь-якому поперечному розрізі колони, між двома сусідніми тарілками.

Рівняння робочих ліній мають наступний вигляд: для верхньої частини колони:

$$y = \frac{R}{R + 1} x + \frac{x_p}{R + 1} \quad (3)$$

для нижньої частини колони:

$$y = \frac{R + f}{R + 1} x - \frac{f - 1}{R + 1} x_w \quad (4)$$

де $R = \frac{\Phi}{P}$ флегмове число, рівне відношенню кількості відбираємої флегми до кількості одержаного дистиллята.

$f = \frac{F}{P}$ - число живлення колони, рівне відношенню кількості

подаваемої суміші до кількості одержаного дистиллята.

Робоча лінія верхньої частини колони перетинає діагональ діаграми (рис.2) в точці А, а робоча лінія нижньої частини колони в точці В. Обидві

робочі лінії перетинаються в точці С. Для нанесення їх на графік відкласти

на вісі ординат величину $B = \frac{x_p}{R + 1}$ і одержану точку D з'єднати

прямою лінією з точкою А, а точку В, з точкою С. Потім між рівноважною і робочою лініями побудувати ступені зміни концентрації, як показано на рис. 2. Кожна ступінь відповідає одній теоретичній тарілці.

Визначивши число теоретичних тарілок N_c і, знаючи число реальних тарілок N в верхній і нижній частинах колони, знайти для кожної частини колони середнє значення (в даних умовах роботи колони) коефіцієнта збагачення чи так званого к.к.д. тарілок η по формулі:

$$\eta = N_c/N \quad (5)$$

Величина η є постійною величиною. Ті ж тарілки при інших гідродинамічних умовах (витрати пари і рідини) і інших фізико - хімічних властивостях пара - рідина можуть мати інше значення коефіцієнта збагачення η .

У звіт про виконану роботу повинні бути включені:

- а) схема установки із специфікацією;
- б) таблиця початкових експериментальних даних;
- в) всі необхідні розрахунки;
- г) графік визначення числа ступенів зміни концентрації НКК по висоті колони (рис. 2).

Склад киплячої суміші етиловий спирт-вода, утворюємої з неї пари при температурі кипіння цієї рідини за атмосферного тиску, приведені в таблиці 2.

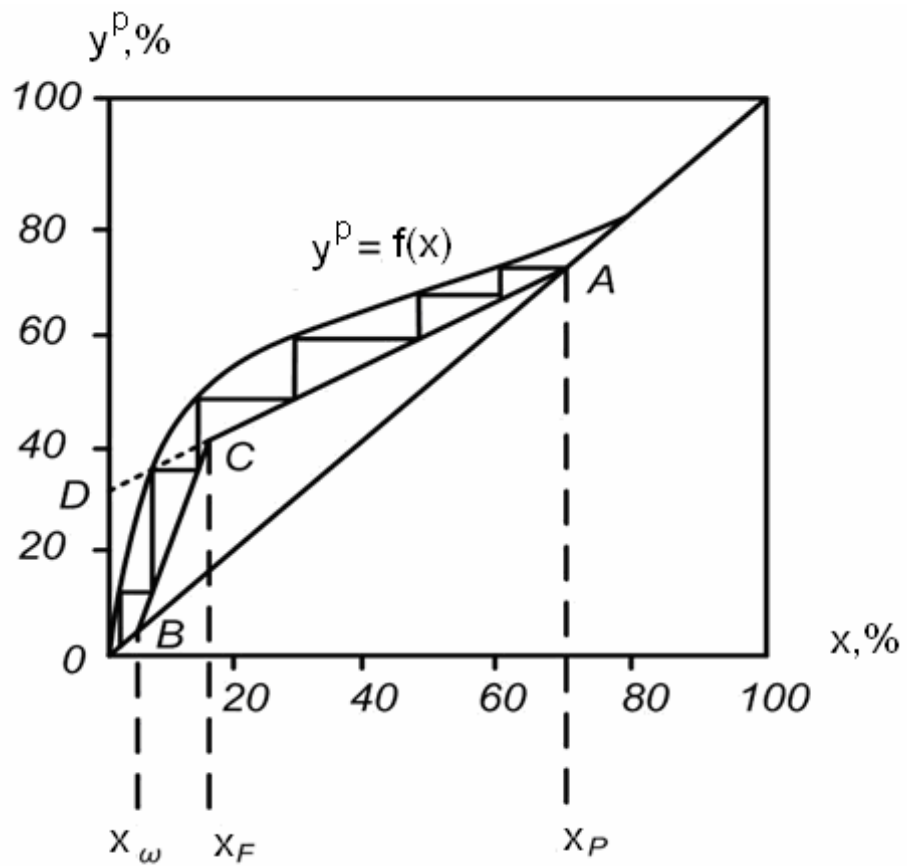


Рисунок 2 Визначення числа ступенів зміни концентрації

Таблиця 1 – Результати початкових експериментальних даних

Виміри	Витрата початкової суміші		Витрати дистилляту		Витрати флегми		Склад початкової суміші	Склад флегми	Склад дистилляту	Флегмове число
	V_F	G_F	V_P	G_P	V_ϕ	G_ϕ				
час							a_F	a_ϕ	a_P	$R = \frac{G_\phi}{G_F}$
с	$\frac{M^3}{c}$	$\frac{KZ}{c}$	$\frac{M^3}{c}$	$\frac{KZ}{c}$	$\frac{M^3}{c}$	$\frac{KZ}{c}$	$\frac{KZ_{спирту}}{KZ_{суміші}}$	$\frac{KZ_{спирту}}{KZ_{суміші}}$	$\frac{KZ_{спирту}}{KZ_{суміші}}$	
30										
60										
90										
120										
150										
180										

Таблиця 2. Рівноважні склади рідини (x), пари (y) і температури кипіння t, °C бінарної суміші етиловий спирт – вода.

Спирт в рідині мас. частка, %	Спирт в парі мас. частка, %	Температура кипіння,	Спирт в рідині	Спирт в парі мас. частка, %	Температура кипіння,
1	10.75	93.75	55	78.2	81.4
5	37	94.95	60	79.5	81
10	52.2	91.3	65	80.8	80.6
15	60	89	70	82.1	80.2
20	65	87	75	83.8	79.75
25	68.6	85.7	80	85.8	79.5
30	71.3	84.7	85	88.3	78.95
35	73.2	83.75	90	91.3	78.5
40	74.6	83.1	95	95.5	78.18
50	77	81.9			

Таблиця 3 – Густини водних розчинів етилового спирту у воді

Концентрація мас. частки, %	ρ , кг/м ³ ; t=20 °C	ρ , кг/м ³ ; t=40 °C	Концентрація мас. частки, %	ρ , кг/м ³ ; t=20 °C	ρ , кг/м ³ ; t=40 °C
100	789	772	50	913	901
95	803	786	45	924	912
90	816	800	40	935	923
85	829	814	35	943	934
80	843	828	30	952	955
75	855	840	25	960	966
70	866	853	20	969	957
65	878	865	15	977	968
60	891	878	10	984	979
55	902	900	5	992	990

Контрольні запитання:

1. Дати визначення процесу ректифікації.
2. Дати визначення флегмового числа, його знаходження.
3. Як визначається ступінь зміни концентрації компонентів по висоті колони?
4. Які чинники впливають на гідравлічний опір тарілки колони?
5. Як впливає температура початкової суміші на процес ректифікації?
6. Які бувають суміші рідин, що піддаються ректифікації?
7. Що таке азеотропні суміші рідини?
8. Що таке ККД тарілки, як визначається, які види ККД використовуються при розрахунках висоти колони?
9. Які бувають конструкції ректифікаційних колон?

Література:

1. Стабніков В.Н. Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств. – К.: Вища школа, 1982. – 223с.
2. Тютюнников А.Б., Товажнянский Л.Л., Готлинская А.П. Основы расчета и конструирования массообменных колонн. – К.: Вища школа, 1989. – 223с.
3. Павлов. К. С. і ін. Задачі по курсу процесів апаратів хімічної технології. – Л.: Хімія, 1981. – 560с.
4. Стабніков В. Н і ін. Процеси і апарати харчових виробництв. – Н.: Харчова промисловість, 1966. – 635с.
5. Півень О.Н., Корнієнко Я.М. Масообмінні процеси та апарати хімічної технології: Навчальний посібник – К.: ІЗМН, 2002. – 164с.