

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

# **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**ДО РОЗРАХУНКУ НАСАДКОВОЇ КОЛОНИ  
РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ З КУРСУ  
«ОСНОВНІ ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ»  
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ІV-V КУРСІВ УСІХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ ТА  
ФОРМ НАВЧАННЯ**

**Дніпропетровськ УДХТУ 2006**

# МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО РОЗРАХУНКУ НАСАДКОВОЇ КОЛОНИ  
РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ З КУРСУ  
«ОСНОВНІ ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ»  
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ІV-V КУРСІВ УСІХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ  
ТА ФОРМ НАВЧАННЯ

Затверджено на засіданні кафедри  
процесів та апаратів хімічної технології.  
Протокол № 5 від 10.01.2006.

Дніпропетровськ УДХТУ 2006

Методичні вказівки до розрахунку насадкової ректифікаційної колони періодичної дії з курсу “Основні процеси та апарати хімічної технології” для студентів IV-V курсів усіх спеціальностей та форм навчання / Укл.: В.В. Івашкевич, Т.В. Гриднєва. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2006. – 26 с.

Укладачі: В.В. Івашкевич  
Т.В. Гриднєва

Відповідальний за випуск П.Г. Сорока, д-р техн. наук

Навчальне видання

Методичні вказівки  
розрахунку насадкової ректифікаційної колони періодичної дії з курсу  
„Основні процеси та апарати хімічної технології”  
для студентів IV-V курсів усіх спеціальностей та форм навчання

Укладачі: ІВАШКЕВИЧ Володимир Вікторович,  
ГРИДНЄВА Тетяна Василівна.

Редактор Л.М. Тонкошкур  
Коректор Л.Я. Гоцуцова

Підписано до друку 22.03.06. Формат 60×84 1/16. Папір ксерокс. Друк різнограф.  
Умовно-друк. арк. 0,97. Облік.-вид. арк. 1,0. Тираж 100 прим. Зам № 50.  
Свідоцтво ДК № 303 від 27.12.2000р.

---

УДХТУ, 49005, Дніпропетровськ – 5, пр. Гагаріна, 8.

Видавничо-поліграфічний комплекс ІмКомЦентру

## 3.2. Тепловий розрахунок установки

Тепловий розрахунок складається з метою визначення необхідної кількості теплоти в кубі – кип'ятильнику, витрат теплоти, яка передається охолоджуючій воді в дефлегматорі та у водяних холодильниках дистиляту і кубового залишку, а також для визначення витрати гріючого пару в кубі та води у згаданих апаратах.

### 3.2.1. Тепловий баланс колони

Схема теплових потоків, на якій кип'ятильник розглядається як складова частина колони.

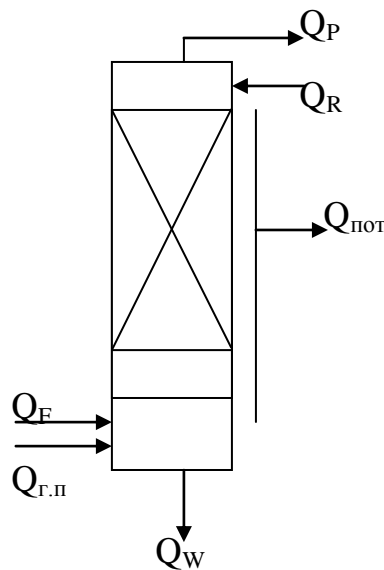


Рис 3.1.

$$Q_{г.п} + Q_F + Q_R = Q_P + Q_W + Q_F + Q_{пот},$$

де  $Q_{г.п}$  – кількість тепла, яке надходить з гріючим паром, що витрачається на випаровування рідини, Вт;

$Q_F$  – тепло, яке надходить з вихідною сумішшю, Вт;

$Q_R$  – тепло, яке надходить з флегмою, Вт;

$Q_P$  – тепло, яке виходить з пароподібним дистилятом, Вт;

$Q_W$  – тепло, яке виходить з кубовим залишком, Вт;

$Q_{\text{пот}}$  – втрати тепла в навколишнє середовище, Вт.

або

$$\begin{aligned} & \bar{G}_{Г.П} (I_{II} - I_K) + \bar{G}_F \cdot C_{F(н)} \cdot t_H + \bar{G}_P \cdot R_{cp} \cdot C_R \cdot t_P = \\ & = \bar{G}_P (R_{cp} + 1)(r_{cp} + C_P \cdot t_{II}) + \bar{G}_W \cdot C_W \cdot t_W + \bar{G}_F \cdot C_{F(к)} + Q_{\text{ном}} \end{aligned}$$

або

$$\begin{aligned} & \bar{G}_{Г.П} (I_{II} - I_K) + \bar{G}_F \cdot C_{cp} \cdot (t_K - t_H) + \bar{G}_P \cdot R_{cp} \cdot t_R = \\ & = \bar{G}_P (R_{cp} + 1)(r_{cp} + C_P \cdot t_{II}) + \bar{G}_W \cdot C_W \cdot t_W + \bar{G}_F \cdot C_{F(к)} + Q_{\text{ном}} \end{aligned}$$

Знаючи, що втрати тепла в навколишнє середовище складають 3–5 % від корисно витраченої теплоти, остаточно визначаємо кількість тепла, яке підводиться до кубу, Вт:

$$\begin{aligned} Q = & \bar{G}_{Г.П} (I_{II} - I_K) = (1,03 - 1,05) \cdot [\bar{G}_P (R_{cp} + 1)(r_{cp} + C_P \cdot t_{II}) + \\ & + \bar{G}_W \cdot C_W \cdot t_W - \bar{G}_F \cdot C_{cp} \cdot (t_K - t_H) - \bar{G}_R \cdot R_{cp} \cdot t_R] \end{aligned}$$

тут  $G_{Г.П}$  – витрати гріючого пару, кг/опер;

$I_{II}$  та  $I_K$  – ентальпії гріючого пару та конденсату, Дж/кг;

Ентальпія конденсату визначається за формулою:  $I_K = C_B t_K$ , Дж/кг;

$r_{cp} = r_{н.к} \cdot x_P + r_{в.к} (1 - x_P)$  - середня теплота випаровування дистилляту, Дж/кг;

де  $r_{н.к}$  та  $r_{в.к}$  – питома середня теплота випаровування, відповідно, низькокипячого та висококипячого компонентів при температурі  $t_p$ , Дж/кг;

$C_{cp} = 0,5(C_H + C_K)$  – середня питома теплоємність вихідної суміші при  $t_F$ , Дж/кг·К;

$C_H$  та  $C_K$  – теплоємність вихідної суміші при  $t_H$  та  $t_K = t_F$ , Дж/кг·К;

$t_{II} = t_{cp}$ ,  $t_F$ ,  $t_p$ ,  $t_w$  – відповідно, температури пару, що виходить з колони, вихідної суміші, дистилляту та кубового залишку (рис. . .);

$C_{cp} = C_{н.к} \cdot x_P + C_{в.к} (1 - x_P)$  - питома теплоємність дистилляту, Дж/кг·К;

де  $C_{н.к}$  та  $C_{в.к}$  – питомі теплоємності, відповідно, низькокипячого та висококипячого компонентів при температурі  $t_p$ , Дж/кг·К;

$C_W = C_{н.к} \cdot x_W + C_{в.к} (1 - x_W)$  - питома теплоємність кубового залишку, Дж/кг·К;

де  $C_{н.к}$  та  $C_{в.к}$  – питомі теплоємності, відповідно, низькокипячого та висококипячого компонентів при температурі  $t_w$ , Дж/кг·К;

$\bar{G}_R = \bar{G}_P$ , кг/опер.

### 3.2.2. Витрата гріючого пару

Приймаємо температурний напір  $\Delta t = 20 - 40$  градусів, тоді температура гріючого пару:

$$t_{Г.П} = t_w + \Delta t$$

За [2] визначаємо питому теплоту пароутворення  $r_{Г.П}$

Приймаємо вологість пару 3 – 5% (сухість пару  $X' = 0,95 - 0,97$ ).

Остаточно

$$\bar{G}_{Г.П} = \frac{Q}{r_{Г.П} \cdot X'}, \text{ кг/опер.}$$

### 3.2.3. Витрати охолоджуючої води

#### 3.2.3.1. У дефлегматорі

Повна конденсація пару:

$$V_B = \frac{\bar{G}_P (R_{CP} + 1) \cdot r_{cp}}{C_B (t_{K(B)} - t_{П(B)}) \cdot \rho_B}, \text{ м}^3/\text{опер};$$

де  $C_B$  - питома теплоємність води при середній температурі води, град;

$$t_{CP(B)} = 0,5(t_{K(B)} - t_{П(B)})$$

$t_{П(B)}$  та  $t_{K(B)}$  - початкова та кінцева температури води, град;

$\rho_B$  - густина води при  $t_{CP(B)}$ , кг/м<sup>3</sup>.

Часткова конденсація пару:

$$V_B = \frac{\bar{G}_P \cdot R_{CP} \cdot r_{cp}}{C_B (t_{K(B)} - t_{П(B)}) \cdot \rho_B}, \text{ м}^3/\text{опер}.$$

#### 3.2.3.2. У водяному холодильнику дистилляту

Повна конденсація пару:

$$V_B = \frac{\bar{G}_P \cdot C'_P (t_P - t_K)}{C_B (t_{K(B)} - t_{П(B)}) \cdot \rho_B}, \text{ м}^3/\text{опер};$$

де  $t_K$  – кінцева температура дистилляту, град;

$C'_P = C_{H.K} \cdot X_P + C_{B.K} (1 - X_P)$  - питома теплоємність дистилляту, Дж/кг·К;

тут  $C_{H.K}$  та  $C_{B.K}$  - питомі теплоємності низько - та висококиплячого компонентів при  $t'_{CP} = 0,5(t_P + t_{П})$ , Дж/кг·К;

Часткова конденсація пару:

$$V_B = \frac{\bar{G}_P \cdot [r_{cp} + C'_{cp} (t_P - t_K)]}{C_B (t_{K(B)} - t_{П(B)}) \cdot \rho_B}, \text{ м}^3/\text{опер};$$

де  $C'_{cp} = C_{H.K} \cdot X_P + C_{B.K} (1 - X_P)$  - середня питома теплоємність дистилляту, Дж/кг·К.

#### 3.2.3.3. У водяному холодильнику кубового залишку

$$V_B = \frac{\bar{G}_W \cdot C_W (t_W - t_K)}{C_B (t_{K(B)} - t_{П(B)}) \cdot \rho_B}, \text{ м}^3/\text{опер};$$

де  $C_W = C_{H.K} \cdot X_W + C_{B.K} (1 - X_W)$  - питома теплоємність кубового залишку, Дж/кг·К;

тут  $C_{H.K}$  та  $C_{B.K}$  - питомі теплоємності низько - та висококиплячого компонентів при  $t_{W(cp)} = 0,5(t_W + t_K)$ , Дж/кг·К;

де  $t_K$  – кінцева температура кубового залишку, град.

### 3.3. Конструктивний розрахунок

#### 3.3.1. Діаметр колони

$$D = \sqrt{\frac{V_{\Pi}}{0,785 \cdot \omega_0}}, \text{ м};$$

$$\text{де } V_{\Pi} = \frac{\bar{G}_{\Pi}}{\rho_{\Pi} \cdot \tau}, \text{ м}^3/\text{с};$$

тут  $\tau$  - тривалість операції, с;

$\omega_0$  - фіктивна швидкість пару, т.п. швидкість, віднесена до всього поперечного перерізу колони, м/с.

3.3.1.1. При тисках, близьких до атмосферного, граничну швидкість пару, яка відповідає точці захлинання, розраховують за формулою:

$$\lg \left[ \frac{\omega_3^2 \cdot \sigma \cdot \rho_{\Pi} \cdot \mu_P^{0,16}}{g \cdot V_B^3 \cdot \rho_P} \right] = -0,125 - 1,75 \left( \frac{L}{G} \right)^{0,25} \cdot \left( \frac{\rho_{\Pi}}{\rho_P} \right)^{0,125}$$

де  $\mu_P$  - в'язкість рідини, мПа·с;

$$\lg \mu_P = X_{CP} \cdot \lg \mu_{H,K} + (1 - X_{CP}) \lg \mu_{B,K},$$

тут  $\mu_{H,K}$  та  $\mu_{B,K}$  - коефіцієнти динамічної в'язкості низько - та високо киплячого компонентів при  $t_{cp}$ , мПа·с;

$$L = \frac{\bar{G}_P}{\tau} - \text{витрата рідини, кг/с};$$

$$G = \frac{\bar{G}_{\Pi}}{\tau} - \text{витрата пару, кг/с}.$$

Фіктивну швидкість пару знаходять як добуток  $\omega_3$  та коефіцієнта  $K$ , який менший за одиницю і залежить від обраного гідродинамічного режиму. Для режиму емульгування  $K=0,85 - 1$ ; для режиму підвисання  $0,45 \leq K \leq 0,85$ ; для плівкового режиму  $K=0,45$ .

3.3.1.2. При тисках, вище атмосферного, фіктивна швидкість пару, що відповідає початку (точці) підвисання, рекомендується розраховувати за формулою:

$$\text{Re}_{\Pi} = 0,045 \cdot Ar^{0,57} \cdot \left( \frac{G}{L} \right)^{0,43},$$

де  $\text{Re}_{\Pi} = \frac{4\omega_0 \cdot \rho_{\Pi}}{\sigma \cdot \mu_{\Pi}}$  - критерій Рейнольдса у точці підвисання;

$$Ar = \frac{g \cdot d_3^3 \cdot \rho_{\Pi} (\rho_P - \rho_{\Pi})}{\mu_{\Pi}^2} - \text{критерій Архімеда},$$

тут  $d_3$  - еквівалентний діаметр насадки, м;

$\mu_{\Pi}$  - в'язкість пару, Па·с;

$$\frac{M_{\Pi}}{\mu_{\Pi}} = \frac{Y_{CP} M_{H,K}}{\mu_{H,K}} + \frac{(1 - Y_{CP}) M_{B,K}}{\mu_{B,K}},$$

де  $\mu_{н.к}$  та  $\mu_{в.к}$  - динамічні коефіцієнти в'язкості низько – та високо киплячого компонентів парової суміші при температурі  $t_{ср}$ , Па·с.

Для плівкового режиму ця швидкість помножується на 0,85 – 1; для режиму підвисання – на 1,0 – 1,2; для емульгування – на 1,2 – 1,4.

Остаточно діаметр колони приймається за стандартом, після чого уточнюється швидкість пару відповідно до прийнятого діаметру.

### 3.3.2. Висота колони

3.3.2.1. Розрахунок числа теоретичних ступенів зміни концентрацій (див. мал.3.1)

Будують криву рівноваги (див. рис. 3.1.).

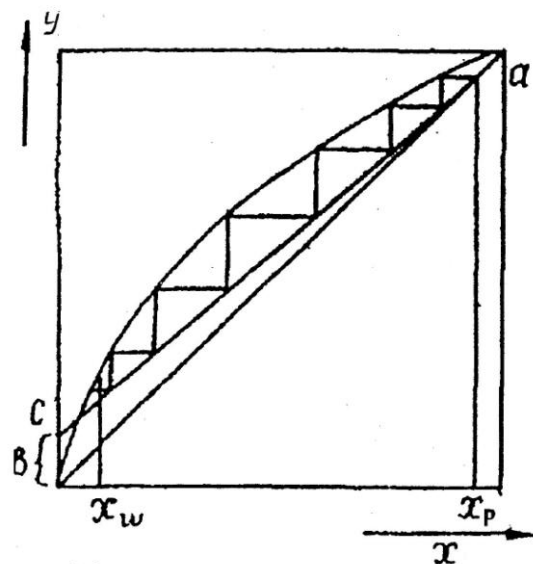


Рис. 3.1.

Проводять допоміжну лінію рівних концентрацій (діагональ). Знаходять точку **a**, яка лежить на перетині лінії рівних концентрацій з абсцисою  $x_p$ . На осі ординат знаходять точку **c** за відрізком  $B = \frac{x_p}{R+1}$ , де **R** – робоче флегмове число для кінцевого моменту розгонки.

Проводять через точки **a** і **c** пряму лінію – лінію робочих концентрацій. Будують лому лінію між лініями рівноваги та робочою в межах від  $x_p$  до  $x_w$ . Кількість горизонтальних відрізків і є числом теоретичних ступенів зміни концентрацій  $n_t$ . Причому останній горизонтальний відрізок повинен перетнути абсцису складу  $x_w$ . Це визначається нахилом робочої лінії, який можливо регулювати зміною коефіцієнта надлишку флегми  **$\beta$** .

#### 3.3.2.2. Еквівалентна висота насадки



$$\frac{h_{\text{э}}}{d_{\text{э}}} = 5,2 \cdot \text{Re}_{\Pi}^{0,2} \left( \frac{G}{L} \right)^{0,35} \cdot \left( \frac{\rho_P}{\rho_{\Pi}} \right)^{0,2} \cdot \frac{\lg \frac{L}{m \cdot G}}{1 - m \frac{G}{L}},$$

де  $h_{\text{э}}$  – еквівалентна висота насадки, м;  
 $m$  – середній тангенс кута нахилу дотичної до рівноважної лінії (див. рис. 3.2);

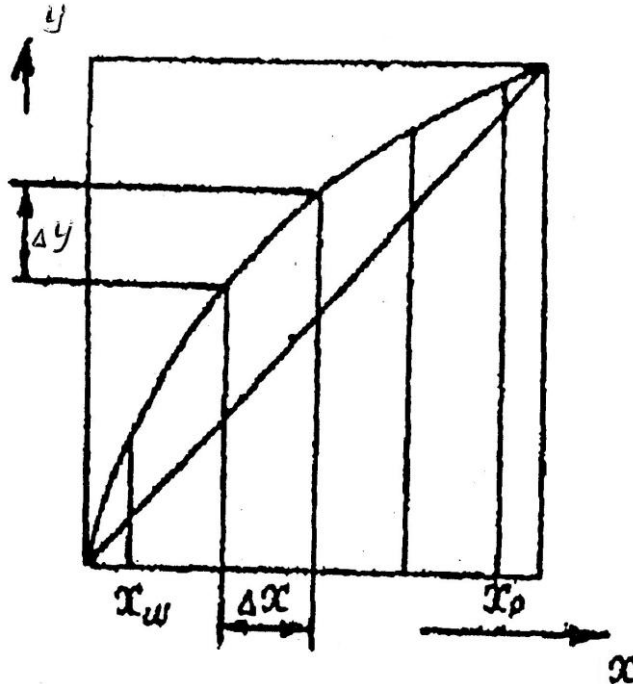


Рис. 3.2.

В інтервалі від  $x_p$  до  $x_w$  лінія рівноваги розбивається на рівні відрізки (не менше п'яťох). Вважаючи, що на кожному відрізку лінія рівноваги пряма, знаходять тангенси кута нахилу  $\Delta y / \Delta x$ . Підсумовуючи всі значення  $m_i$  та поділивши одержану суму на число відрізків, знаходять середній тангенс кута нахилу для всієї лінії рівноваги

$$m = \frac{\sum m_i}{n},$$

де  $n$  – число відрізків.

### 3.3.2.3. Загальна висота насадки

$$H_{\text{нас}} = h_{\text{э}} \cdot n_T, \text{ м.}$$

### 3.3.2.4. Загальна висота колони

$$H = H_{\text{нас}} + h_1 + h_2, \text{ м.}$$

де  $h_1 = D$  – відстань від кришки колони до верхнього шару насадки, м;

$h_2 = (1, 1 - 1, 5) D$  – відстань від нижнього шару до днища колони, м.

При необхідності розбивки насадки на шари, висота одного безперервного шару визначається за умовою змочення всієї насадки (безперервного шару насадки).

Перевіряють наступні умови:

$$1) \left( \frac{H_{нас}}{D} \right) \leq (2 - 4),$$

де  $H_{нас}$  – загальна висота насадки, м;

$D$  – діаметр колони, м.

$$2) H_{безп.ш} \leq 6m,$$

де  $H_{безп.ш}$  – висота одного безперервного шару, м.

Тоді, загальна висота колони:

$$H = h_1 + h_2 + H_{безп.ш} \cdot n_{ш} + h_{м.с} (n_{сл} - 1), \text{ м};$$

де  $n_{сл}$  – кількість шарів;

$h_{м.с} = (0, 25 - 0, 75)$  – відстань між шарами, м.

### 3.3.3. Розрахунок патрубків

Діаметр патрубків визначається за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega}}, \text{ м};$$

де  $V$  – об'ємна секундна витрата рідини або пару, м<sup>3</sup>/с;

$\omega$  – швидкість рідини або пару, м/с; приймається за [1,2,8].

Остаточно патрубки приймаються за стандартом [9].

### 3.3.4. Вибір фланців на патрубки та на апарат

Вибір здійснюється за [9]. Наводяться ескізи з проставленням розмірів (розміри надаються в таблиці).

### 3.3.5. Вибір люків, ґрат(колосників), решіток, тарілок живлення та перерозподілюючих тарілок

Вибір здійснюється за [9]. Наводяться ескізи з проставленням розмірів.

## 3.4. Гідравлічний розрахунок

Для здійснення руху пару та рідини в колоні необхідна втрата механічної енергії. При русі рідини самопливом зверху колони пар, який надходить знизу, повинен мати деякий надлишковий тиск для проходження її через апарат. Цей тиск повинен бути не менший від опору, який чинить апарат течії пару.

### 3.4.1. Опір сухих насадок

$$\Delta P_c = \lambda \cdot \frac{H_{нас}}{d_E} \cdot \frac{\omega^2}{2} \cdot \rho_{II}, \text{ Па};$$

де  $\omega = \frac{\omega_0}{V_B}$  - дійсна швидкість пару в шарі насадки, м/с;

$\lambda$  – коефіцієнт опору, який враховує сумарні втрати тиску на тертя та місцеві опори.

#### 3.4.1.1. Насадки усі крім хордової.

Для неупорядковано завантаженої насадки:

- при ламінарному режимі руху пару  $Re_{\pi} < 40$ ,  $\lambda = \frac{140}{Re_{\pi}}$ ;

- при турбулентному руху пару  $Re_{\pi} > 40$ ,  $\lambda = \frac{16}{Re_{\pi}^{0,2}}$ ;

де  $Re_{\pi} = \frac{\omega \cdot d_E \rho_{\pi}}{\mu_{\pi}}$  - критерій Рейнольдса для пару.

Для упорядковано завантаженої насадки:

$$\lambda = \frac{A}{Re_{\pi}^{0,375}}, \quad A = 3,12 + 17 \frac{d_3}{h_{III}} \cdot \left( \frac{d_B}{d_3} \right)^{1,37},$$

де  $d_B$  та  $d_3$  – внутрішній та зовнішній діаметр кільця, м;

$h_{III} = H_{безп.ш}$ , м.

#### 3.4.1.2. Хордова насадка

- дерев'яні дошки висотою 100 мм, товщиною 10 мм та відстанню між ними 10 мм:

$$\lambda = \frac{1,1}{Re_{\pi}^{0,375}},$$

- дерев'яні дошки висотою 100 мм, товщиною 10 мм та відстанню між ними 20 мм:

$$\lambda = \frac{1,66}{Re_{\pi}^{0,375}}.$$

#### 3.4.2. Опір зрошуваної насадки

Для наближеного розрахунку  $\Delta P_{зр}$  при роботі колони в режимах нижче точки інверсії, можна використовувати таке рівняння:

$$\Delta P_{зр} = (1 + K \cdot U) \Delta P_c, \text{ Па};$$

де  $U = \frac{L}{\rho_p \cdot S}$  - об'ємна густина зрошення,  $m^3/m^2 \cdot c$ ;

$K$  – дослідний коефіцієнт (для неупорядковано завантажених та хордових насадок  $K=0,06$ ; для упорядковано завантажених кільцевих насадок  $K=0,04$ );

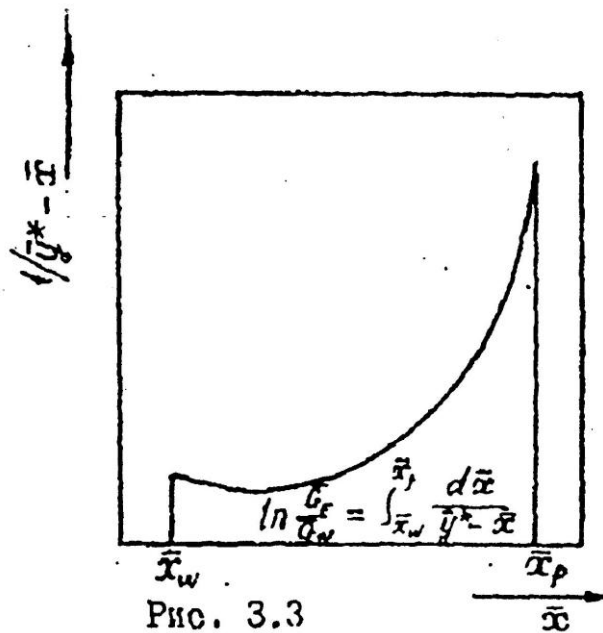
Матеріальний баланс за всю операцію розділення за легколетким компонентом

$$\ln \frac{\bar{G}_F}{\bar{G}_W} = \int_{\bar{x}_w}^{\bar{x}_F} \frac{d\bar{x}}{\bar{y} - \bar{x}},$$

де  $\bar{X}$  - склад рідини в кубі у масових частках легколеткого компоненту у будь який час;

$\bar{Y}^*$  - склад рівноважного пару над рідиною у масових частках легколеткого компоненту.

Оскільки вигляд функції визначається формою кривої рівноваги та не може бути встановлений аналітично для кожного конкретного випадку процесу, інтегрування правої частини рівняння виконують графічно – шляхом побудови залежності  $\frac{1}{\bar{Y}^* - \bar{X}}$  від  $\bar{X}$ . Для ряду значень у проміжку від  $\bar{X}_W$  до  $\bar{X}_F$  знаходять на діаграмі у  $-x$  (рис. 2.1) рівноважні їм значення  $\bar{Y}^*$ , після чого розраховують значення  $\frac{1}{\bar{Y}^* - \bar{X}}$ , будують криву (рис. 3.3) і за величиною площі під кривою, обмеженою абсцисами, визначають (з урахуванням масштабів діаграм) значення інтеграла.



За вказаним рівнянням матеріального балансу, знаючи масу завантаженої у куб суміші, а також заданий склад кубового залишку, знаходять масу кубового залишку.

Маса перегнаної рідини або одержаного дистилляту складатиме:

$$\bar{G}_P = \bar{G}_F - \bar{G}_W$$

Середній склад ( $\bar{X}_{P(cp)}$ ) одержаного дистилляту розраховують за рівнянням матеріального балансу за легколетким компонентом:

$$\bar{G}_F \cdot \bar{X}_F = \bar{G}_W \cdot \bar{X}_W + (\bar{G}_F - \bar{G}_W)(\bar{X}_{P(cp)})$$

$$\text{Звідки } \bar{X}_{P(cp)} = \frac{\bar{G}_F \cdot \bar{X}_F - \bar{G}_W \cdot \bar{X}_W}{\bar{G}_F - \bar{G}_W}$$

За рівнянням  $R_{\min} = \frac{\bar{X}_{P(cp)} + A}{A - \frac{\bar{X}_F - \bar{X}_W}{2}}$  розраховують мінімальне флегмове

число, а потім робоче за рівнянням  $R = \beta \cdot R_{\min}$

Подальший розрахунок аналогічний розрахунку при роботі колони з постійним складом дистилляту та змінним флегмовим числом, тільки у всі вирази, в яких зустрічається флегмове число, підставляють робоче флегмове число.

### Рекомендована література

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1973. – 750 с.
2. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.
3. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. – Изд. 3-е. Пер. – М.: Химия, 1978. – 280 с.
4. Стабников В.Н. Расчет и конструирование контактных устройств ректификационных и абсорбционных аппаратов. – Киев.: Техника, 1970. – 207 с.
5. Рамм В.М. Абсорбция газов. – М.: Химия, 1966. – 356 с.
6. Хоблер Г. Массопередача и абсорбция. – М.: Химия, 1964. – 356 с.
7. Тютюнников А.Б., Товажнянский Л.Л., Готлинская А.П. Основы расчета и конструирования массообменных колон. – Киев.: Вища шк., 1989. – 223 с.
8. Плановский А.Н., Рамм В.М., Коган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1968. – 848 с.
9. Лацинский А.А., Толчинский А.Р. основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.
10. Лацинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов. Справочник. – Л.: Машиностроение, 1981. – 382 с.
11. Борисов Г.С., Брыков В.П., Дытнерский Ю.И. и др. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. – Изд. 2-е. Пер. И доп. Под ред. Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1991. – 496 с.