

Міністерство освіти і науки України  
Чернігівський промислово-економічний коледж  
Київського національного університету технологій та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Заступник директора з НР  
\_\_\_\_\_Л.РОСЛАВЕЦЬ

30 08 2019р.

**Методичне забезпечення  
практичних занять з дисципліни  
«Процеси та апарати»  
Спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»**

Уклав

Т. СЕМЕРНЯ

Розглянуто на засіданні  
циклової комісії  
спеціальних механічних  
та загально-технічних дисциплін  
Протокол №1 від 30 08 2019 року  
Голова циклової комісії

Т. СЕМЕРНЯ

## Інструкція для виконання практичної роботи № 1

Тема: Розрахунки тривалості процесу фільтрування; розмірів фільтру

1 Мета: Навчитися розв'язувати задачі по визначенню розмірів фільтрів

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

2.1 Інструкція;

2.2 Обчислювальна техніка

3 Теоретичні відомості

Процес фільтрування проводиться циклами. Кожний цикл складається з фільтрування, промивки осаду і допоміжних операцій (вивантаження осаду, підготовка фільтру до наступного циклу, інші). Тривалість циклу фільтрування складає:

$$T = t + t_{\text{пр}} + t_{\text{доп}} \quad (1.1)$$

де  $t$  - тривалість фільтрування;

$t_{\text{пр}}$  - промивання осаду;

$t_{\text{доп}}$  - допоміжні операції

При  $p = \text{const}$  об'єм фільтрату  $V$ , що пройшов через  $1 \text{ см}^2$  фільтруючої поверхні час і тривалість процесу зв'язані рівнянням:

$$V^2 + 2CV = K t \quad (1.2)$$

де  $C$  -  $\text{const}$  фільтрування, що характеризує гідравлічний опір фільтруючої перетинки,  $\text{м}^3/\text{м}^2$ :

$K$  -  $\text{const}$  фільтрування, що враховує режим процесу фільтрування і фізико-механічні властивості осаду і рідини,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$t$  - тривалість фільтрування, с;

$K$  і  $C$  визначаються дослідним шляхом.

Швидкість фільтрування  $W$  в даний момент визначається за формулою:

$$\frac{dV}{dk} = \frac{K}{2[V + C]} \quad (1.3)$$

За цією формулою можна розрахувати і швидкість промивки осаду промивною рідиною, якщо в'язкість промивної рідини дорівнює в'язкості

фільтрату, якщо промивна рідина проходить через фільтр тим же шляхом, що і фільтрат. Рівняння:

$$\frac{t}{V} = \frac{2}{KV} + \frac{2C}{K} \quad (1.4)$$

виражає прямолінійну залежність між величинами  $\frac{d}{dV}$  і  $V$ , застосовується для визначення констант  $C$  і  $K$  за експериментальними даними.

Рівняння матеріального балансу процесу фільтрування:

$$G_c = G_\phi + G_{oc} \quad (1.5)$$

#### 4 Хід роботи

##### Завдання 1

Розрахувати об'ємну продуктивність барабанного вакуум-фільтру (або дискового фільтру) неправильної дії для фільтрування суспензії в кількості  $G_c = 10000$  кг з вмістом твердої фази  $X = 25\%$ , Одержаний осад має вологість  $25\%$ , густина фільтру  $1100 \text{ кг/м}^3$ .

#### 5 Висновки

##### 6 Контрольні питання

6.1 Назвати стадії з яких складається процес фільтрування

6.2 Навести формулу для визначення швидкості фільтрування

6.3 Розв'язання задачі

Визначити об'ємну продуктивність барабанного вакуум-фільтру (дискового фільтру) неперервної дії для фільтрування суспензії в кількості  $G_c$  (кг), вміст твердої фази  $X$  (%), одержаний осадок має вологість  $w$  %, густина фільтру  $\rho_\phi$  ( $\text{кг/м}^3$ )

Таблиця 1.1

№В	1, 11	2,12	3,13	4,14	5,15	6,16	7,17	8,18	9,19	10,20
$G_c$	10000	120000	14000	18000	21000	25000	11000	15000	19000	25000
$X$	24	25	20	18	20	25	25	17	30	23
$w$	24	25	22	20	24	25	20	20	25	23
$\rho_\phi$	1100	1090	1000	1150	900	1200	1000	950	1100	1135

## Література

Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. –Москва: 1968

### Інструкція для виконання практичної роботи № 2

Тема: Розрахунок перемішуючих апаратів

1 Мета: Ознайомитись з основними формулами, що застосовуються при розрахунках перемішуючих апаратів

2 Матеріально – технічне та навчально – методичне забезпечення:

2.1 Інструкція

2.2 Обчислювальна техніка

3 Теоретичні відомості:

Найбільш поширеним способом перемішування в рідинних середовищах є механічне перемішування за допомогою мішалок обладнаних лопастями різної форми.

Основними характеристиками процесу перемішування являються: витрати енергії та ефективність перемішування.

При обертанні лопасті мішалки, енергія витрачається на подолання тертя та на утворення і зрив вихрів.

Для лопасті будь-якої форми між середньою швидкістю і коловою швидкістю на кінці лопасті існує загальне співвідношення:

$$W_{cp} = dW \quad (2.1)$$

де  $W$  - колова швидкість на кінці лопасті;

$d$ - коефіцієнт пропорційності, постійний для лопасті даної форми.

Для подолання опору середовища до валу мішалки необхідно підвести певну кількість енергії, Потужність необхідна для обертання лопасті, дорівнює добутку діючої сили на середню швидкість обертання лопасті:

$$N = P \cdot W_{cp} = P \cdot a \cdot W_{cp} \quad (2.2)$$

Кодова швидкість на кінці лопасті

$$W = \pi \cdot d \cdot n$$

де  $n$  - кількість обертів мішалки за 1 секунду

Підставивши в рівняння (2.2) значення  $P$  і  $W_{cp}$  рівняння (2.1), отримаємо

$$N = \psi \cdot \rho \cdot d^2 \cdot a^3 \cdot W^3 = \psi \cdot \rho \cdot d^2 \cdot a^3 \cdot (\pi \cdot d \cdot n)^3$$

$$N = \psi \cdot \pi^3 \cdot \rho \cdot d^5 \cdot a^3 \cdot n^3$$

Позначивши добуток  $\psi \cdot \pi^3 a^3$  через  $C$  отримаємо кінцеве значення:

$$N = C \cdot \rho \cdot d^5 \cdot n^3 \text{ Вт} \quad (2.3)$$

Коефіцієнт  $C$ , що входить в рівняння (2.3) визначається з досліду. Він залежить не тільки від форми лопасті та посудини в якій здійснюється перемішування, але і від критерію  $Re$ , в значення величини  $c$  входить коефіцієнт опору  $\psi$ , що являється функцією  $Re$ . Таким чином:

$$c = f(Re) \quad (2.4)$$

Хід роботи

Завдання 1

Визначити установчу потужність для пропелерної 2-х лопатної мішалки, яка обертається з швидкістю  $n = 240 \text{ хв}^{-1}$ , діаметр апарата  $D = 1000 \text{ мм}$ , густина та в'язкість рідини відповідно  $\rho_p = 1150 \text{ кг/м}^3$  та  $\mu_p = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ , ККД електродвигуна 0,84, запас потужності 17,5%

5 Висновки

6 Контрольні питання

6.1 В чому полягає суть процесу перемішування?

6.2 Які є способи перемішування?

6.3 Від чого залежить ефективність перемішування?

6.4 Для перемішування яких сумішей застосовують лопатеві мішалки?

6.5 Які мішалки обертаються з більшою частотою — лопатеві чи пропелерні?

6.6 Розв'язання задачі

Визначити установчу потужність для пропелерної 2-х лопатної мішалки, яка обертається з швидкістю  $n \text{ хв}^{-1}$ , діаметр апарата  $D \text{ мм}$ , густина та в'язкість

рідини відповідно  $\rho_p$  кг/м<sup>3</sup> та  $\mu_p = \text{Па}\cdot\text{с}$ , ККД електродвигуна, запас потужності 17,5%

Таблиця 2.1

№вар	1, 11	2,12	3,13	4,14	5,15	6,16	7,17	8,18	9,19	10,20
D	900	800	1200	1000	1500	900	950	1000	1100	1200
n	300	180	180	210	180	250	240	280	250	280
$\mu_p \cdot 10^{-3}$	4,5	4,75	5	4	3,5	4,25	4,5	4,5	5	5,5
ККД	0,8	0,8	0,85	0,85	0,87	0,87	0,88	0,88	0,89	0,89
$\rho_p$	1000	1100	1200	1050	1150	1250	130	10000	1300	1250

### Література

Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. –Москва: 1968

## Інструкція до виконання практичної роботи №3

Тема: Визначення коефіцієнта тепловіддачі

1 Мета: Навчитись проводити розрахунки по визначенню коефіцієнта тепловіддачі

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

2.1 Інструкція

2.2 Обчислювальна техніка

3 Теоретичні відомості:

При передачі тепла конвекцією у поверхні стінки, вздовж якої рухається теплоносій і крізь яку проходить тепло, утворюється ламінарний прикордонний шар. Крізь цей шар тепло передається шляхом теплопровідності, в той час як за межами шару, в основній масі теплоносія, температура в кожному поперечному перерізі майже постійна. Вирівнювання

температури в основній масі відбувається внаслідок перемішування теплоносія при руху окремих його часточок. З підвищенням турбулентності потоку перемішування підсилюється, що веде до зменшення прикордонного шару і збільшенню кількості тепла, яке передається.

Якщо різниця температур між основною масою теплоносія і поверхнею стінки складає  $Q_{\text{час}}$ , то кількість передаваного тепла, згідно закону Ньютона пропорційна поверхні стінки  $F$ , частному температурному напор  $Q_{\text{час}}$  і часу

$$Q = \alpha \cdot F \cdot Q_{\text{час}} \cdot \tau \quad (3.1)$$

Рівняння передачі тепла конвекцією подібне рівнянню теплопередачі. Величина  $\alpha$  називається коефіцієнтом тепловіддачі; має ту ж розмірність що і коефіцієнт теплопередачі (вт/м град).

#### 4 Хід роботи

##### 4.1 Завдання 1

Визначити коефіцієнт тепловіддачі від вертикальної стінки реактора до води, при вільній конвекції. Висота стінки реактора  $H=1250$  мм, температура стінки  $t_{\text{ст}}=40^{\circ}\text{C}$ , температура води  $t_{\text{в}}=20^{\circ}\text{C}$ .

##### 4.2 Завдання 2

В трубному просторі кожухотрубного теплообмінника нагрівається  $12,31$  кг/с бензолу від  $t_1= 20^{\circ}\text{C}$  до  $t_2= 80^{\circ}\text{C}$ . Визначити коефіцієнт тепловіддачі від стінки трубки і рідини, якщо діаметр трубок  $d \times \delta = 25 \times 2$  мм, кількість трубок дорівнює 42.

#### 5 Висновки

#### 6 Контрольні питання

##### 6.1 Дати визначення коефіцієнта тепловіддачі

6.2 Навести формули, що використовували при розрахунках коефіцієнта тепловіддачі

### 6.3 Розв'язання задачі

Визначити коефіцієнт тепловіддачі від вертикальної стінки реактора до рідини, при вільній конвекції. Висота стінки реактора  $H$  мм, температура стінки  $t_{ст}$  °С, температура рідини  $t$  °С.

Таблиця 3.1

№ вар	1, 11	2,12	3,13	4,14	5,15	6,16	7,17	8,18	9,19	10,20
$H$	1200	1000	1250	800	900	1250	1500	1000	1250	1100
$t_{ст}$	45	40	50	42	38	52	50	42	45	55
$t$	20	18	25	22	18	24	25	18	20	25
середовище	вода		бензол		толуол		нітробензол		хлороформ	

Література:

Плановский А.П., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1968

### **Інструкція до виконання практичної роботи №4**

Тема: Розв'язування задач по визначенню температури стінок, витрат тепла, критерії теплової подібності

1 Мета: Навчитись проводити розрахунки по визначенню температури стінок, витрат тепла, критерії теплової подібності

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

2.1 Інструкція

2.2 Обчислювальна техніка

3 Теоретичні відомості:

Перенос теплоти, який відбувається між тілами з різними температурами, називається теплопередачею.

Розрізняють три принципово різні способи передачі тепла: теплопровідність, конвекція, випромінювання.



Основне рівняння теплопередачі має загальний вигляд:

$$dQ = k \cdot \Delta t \cdot dF \cdot d\tau \quad (4.1)$$

Для сталого процесу

$$Q = k \cdot \Delta t_{cp} \cdot F \quad (4.2)$$

де  $Q$  – кількість тепла, яка передається через поверхню теплообміну;

$k$  – коефіцієнт теплопередачі;

$\Delta t_{cp}$  – середня різниця температур

#### 4 Хід роботи

##### 4.1 Завдання 1

Визначити зовнішню температуру стінки, якщо коефіцієнт теплопровідності 0,276, внутрішня температура стінки 300°C, кількість теплоти 170 Вт, час 1 с, площа стінки 1 м<sup>2</sup>, товщина стінки 390 мм.

##### 4.2 Завдання 2

Визначити витрати тепла та площу стінки, якщо при противотоці температура змінюється з 18°C до 61°C та з 90°C до 30°C, маса речовини 1,55кг·с, питома теплоємність 1051,7 Дж/кг·град, коефіцієнт теплопередачі 320.

#### 5 Висновки

#### 6 Контрольні питання

##### 6.1 Дати визначення теплопередачі

6.2 Навести формули, що використовували при розрахунках температури стінок, витрат тепла

#### Література:

Плановский А.П., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. – Москва.: Химия, 1968

## Інструкція до виконання практичної роботи №5

Тема: Розрахунки теплообмінних апаратів, визначення теплового навантаження і витрат агентів

1 Мета: Навчитись розв'язування задачі по визначенню теплового навантаження і витрат агентів

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

2.1 Інструкція

2.2 Обчислювальна техніка

3 Теоретичні відомості

Для визначення витрат нагріваючих чи охолоджуючих агентів користуються рівнянням теплового балансу:  $Q_{гор} = Q_{хол}$ . Якщо апарат призначений для нагрівання, то теплове навантаження визначається за формулою

$$Q_{хол} = g \cdot c \cdot (t_2 - t_1) = w \cdot \Delta t \quad (5.1)$$

де  $c$  - питома теплоємність холодного теплоносія, Дж/кг · град

$t_1$   $t_2$  - температури теплоносія на вході на виході з апарату, °С.

А витрати нагріваючого агента:

$$Q_{гор} = G \cdot C \cdot (T_2 - T_1) = W \cdot \Delta T \quad (5.2)$$

де  $C$  - питома теплоємність гарячого теплоносія, Дж/кг град

$T_1$   $T_2$  - температури теплоносія на вході на виході з апарату, °С.

Якщо нагріваючим агентом є пара, то и витрати, ігри умові, що пара поступає насиченою, а конденсат видаляється з апарату знаходять з рівняння:

$$Q_{гор} = Q_{конд} = G \cdot r \quad (5.3)$$

де  $r$  - теплота випаровування, Дж/кг.

Якщо апарат призначений для охолодження, то теплове навантаження розраховують за формулою 5.1. а витрати охолоджуючого агента – за формулою 5.2

## 4 Хід роботи

### 4.1 Завдання 1

Визначити теплове навантаження і витрати охолоджуючої води в холодильнику для метилового спирту. Кількість спирту  $G=10000$  кг/год його початкова температура  $T_1 = 60^\circ\text{C}$ , кінцева  $T_2 = 30^\circ\text{C}$ , питома теплоємність  $C = 2680$  Дж/кг·град.

Початкова температура охолоджуючої воли  $t_1 = 25^\circ\text{C}$ , питома теплоємність  $c = 4190$  Дж/кг·град.

### 4.2 Завдання 2

Визначити теплове навантаження і витрати пари у водонагрівачі для 10% розчину NaOH. Кількість розчину  $g = 20\ 000$  кг. початкова температура -  $85^\circ\text{C}$ , кінцева  $120^\circ\text{C}$ , питома теплоємність розчину  $c = 3680$  Дж/кг·град. Абсолютний тиск граючої пари 3 ат., теплота випаровування (при  $p = 3$  ат.)  $r=2170 \cdot 10^3$  Дж/кг

### 4.3 Завдання 3

Нітрозні гази в кількості  $G = 22\ 000$  кг/год охолоджуються повітря від  $T_1=800^\circ\text{C}$ . Кількість повітря  $g = 19000$  кг/год, його початкова температура  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ , кінцева  $t_2 = 350^\circ\text{C}$ , питома теплоємність  $c = 1030$  Дж/кг·град

Визначити теплове навантаження і кінцеву температуру газів

## 5 Висновки

### 6 Контрольні питання

6.1 Як розраховується теплове навантаження, якщо апарат призначений для нагрівання?

6.2 За якою формулою розраховуються витрати охолоджуючого агента?

6.3 Як розраховуються витрати насиченої пари?

### Література

Плановский А.П., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологи. – Москва: Химия, 1968, с. 440-441.

## Інструкція до виконання практичної роботи №6

Тема: Розрахунок випарної установки

1 Мета: Навчитись провозити розрахунки по визначенню: поверхні теплообміну випарної установки; концентрації розчинів по корпусам

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

2.1 Інструкція

2.2 Обчислювальна техніка

3 Теоретичні відомості

Випарюванням називають процес концентрування розчинів рідин шляхом часткового видалення розчинника при кипінні рідини.

Для перетворення води у водяну пару витрачається в 2-3 рази більше теплової енергії, чим при випарюванні органічних розчинників.

Теплота при випарювання підводиться різними теплоносіями, але в основному для цих цілей використовують глуху водяну пару, яка в цьому випадку називається гріючою або первинною. Пара, що утворюється при випаровуванні розчинів називаються вторинною. Процес випарювання проводять під вакуумом, при атмосферному чи підвищеному тиску.

При випарювання під вакуумом можливе проведення процесу при більш низьких температурах, що дуже важливо для розчинів речовин, які здатні до розкладання.

При проведенні процесу під атмосферним тиском вторинна пара, як правило не використовується і викидається в атмосферу.

При випарюванні при підвищеному тиску використовують вторинну пару як для випарювання в інших корпусах з меншим тиском, так і для інших теплотехнічних потреб.

Випарювання під атмосферним тиском та інколи під вакуумом, проводять в однокорпусних апаратах.

Багатокорпусні випарні установки складаються з декількох випарних апаратів чи корпусів в яких вторинна пара кожного попереднього корпусу використовується в якості гріючої в послідуєчому.

Хід роботи

#### 4.1 Завдання 1

Визначити площу поверхню теплообміну випарного апарату і виграти грючої пари з тиском 0,3 МПа для випарювання 1,3 кг/с розчину з початковою концентрацією 4% до кінцевої концентрації 30%. Розчин поступає на випарювання при температурі кипіння 102°C. Коефіцієнт теплопередачі від грючої пари до розчину  $K = 1200 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ .

Теплові втрати складають 8% від теплоти витраченої на випаровування води.

#### 4.2 Завдання 2

В трьохкорпусній випарній установці упарюється 2,45 кг/с водного розчину від початкової концентрації 10% до кінцевої концентрації 56%. Визначити концентрацію розчину по корпусам якщо співвідношення випареної води по корпусам наступне:  $W_1 : W_2 : W_3 = 1,0 : 1,1 : 1,2$

### 5 Висновки

#### 6 Контрольні питання

6.1 Пояснити сутність процесу випарювання

6.2 Охарактеризувати способи випарювання при різних тисках

#### Література

- 1 Плановский А.П., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологи. – Москва: Химия, 1968,
- 2 Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии Ленинград: Химия, 1976

### **Інструкція для виконання практичної роботи № 7**

Тема: Розрахунок абсорбера

1 Мета: Ознайомитись з основними формулами, що застосовуються при розрахунках абсорбційних процесів.

2 Матеріально – технічне та навчально – методичне забезпечення:

2.1 Інструкція

2.2 Обчислювальна техніка

### 3 Теоретичні відомості

Абсорбція – це процес поглинання газу чи пари рідким поглиначем – абсорбентом. Зворотній процес – десорбція. Залежність між розчинністю газу і його  $p$  парціальний характеризує закон Генрі:

- рівноважний парціальний тиск  $p^*$  пропорційний вмісту розчиненого газу в розчині:

$$p^* = \varphi \cdot x \quad (7.1)$$

де  $\varphi$  - коефіцієнт пропорційності.

Для практичних розрахунків користуються дослідними значеннями рівноважного  $p$  парціальний і розраховують рівноважний вміст абсорбованого компонента в газовій суміші  $y^*$

$$y^* = \frac{M_K}{M_H} \cdot \frac{p^*}{P - p^*} \quad (7.2)$$

де  $M_K$ ,  $M_H$  - молекулярна маса абсорбованого компонента і інертного газу;

$P$  – загальний тиск газової суміші.

Матеріальний баланс абсорбера характеризується рівнянням матеріального балансу масообміну:

$$M = G \cdot (y_1 - y_2) = L \cdot (x_1 - x_2) \quad (7.3)$$

де  $G$ - кількість інертного газу;

$L$  -кількість поглиначя;

$y$  - вміст компонента в газовій фазі;

$x$  - вміст компонента в рідинній фазі.

### 4 Хід роботи

#### 4.1 Завдання 1

Визначити діаметр абсорбера, якщо через нього проходить 10000 кг/год газової суміші. Оптимальна швидкість газу, який відповідає початку підвісу поглиначя на насадці 2,04 температура газової суміші – 25°C, тиск атмосферний.

### 5 Висновки

## 6 Контрольні питання

6.1 Дати визначення процесу абсорбції.

6.2 Пояснити сутність закону Генрі.

6.3 За якою формулою визначається діаметр абсорбера ?

6.4 Розв'язання задачі

Визначити діаметр абсорбера, якщо через нього проходить  $\eta$  (кг/год) повітряно – газової суміші, оптимальна швидкість відповідна початку підвисання поглинача  $\omega_0$  (м/с), температура поступаючої суміші  $t$  (°C), тиск  $P$  (МПа)

Таблиця 7.1

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$\eta$	7000	8000	9000	10000	11000	12000	3600	4500	5000	6000	7500	8500	9500	10500	7200
$\omega_0$	1,75	2	2	2,1	1,5	1,4	2,5	2,4	1,85	1,55	1,55	1,65	1,85	2,05	1,95
$t$	20	25	18	17	19	20	21	22	18	20	25	24	23	20	18
$P$	0,1	0,2	0,4	0,3	0,2	0,1	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,5	0,4	0,3	0,1

## Література

Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. –Москва: 1968. с. 590-592.

## Інструкція для виконання практичної роботи № 8

Тема: Матеріальний баланс процесу екстракції

1 Мета: Навчитись проводити розрахунки по визначенню розмірів екстракторів з урахуванням матеріального балансу процесу екстракції

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

2.1 Інструкція

2.2 Обчислювальна техніка

3 Теоретичні відомості

Екстракцією називають процеси розділення рідких сумішей і видобування компонентів з твердих речовин за допомогою рідкого розчинника (екстрагента), який вибірково розчинює тільки видобувні компоненти.

Розділення рідкої суміші методами екстракції складається з наступних процесів:

- Змішування початкової суміші з екстрагентом для створення між ними тісного контакту;
- Розділення двох рідких фаз, що не змішуються (екстракта і рафіята);
- Регенерація екстрагента, тобто видалення його з екстракту та рафінаду.

По характеру зміни складу рідких фаз екстракційні апарати можна розділити на дві групи:

- 1) диференційно-контактні екстрактори, в яких характер зміни складу фаз близький до безперервного;
- 2) ступінчасті екстрактори, в яких зміна складу фаз відбувається ступінчасто, в кожному ступені відбувається змішування та розділення (сепарація) фаз.

Промислові екстрактори являються переважно апаратами безперервної дії. Лише при лабораторних роботах (а іноді у виробництвах невеликого масштабу) використовують екстрактори періодичної дії.

Формули, що застосовуються при розв'язанні задач:

### 3.1 Рівняння матеріального балансу

$$G \cdot (Y_1 - Y_2) = L(X_1 - X_2) \quad (8.1)$$

де  $G$  - кількість реагенту, кг/сек;

$L$  - кількість вихідного розчинника, кг/сек;

$Y_1, Y_2$  - вміст розподіляемого компонента в екстракті і в екстрагенті, кг/кг екстрагента;

$X_1$  і  $X_2$  - вміст розподіляемого компонента в вихідному розчині і рафінаді, кг/кг вихідного розчинника.



Відповідно, витрати екстрагента складають:

$$G = \frac{L(X_1 - X_2)}{(Y_1 - Y_2)} \quad (8.2)$$

#### 4 Хід роботи

##### 4.1 Завдання 1

Для видалення оцтової кислоти з бензолу водою (дисперсна фаза - вода, суцільна фаза - бензол), використовують екстрактор продуктивність якого - 15 м<sup>3</sup>/год бензола, початкова, концентрація оцтової кислоти в бензолі  $x_1 = 100 \text{ кг/м}^3$ , кінцева концентрація  $x_2 = 1 \text{ кг/м}^3$ . Концентрація оцтової кислоти в екстрагенті (воді) на виході з колони  $y_2 = 250 \text{ кг/м}^3$ . Температура 20°C. Визначити співвідношення об'ємів суцільної і дисперсної фаз, приймаючи, що вихідний екстрагент не містить оцтової кислоти  $y_1 = 0$

#### 5 Висновки

#### 6 Контрольні питання

##### 6.1 Дати визначення процесу екстракції

##### 6.2 Навести формули, що використовували при розрахунках розмірів екстрактора

#### Література

Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. –Москва: 1968

### **Інструкція для виконання практичної роботи №9**

Тема: Розрахунок витрат тепла для ректифікаційної колони

1 Мета: Навчитись розв'язувати задачі по визначенню теплових навантажень дефлегматора, витрат охолоджуючої води, розмірів ректифікаційної колонки

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

##### 2.1 Інструкція

##### 2.2 Обчислювальна техніка

### 3 Теоретичні відомості

Для більш повного розділення суміші рідин застосовують складний вид перегонки - ректифікацію. Сутність процесу - протivotочна взаємодія парів, що утворились при перегонці з рідиною, що утворилась при конденсації парів.

Формули, що застосовуються при розв'язанні задач:

#### 3.1 Теплове навантаження дефлегматора при повній конденсації

$$Q_{\text{деф}} = P \cdot (R + 1) \cdot r_{\phi} \quad (9.1)$$

де  $P$  - кількість дистиляту, кг/с;

$R$  - флегмове число;

$r_{\phi}$  - питома теплота пароутворення чи конденсації при  $t_{\text{кип}}$ , Дж/кг

#### 3.2 Витрати охолоджуючої води

$$W_{\text{ох.вод}} = \frac{Q_{\text{деф}}}{C_{\text{в}} \cdot \Delta t} \quad (9.2)$$

де  $C_{\text{в}} = 4190$

#### 3.3 Загальна висота колони

$$H_{\text{заг}} = h_{\text{мп}} \cdot (N_{\text{дт}} + 1) \quad (9.3)$$

де  $N_{\text{дт}}$  - дійсна кількість тарілок, шт;

$h_{\text{мп}}$  - відстань між тарілками, м.

$$N_{\text{дт}} = \frac{N_{\text{теор}}}{\eta} \quad (9.4)$$

де  $N_{\text{теор}}$  - кількість теоретичних тарілок, шт.;

$\eta$  - ККД

#### 3.4 Діаметр колони

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{V}{w_{\text{газ}}}} \quad (9.5)$$

де  $V$  - об'ємні витрати пари, що проходить через колонну, м<sup>3</sup>;

$w_{\text{газ}}$  - швидкість пари, м/с.

## 4 Хід роботи

### 4.1 Завдання 1

Визначити загальну висоту і діаметр ректифікаційної колони, якщо кількість теоретичних тарілок 8, ККД тарілки = 0,55, відстань між тарілками 0,45м. Об'ємні витрати пари, що проходить через колонну  $1,65\text{м}^3/\text{с}$ , швидкість пари 1,1 м/с.

### 4.2 Завдання 2

Визначити теплове навантаження дефлегматора і втрати охолоджуючої води, якщо в дефлегматор поступає 0,8 кг/с пари метилового спирту (дистиляту), флегмове число = 1,3, а вода в процесі охолодження нагрівається на  $17^\circ\text{C}$ . Пара метилового спирту поступає в дефлегматор при температурі кипіння =  $64,5^\circ\text{C}$ ;  $r_{\text{ф}} = 1099 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$ ;  $C_{\text{в}} = 4190$ .

## 5 Висновки

### 6 Контрольні питання

6.1 Пояснити сутність процесу ректифікації

6.2 Навести формули для визначення теплового навантаження та витрат охолоджуючої води

6.3 Навести формули для визначення розмірів колони

### Літератури

Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. –Москва: 1968.

## **Інструкція для виконання практичної роботи № 10**

Тема: Матеріальний та тепловий розрахунок сушарки

1 Мета: Навчитись складати матеріальний баланс процесу сушки

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

2.1 Обчислювальна техніка

6.2 Інструкції

3 Теоретичні відомості

Сушка - це процес видалення вологи з твердих і пастоподібних матеріалів і відводу пари, що утворюється.

Нехай кількість вологого матеріалу, що подається в сушилу, дорівнює  $G_1$  кг/с, а його вологість  $W$  в результаті сушки утворюється  $G_2$  кг/с висушеного матеріалу (з масовою часткою вологості  $w_2$ ) і  $W$  кг/с вологи, що випарувалась.

Тоді матеріальний баланс за всією кількістю речовини виразиться рівнянням:

$$G_1 = G_2 + W \quad (10.1)$$

Баланс за абсолютно сухою речовиною, кількість якої не міняється в процесі сушки:

$$G_1(1 - w_1) = G_2(1 - w_2) \quad (10.2)$$

Із даних рівнянь визначають кількість висушеного матеріалу  $G_2$  і випареної вологи  $W$

#### 4 Хід роботи

##### 4.1 Завдання 1

Визначити кількість вологи, що випарували за 1 годину із матеріалу, що надходить на сушку в кількості  $G_1 = 1235$  кг/год з початковою вологістю  $w_1 = 77,5\%$ . Вологість висушеного матеріалу -  $w_2 = 5\%$ .

##### 4.2 Завдання 2

Визначити кількість вологи, що випарили із матеріалу, що надходить на сушку в кількості  $3600$  кг/год. Початкова вологість  $10\%$ , вологість висушеного матеріалу  $1\%$ ?

#### 5 Висновки

#### 6 Контрольні питання

6.1 Суть процесу сушіння?

6.2 Варіанти сушки?

6.3 Яка мета складання матеріального балансу процесу сушки?

#### Література

1Романков П.Г.Процессы и аппараты химической промышленности. - Ленинград.: Химия, 1989

2Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. -Москва: Химия, 1966

### **Інструкція до виконання практичної роботи №11**

Тема: Вправи з діаграмою І-Х

1 Мета: Навчитись користуватися діаграмою І-Х

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

2.1 Інструкція

2.2 Діаграма Л.К.Рамзіна

3 Теоретичні відомості

Характеристики вологого повітря можна з точністю, достатньою для технічних розрахунків визначити за І-Х діаграмою, яку запропонував у 1917 році Л.К.Рамзін.

Діаграма побудована під тиском  $P=745$  мм.рт.ст., який можна вважати середньорічним. Кут між координатними осями дорівнює  $135^\circ$ . Для зручності розрахунків на діаграмі нанесена допоміжна вісь  $x$ , яка проведена під кутом  $90^\circ$ .

На діаграмі побудовані:

- лінії постійного вологовмісту ( $X=\text{const}$ ), вони представляють собою вертикальні прямі, що паралельні осі ординат;
- лінії постійної ентальпії ( $I= \text{const}$ ) - прямі, що паралельні осі абсцис (вони розміщені під кутом  $135^\circ$ );
- лінії постійних температур або ізотерми ( $t= \text{const}$ ), прямі, що йдуть з деяким нахилом;
- лінії парціальних тисків водяної пари  $p_n$  у вологому повітрі;
- лінії постійної відносної вологості  $\varphi = \text{const}$ ) - пучок кривих, що розходяться.

При  $t=99,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  - температура кипіння води при  $P=745\text{ мм.рт.ст.}$  криві мають перелом і йдуть майже вертикально. Це пояснюється тим, що при  $t \geq 99,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  парціальний тиск насичених парів водяної пари, яка знаходиться у повітрі, буде рівний загальному тиску, а саме  $P_{\text{нас}} = P$ , і, відповідно рівнянню:  
 $x = 0,622 \cdot \varphi \cdot P_{\text{нас}} / (P - P_{\text{нас}}) = 0,622 \varphi / (1 - \varphi)$ . Це означає. Що при  $t \geq 99,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  вологовміст повітря при даній відносній вологості залишається постійним.

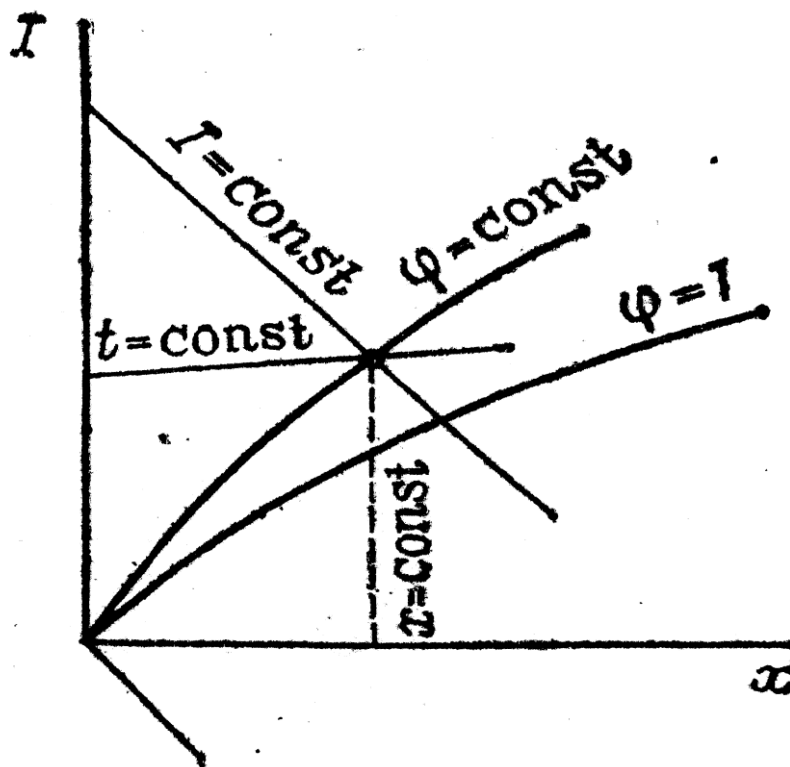
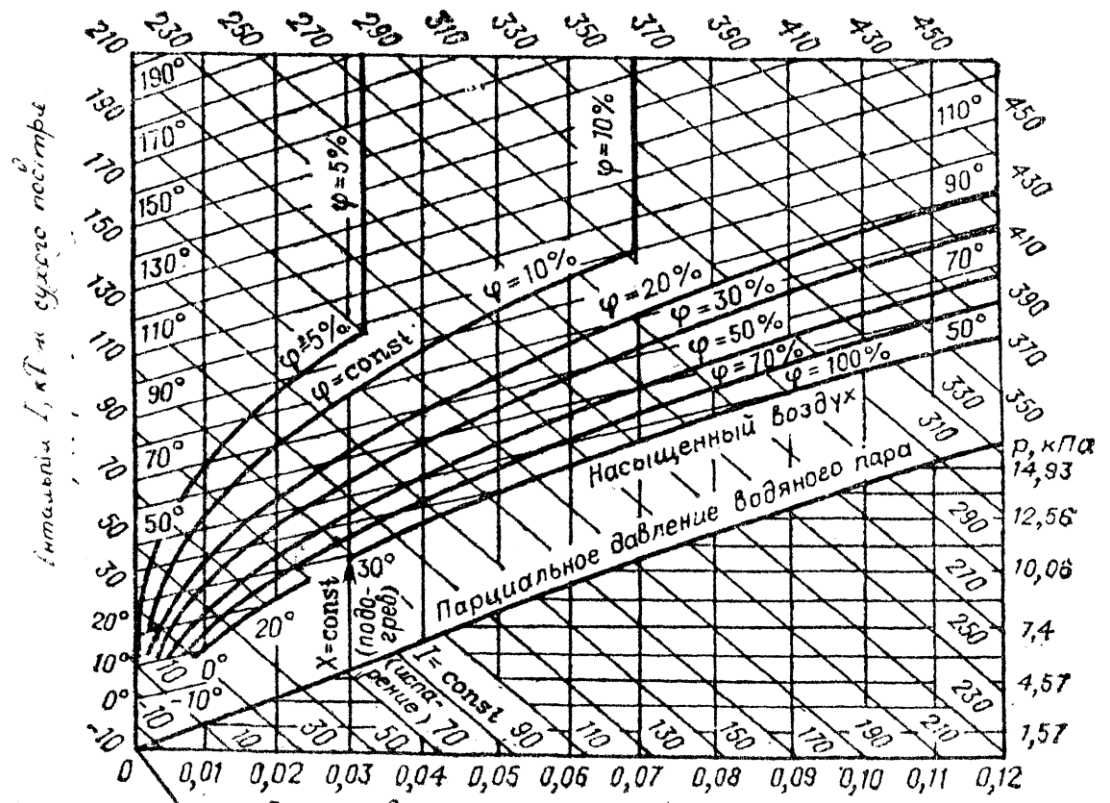


Рисунок 11.1 - Схема визначення параметрів повітря за допомогою діаграми

I-X



Вологовміст  $x$ , кг/кг сухого повітря

Рисунок 11.2 - Діаграма I-X вологого повітря

4 Хід роботи:

4.1 Визначити за діаграмою I-X ентальпію, вологовміст повітря і парціальний тиск водяної пари при  $t = 60^\circ\text{C}$  з лінією  $\varphi = 30\%$ .

Цій точці відповідає ентальпія  $I = 166$  кДж/кг сухого повітря вологовміст  $x = 0,04$  кг/кг сухого повітря. Проектуючи одержану точку на лінію тиску водяної пари, яка знаходить внизу діаграми, одержимо  $P_{\text{п}} = 5,86$  кПа (44мм.рт.ст.)

4.2 Визначити за діаграмою Рамзіна ентальпію і вологовміст повітря при  $60^\circ\text{C}$  і  $\varphi = 0,5$

4.3 Визначити парціальний тиск водяної пари і пароповітряної суміші при  $80^\circ\text{C}$  і  $I = 150$  кДж/кг сухого повітря.

5 Висновки

6 Контрольні питання

6.1 Для чого використовують І-Х діаграму?

6.2 Які лінії побудовані на І-Х діаграмі?

6.3 Хто є автором І-Х діаграми?

Література

Романков П.Г. Процессы и аппараты химической промышленности. - Ленинград.: Химия, 1989

### **Інструкція для виконання практичної роботи № 12**

Тема: Розрахунки дробильно-розмолювальних машин

1 Мета: Ознайомитись з основними формулами, що застосовуються при розрахунках дробильно-розмолювальних машин.

2 Матеріально – технічне та навчально – методичне забезпечення:

2.1 Інструкція для виконання роботи

2.2 Обчислювальна техніка

3 Теоретичні відомості

Подрібнення являє собою процес механічного розподілу твердих тіл на частини. В результаті подрібнення збільшується поверхня оброблюваних матеріалів, що дозволяє значно прискорити розчинення, хімічну взаємодію, виділення біологічноактивних речовин із подрібненого матеріалу.

Подрібнення може бути допоміжним процесом для процесів розчинення, екстракції, сушіння, які проходять швидше й повніше при великій поверхні твердих тіл. У цьому випадку подрібнений матеріал відіграє роль напівфабрикату, його можна використати для виробництва екстрактів, настоек, таблеток. Подрібнення може бути основним процесом для одержання готового продукту. У цьому випадку технологічна схема одержання подрібненого продукту складає:

1 Подрібнення матеріалу;

2 Ситова класифікація;



### 3 Змішування.

Подрібнення характеризується ступенем подрібнення  $i$  - відношення розміру  $D$  шматків матеріалу до розміру  $d$  шматків матеріалу після подрібнення:

$$i = \frac{D}{d} \quad (12.1)$$

Залежно від розміру шматків вихідного матеріалу й кінцевого продукту розрізняють два типи подрібнення: 1) подрібнення; 2) розмелювання .

Матеріал, що подрібнюється повинен мати відносну вологість, тому що для подрібнення вологого продукту витрачається багато енергії й часу.

Оптимальну кількість обертів валу дробилки знаходять за формулою:

$$n = 665 \cdot \sqrt{\frac{\operatorname{tg} \alpha}{s}} \quad (12.2)$$

де  $\alpha$  – кут захвату;

$s$  – довжина ходу рухомої щоки дробилки.

Теоретичну продуктивність розраховують за формулою:

$$Q = 0,15 \cdot \mu \cdot d_{\text{нв}} \cdot s \cdot b \cdot n \cdot \rho \quad (12.3)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт розпушування матеріалу;

$s$  – довжина ходу рухомої щоки дробилки;

$d_{\text{ср}}$  – середній діаметр шматків подрібнюючого матеріалу;

$n$  – оптимальна кількість обертів валу дробилки;

$\rho$  – густина матеріалу;

$b$  – довжина випускної щіли дробилки.

Потрібна кількість дробилок розраховують за формулою:

$$m = \frac{Q_1}{Q_2} \quad (12.4)$$

де  $Q_2$  – теоретична продуктивність;

$Q_1$  – фактична продуктивність.

## 4 Хід роботи

### 4.1 Завдання 1

Визначити необхідну кількість щокочових дробилок для подрібнення колчедану при  $Q = 31$  т/год. Середній діаметр шматків подрібненого чого матеріалу  $d_{\text{ср}} = 44$  мм, коефіцієнт розпушування матеріалу  $\mu = 0,28$ , густина матеріалу  $\rho = 4600$  кг/м<sup>3</sup>. Довжина випускної щіли дробилки  $b = 400$  мм, довжина ходу рухомої щоки дробилки  $s = 25$  мм, кут захвату  $\alpha = 17^\circ$ .

### 4.2 Завдання 2

Визначити продуктивність та потужність барабанного грохоту діаметром  $D=1,2$  м, довжиною барабана  $L=3$  м, якщо маса грохоту  $m_r = 3500$  кг, маса матеріалу  $m_m = 100$  кг, насипна маса  $\rho = 1450$  кг/м<sup>3</sup>. Коефіцієнт розпушування матеріалу  $\psi = 0,65$ . Кут нахилу грохота к горизонталі  $\alpha = 4^\circ$ . Висота шару матеріалу в барабані  $h_{\text{ш}} = 50$  мм

## 5 Висновки

### 6 Контрольні питання

6.1 Дати визначення дробильно-розмолювальним машинам.

6.2 Для чого призначені дробильно-розмолювальні машини?

6.3 За якою формулою визначається необхідна кількість дробилок?

6.4 За якою формулою визначається потужність електродвигунів, які необхідно встановити на дробилки?

### 6.5 Розв'язання задачі

Визначити необхідну кількість щокочових дробилок для подрібнення колчедану при  $Q = 33$  т/год. Середній діаметр шматків подрібненого чого матеріалу  $d_{\text{ср}}$  м, коефіцієнт розпушування матеріалу  $\mu$ , густина матеріалу  $\rho$  кг/см<sup>3</sup>. Довжина випускної щіли дробилки  $b=0,4$  мм, довжина ходу рухомої щоки дробилки  $s=0,025$  мм, кут захвату  $\alpha$ .

Таблиця 1 2.1

№вар	1, 11	2,12	3,13	4,14	5,15	6,16	7,17	8,18	9,19	10,20
$d_{cp}$	0,032	0,03	0,045	0,04	0,02	0,03	0,025	0,045	0,02	0,025
$\mu$	0,25		0,3		0,4		0,45		0,5	
$\rho$	4700		4750		4800		4850		5100	
$\alpha$	16		18		20		15		22	

## Література

Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. –Москва.: 1968. С. 57-58.