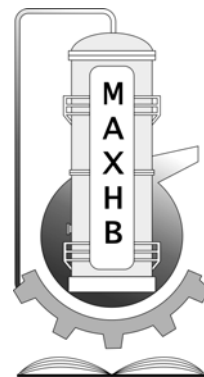


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»



АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ЗРОШУВАЛЬНОГО ТЕПЛООБМІННИКА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ

для студентів спеціальності
«Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»

Київ-2008

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

До 70-річчя інженерно-хімічного факультету
і 80-річчя кафедри машин та апаратів
хімічних і нафтопереробних виробництв

АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ЗРОШУВАЛЬНОГО ТЕПЛООБМІННИКА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ

для студентів спеціальності
«Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»

Київ
НТУУ «КПІ»
2008

Алгоритм розрахунку зрошувального теплообмінника: метод. вказівки до викон. практичної роботи для студентів спеціальності «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» (7.090220 і 8.090220) / Укл. : М. П. Швед, А. Р. Степанюк. – К. : НТУУ «КПІ», 2008. – 14 с..)

Навчальне видання

**АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ЗРОШУВАЛЬНОГО
ТЕПЛООБМІННИКА**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ

для студентів спеціальності
«Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»

Укладачі: *Швед Микола Петрович*, канд. техн. наук, доцент
Степанюк Андрій Романович, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний редактор *Я. М. Корнієнко*, д-р техн. наук, професор

Рецензент *О. Л. Сокольський*, канд. техн. наук, доцент

*За редакцією укладачів
Надруковано з оригінал-макета замовника*

ВСТУП

Зрошувальні теплообмінники досить широко використовують у хімічній технології. Здебільшого їх застосовують для охолодження рідин, що рухаються всередині труб, які зовні зрошуються водою. Ці холодильники складаються зі змійовиків, виконаних із прямих горизонтальних труб, які з'єднані між собою послідовно за допомогою калачів на фланцях, або за допомогою зварювання. Горизонтальні ділянки прямих труб розташовують одну під одною в секції (рисунок 1).

Вода, яка зрошує труби, надходить у жолоб 1, розташований над верхнім рядом труб 2, звідки рівномірно переливається на нижче розташовані труби і стікає по них у вигляді плівки. Після послідовного зрошення всіх труб вода збирається в піддоні 4 і виводиться з системи.

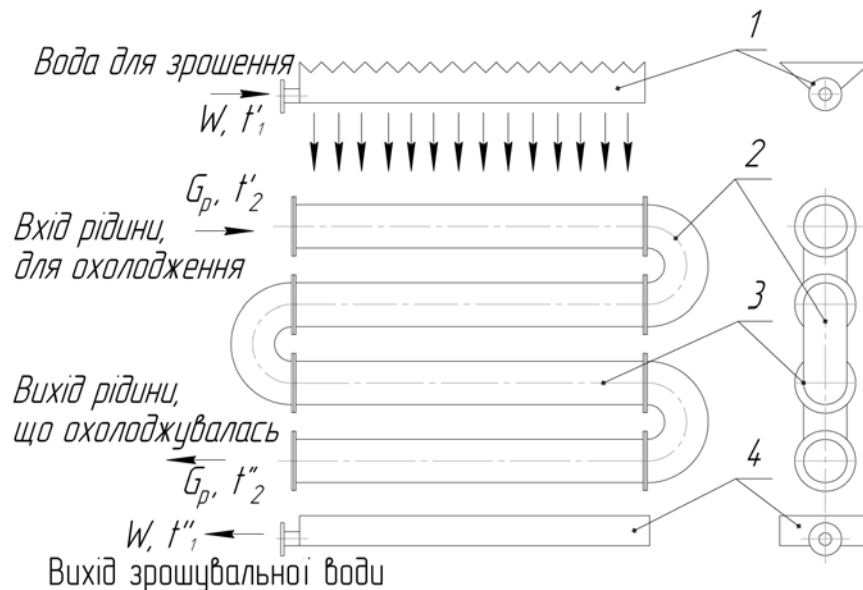


Рисунок 1. Схема теплообмінника

1 – ванна; 2 – коліно; 3 – труба; 4 – ванна.

Один-два відсотки води випаровується, що сприяє кращому відведенню теплоти (теплота затрачається на випарювання) і приводить до менших витрат води, чим у теплообмінниках інших типів. Як правило, такі

холодильники встановлюються на відкритому повітрі, вони прості у виготовленні, ремонті та експлуатації, через що їх досить широко застосовують у хімічній, нафтопереробній та содовій галузях промисловості. Матеріал труб визначається властивостями рідини.

1. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЗРОШУВАЛЬНОГО ТЕПЛООБМІННИКА

Мета розрахунку – визначити необхідну поверхню теплопередачі, а по ній знайти загальну довжину труб, число рядів труб у секції та число секцій [1].

1.1 Тепловий баланс

Тепловий баланс складається для визначення теплового навантаження теплообмінника та витрат води для зрошення. В його основі лежить закон збереження енергії: прихід теплоти дорівнює витраті теплоти.

Тоді рівняння теплового балансу має вигляд:

$$Q_p + Q_2 = Q_3 + Q_4 + Q_5, \quad (1)$$

де Q_p – прихід теплоти із рідиною, що охолоджується, Дж;

Q_2 – прихід теплоти з водою, Дж;

Q_3 – витрати теплоти із рідиною, що охолоджується, Дж;

Q_4 – витрати теплоти з водою з піддона, Дж;

Q_5 – витрати теплоти на випаровування води, Дж.

Прихід теплоти.

1. Із рідиною, що охолоджується:

$$Q_p = G_p c'_p t'_2, \text{ Дж}, \quad (2)$$

де G_p - витрати рідини, що охолоджується, кг/с;

c'_p - теплоємність рідини, що охолоджується, Дж/кг·град;

t'_2 - температура рідини, що охолоджується на вході і теплообмінник, К.

2. Фізична теплота, що поступає з водою:

$$Q_2 = W c'_e t'_1, \text{ Дж}, \quad (3)$$

де c'_e - теплоємність охолоджуючої води, Дж/кг·град.

t'_1 - температура охолоджуючої води на вході, К;

W - витрати охолоджуючої води, кг/с.

Витрати теплоти.

1. Із рідиною, що охолоджується:

$$Q_3 = G_p c''_p t''_2, \text{ Дж}, \quad (4)$$

де c''_p - теплоємність рідини, що охолоджується, Дж/кг·град;

t''_2 - температура рідини, що охолоджується на виході з теплообмінника, К.

2. З водою піддона:

$$Q_4 = 0,99 W c''_e t''_1, \text{ Дж}, \quad (5)$$

де c''_e - теплоємність охолоджуючої води, Дж/кг·град;

t''_1 - температура охолоджуючої води на виході, К.

3. Витрата теплоти на випаровування частини води, що зрошує труби:

$$Q_5 = 0,01 W r, \text{ Дж}, \quad (6)$$

де r - теплота пароутворення води, Дж/кг.

З рівняння теплового балансу (1) знаходимо дійсні витрати охолоджуючої води:

$$W = \frac{G_p c'_p t'_2 - G_p c'_p t''_2}{(0,99c'_e t'_1 + 0,01r) - c'_e t'_1}, \text{ кг} \quad (7)$$

Кількість теплоти відведеної від рідини, що охолоджується визначаємо по залежності:

$$Q_{\text{відс}} = G_p c_p (t'_2 - t''_2), \text{ Дж}, \quad (8)$$

Фізичні константи рідини, що охолоджується вибирають по довідниках при середній температурі \bar{t}_p :

$$\bar{t}_p = \frac{t'_2 + t''_2}{2}, \text{ К}. \quad (9)$$

Фізичні константи води для зрошення вибирають по довідниках при середній температурі плівки \bar{t}_{nl} :

$$\bar{t}_{nl} = \frac{t'_1 + t''_1}{2}, \text{ К}. \quad (10)$$

1.2 Розрахунок поверхні теплопередачі

Мета розрахунку – визначення поверхні теплопередачі.

В основі розрахунку лежить основне рівняння теплопередачі:

$$Q_{\text{відс}} = K_e F \Delta t_{cp} \varepsilon, \text{ Дж}, \quad (11)$$

де $Q_{\text{відс}}$ – кількість теплоти, відведеної від рідини, що охолоджується, Дж;

K_e – коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{град}$;

F – поверхня теплопередачі, м^2 ;

Δt_{cp} – середня різниця температур для протитечії, град;

ε – поправочний коефіцієнт, який враховує зменшення рушійної сили при перехресній течії теплоносіїв, в порівнянні з протитечією.

Тоді середня різниця температур для протитечії:

$$\Delta t_{cp} = \frac{(t'_2 - t''_2) - (t'_1 - t''_1)}{\ln\left(\frac{t'_2 - t''_1}{t''_2 - t'_1}\right)}. \quad (12)$$

Для визначення поправочного коефіцієнта ε спочатку знаходять допоміжні величини P та R :

$$R = \frac{t'_1 - t''_1}{t''_2 - t'_2}, \quad (13)$$

$$P = \frac{t''_2 - t'_2}{t'_1 - t'_2}. \quad (14)$$

а далі по рисунку 2, [3] знаходимо поправочний коефіцієнт ε .

Коефіцієнт теплопередачі K знаходимо по рівнянню:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}, \quad (15)$$

де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від рідини, що охолоджується до внутрішньої поверхні труби, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{град}$;

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні труби до стікаючої плівки води, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{град}$;

δ_{cm} – товщина стінки труби, м,

λ_{cm} – коефіцієнт теплопровідності стінки, приймаємо для сталі $\lambda_{cm} = 0,57 \text{ Вт/м} \cdot \text{град}$.

Коефіцієнт тепловіддачі від рідини, що охолоджується до внутрішньої поверхні труби розраховується по відповідному критеріальному рівнянню, а саме [3]:

для турбулентного режиму, коли $Re > 10000$:

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} Pr^{0,43}; \quad (16)$$

для перехідного режиму, коли $2300 < Re < 10000$:

$$Nu = 0,08 Re^{0,9} Pr^{0,43}; \quad (17)$$

для ламінарного режиму, коли $Re > 2300$:

$$Nu = 0,17 Re^{0,33} Pr^{0,43} Gr^{0,1}, \quad (18)$$

де Nu – критерій Нуссельта, який характеризує інтенсивність тепловіддачі на границі двох середовищ;

Re – критерій Рейнольдса, який характеризує режим руху рідини;

Pr – критерій Прандтля, який характеризує теплофізичні властивості рідини;

Gr – критерій Гросгофа, який характеризує співвідношення між гравітаційними та в'язкісними силами в потоці рідини.

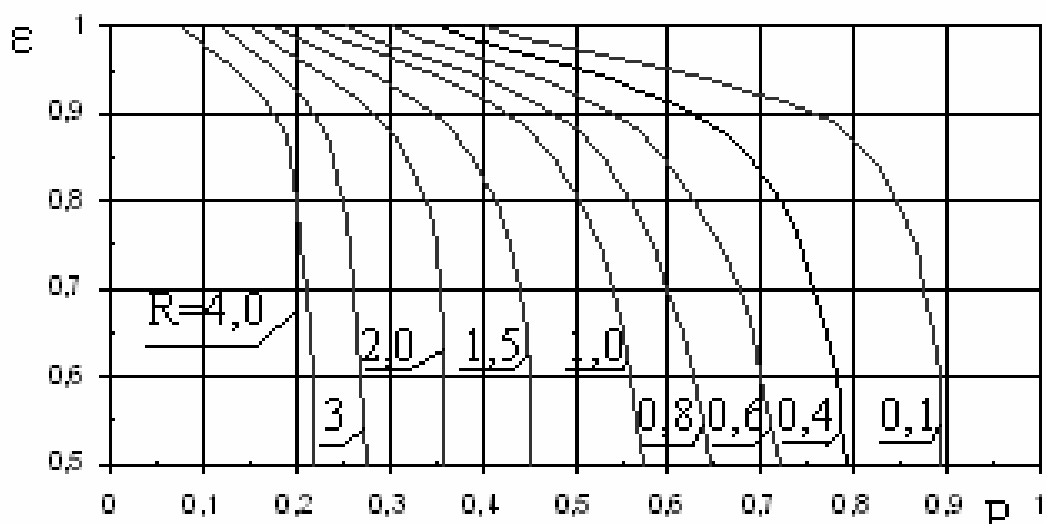


Рисунок 2. Графік для знаходження поправочного коефіцієнту ε

В вище приведених критеріях в якості характерного геометричного розміру l прийнято внутрішній діаметр труби d , а визначальна температура, по якій вибираються теплофізичні властивості рідини, що охолоджується – це її середня температура \bar{t}_p, K .

Критерій Рейнольдса визначається з залежності:

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{\text{вн}} \cdot \rho_p}{\mu}, \quad (19)$$

де ω – середня швидкість пропану в трубах, рекомендується приймають від 0,5 до 2,5 м/с приймаємо $\omega = 0,5$ м/с;

$d_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр труби, м;

ρ_p – густина зрідженого пропану, кг/м³;

μ – динамічна в'язкість зрідженого пропану, Па·с.

Критерій Прандтля визначається з залежності:

$$Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda_p}, \quad (20)$$

де λ_p – теплопровідність зрідженого пропану, Вт/м·град.

Критерій Гросгофа визначається з залежності:

$$Gr = \frac{g d^3 \rho_p^2}{\mu_p^2} \beta \Delta \bar{t}, \quad (21)$$

де β – коефіцієнт об'ємного розширення, 1/град;

$\Delta \bar{t}$ – різниця температур між стінкою та зрідженим пропаном °С.

Визначаємо величину коефіцієнта тепловіддачі з боку зрідженого пропану:

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda_p}{d_{\text{вн}}}, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}. \quad (22)$$

Розраховуємо коефіцієнт тепловіддачі α_1 з боку стікаючої плівки води.

Така плівка може стікати з труби на трубу ламінарно, ламінарно з хвилеутворенням або ж турбулентно. Ці режими характеризуються відповідним плівковим числом Рейнольдаса Re_{nl} :

для ламінарного режиму $Re_{nl} < 20...120$;

для ламінарного режиму з хвилеутворенням $Re_{nl} \cong (20...120)...1600$;

та турбулентного режиму $Re_{nl} > 1600$.

Плівкове число Рейнольдаса розраховується по критерію:

$$Re_{nl} = \frac{4\Gamma}{\mu_g}, \quad (23)$$

де μ_g – динамічна в'язкість води, $Па \cdot с$;

Γ – щільність зрошення, $кг/м \cdot с$.

Звідси щільність зрошення буде:

$$\Gamma = \frac{Re_{nl} \cdot \mu}{4}, \quad кг/м \cdot с, \quad (24)$$

Прийmemo, що плівка стікає в ламінарному режимі з хвилеутворенням, Такому режиму відповідає щільність зрошення $\Gamma \cong (0,004...0,025)...0,34$ $кг/м \cdot с$.

Для цього режиму критеріальне рівняння, яке описує процес тепловіддачі має вид [1]:

$$\alpha_1 = 245 \cdot (1 + 0,004 \cdot \bar{t}_{nl}) \frac{\Gamma^{0,23}}{d_3^{0,83}}, \quad Вт/м^2 \cdot град, \quad (25)$$

де d_3 – зовнішній діаметр труби, $м$.

Таким чином, після визначення коефіцієнтів тепловіддачі і коефіцієнту теплопередачі визначаємо поверхню теплопередачі:

$$F = \frac{Q_{\text{відв}}}{K \cdot \Delta t_{cp}}, \quad м^2. \quad (26)$$

Враховуючи, що плівка, яка стікає не завжди повністю і рівномірно зрошує їх поверхню труб приймаємо поверхню з запасом на 20...30%.

1.3 Конструктивний розрахунок

Мета розрахунку – по відомій поверхні теплопередачі визначити довжину, діаметр та кількість труб, що зрошується.

Загальна довжина труб:

$$L = \frac{F}{\pi \cdot d_s}, \text{ м.} \quad (27)$$

Оскільки сортамент труб, що випускається, регламентується по довжині 3; 4; 4,5; 6 м, при діаметрах 70...130 мм, то вибираємо з конструктивних міркувань довжину і діаметр труби. Наприклад, приймаючи, що середовище неагресивне, вибираємо матеріал, з якого виготовлено труби Ст3 ГОСТ380-94 далі по ГОСТ 3262-75 вибираємо трубу, з внутрішнім діаметром 0,1203 м та зовнішнім діаметром 0,1013 м,.

Розраховуємо число труб у секції теплообмінника:

$$n = \frac{L}{l_1}, \quad (28)$$

де l_1 – прийнята довжина труби теплообмінника, $l_1 = 6$ м.

Далі округлену кількість труб розбиваємо на секції (по $n_1 = 10...20$ труб у секції).

Тоді дійсне число труб у секції:

$$n_{mp} = \frac{n}{m}, \quad (29)$$

де – m кількість секцій. Як правило встановлюють $m=4, 6$ або 8 секцій.

Перевіряємо лінійну щільність зрошення. З огляду на те, що вода зливається із двох сторін труби щільність зрошення Γ дорівнює:

$$\Gamma = \frac{W}{2 \cdot l_1 \cdot t}, \text{ кг/м}\cdot\text{с}; \quad (30)$$

Якщо щільність зрошення відрізняється від прийнятого більше, чим на 5%, то робимо друге наближення розрахунку, округляючи кількість труб у секції до більшого цілого числа.

2. ЗАВДАННЯ

Розрахувати зрошувальний холодильник для охолодження зрідженого пропану, продуктивністю $G_p, \text{ кг/с}$. Температура зрідженого пропану на вході $t'_2, \text{ K}$, на виході $t''_2, \text{ K}$. Температура охолоджуючої води на вході (літо) $t'_1 = 300 \text{ K}$; на температуру виході $t''_1, \text{ K}$ приймаємо на 3-8 K нижче t'_1 . Труби сталеві, розміром 25x2 мм.

Таблиця 1 – Варіанти завдань

№	Масова продуктивність по зрідженому пропану, кг/с	№	Температура рідини на вході $t'_2, \text{ K}$	Температура рідини на виході $t''_2, \text{ K}$
1	2	1	345	320
2	3	2	340	318
3	4	3	335	316
4	5	4	330	314
5	6	5	325	312

Теплофізичні властивості середовищ для розрахунку вибираємо з таблиць відповідної літератури [3,4]. Для розрахунку на ЕОМ зручніше ці данні подавати у вигляді математичних функцій.

Наприклад для води:

$C_p(\text{кДж/кг}\cdot\text{К})=f(T(\text{К})):$	$C_p = 2\cdot 10^{-08} (T-273)^4 - 3\cdot 10^{-06} (T-273)^3 + 0,0003\cdot (T-273)^2 - 0,0101\cdot (T-273) + 4,305$
$\mu (\text{Па}\cdot\text{с})=f(T(\text{К})):$	$\mu = -3\cdot 10^{-09}\cdot (T-273)^3 + 6\cdot 10^{-07}\cdot (T-273)^2 - 4\cdot 10^{-05}\cdot (T-273) + 0,0017$
$r (\text{кДж/кг})=f(T(\text{К})):$	$r = -0,0023\cdot (T-273)^2 - 2,102\cdot (T-273) + 2491,6$
$\rho (\text{кг/м}^3)=f(T(\text{К})):$	$\rho = -0,0034\cdot (T-273)^2 - 0,0982\cdot (T-273) + 1001,4$
$\lambda (\text{Вт/м}\cdot\text{К})=f(T(\text{К})):$	$\lambda = -1\cdot 10^{-05}(T-273)^2 + 0,0026\cdot (T-273) + 0,5512$

Для зрідженого пропану:

$C_p(\text{кДж/кг}\cdot\text{К})=f(T(\text{К})):$	$C_p = -2\cdot 10^{-07}\cdot (T-273)^4 + 1\cdot 10^{-06}\cdot (T-273)^3 + 0,0001\cdot (T-273)^2 + 0,0064\cdot (T-273) + 2,4016$
$\mu (\text{Па}\cdot\text{с})=f(T(\text{К})):$	$\mu = 3\cdot 10^{-11}\cdot (T-273)^3 + 5\cdot 10^{-10}\cdot (T-273)^2 + 2\cdot 10^{-07}\cdot (T-273) + 9\cdot 10^{-05}$
$r (\text{кДж/кг})=f(T(\text{К})):$	$r = -1,4869\cdot (T-273) + 380,72$
$\rho (\text{кг/м}^3)=f(T(\text{К})):$	$\rho = 0,0002\cdot (T-273)^2 - 1,3665\cdot (T-273) + 526,65$
$\lambda (\text{Вт/м}\cdot\text{К})=f(T(\text{К})):$	$\lambda = 9\cdot 10^{-06}\cdot (T-273)^2 + 0,0005\cdot (T-273) + 0,0463$

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Татанайко Ю.М., Воронцов Е.Г. Методы расчета и исследования пленочных процессов. – Киев: Техніка. 1975. -312 с.
2. Чернобыльский И.И., Бондарь А.Г., Гаевский Б.А., Городинская С.А. и др. Машины и аппараты химических производств. Изд 3-е. – М. : 1975 – 456 с.
3. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А., Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – М. –Л. Химия, 1971, -444 с.
4. В.Л.Гурвиц, Н.П.Сосновский. Избирательные растворители в переработке нефти. М.,Л. Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1953, - 321 с.

Навчальне видання

**АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ
ЗРОШУВАЛЬНОГО ТЕПЛООБМІННИКА**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО КУРСУ
«ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ НАФТОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ»

для студентів спеціальності: «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»

Укладачі: Швед Микола Петрович
Степанюк Андрій Романович