

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Методичні вказівки
по виконанню розрахунково-графічної роботи

з дисципліни

«ПРОЕКТУВАННЯ, МОНТАЖ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТМОУ»

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
по спеціальності – 144 ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА
за освітньою програмою – Теплоенергетика та менеджмент
енергозбереження

ОДЕСА, 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Методичні вказівки
по виконанню розрахунково-графічної роботи
з дисципліни

«ПРОЕКТУВАННЯ, МОНТАЖ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТМОУ»

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
по спеціальності – 144 ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА
за освітньою програмою– Теплоенергетика та менеджмент
енергозбереження

«Затверджено» на засіданні
кафедри ТЕСЕТ
Протокол №10 от 22.03.2022 р.

ОДЕСА, 2022

Методичні вказівки по виконанню розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Проектування, монтаж та експлуатація ТМОУ» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти по спеціальності – 144 Теплоенергетика за освітньою програмою – Теплоенергетика та менеджмент енергозбереження./ Укл: Лужанська Г.В. Одеса, Національний університет «Одеська політехніка», 2022- 25 с.

Укладач: Лужанська Г.В. к.т.н., доц.

Рецензент: Баласанян Г.А. д.т.н., проф.

Методичні вказівки розроблені з метою забезпечення високого рівня знань майбутніх фахівців з Теплоенергетики та менеджменту енергозбереження в теплоенергетичній галузі в відповідності з робочою програмою початкової дисципліни та призначенні для набуття загальних та спеціальних компетентностей здобувачів, формування необхідних знань в процесі прийняття рішень при використанні тепломасобмінного обладнання, отриманих здобувачами під час теоретичних та практичних занять

Методичні вказівки розроблені для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм вчення по спеціальності – 144 Теплоенергетика за освітньою програмою – Теплоенергетика та менеджмент енергозбереження

Зміст

| | |
|--|----|
| ВСТУП..... | 4 |
| ЗАВДАННЯ НА РГР | 5 |
| 1. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК КОЖУХОТРУБНЕГО ТЕПЛООБМІННИКА..... | 6 |
| 2. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ПЛАСТИНЧАСТОГО ТЕПЛООБМІННИКА..... | 12 |
| ЛІТЕРАТУРА..... | 18 |
| ДОДАТОК А..... | 19 |
| Технічні характеристики водопідігрівачів..... | 19 |
| Номінальні габарити й приєднувальні розміри водопідігрівачів, мм | 20 |
| ДОДАТОК Б..... | 21 |
| Технічна характеристика пластин | 21 |
| ДОДАТОК В | 21 |
| Технічна характеристика й основні параметри пластинчастих теплообмінників | 21 |
| ДОДАТОК Г..... | 22 |
| Характеристики прокладок для пластин | 22 |
| ДОДАТОК Д..... | 22 |
| Технічні характеристики пластинчастих теплообмінників фірми «Альфа-Лаваль» | 22 |
| ДОДАТОК Е | 24 |
| Технічні характеристики пластинчастих теплообмінників фірми «СВЕП» | 24 |

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Проектування, монтаж та експлуатація ТМОУ» викладається протягом восьмого семестру четвертого курсу, складається з лекційних та практичних занять й входить у вибіркочу частину навчального плану підготовки першого (бакалаврського) рівня для спеціальності 144 Теплоенергетика (Теплоенергетика та менеджмент енергозбереження).

Мета дисципліни-дати майбутнім фахівцям необхідний обсяг знань, щодо вивчення нормативно-законодавчих актів України з тепломасообмінного обладнання, засвоєння методів розрахунків сучасних конструкцій, теплотехнічних схем, процесів та апаратів, вивчення правил монтажу та експлуатації ТМОУ та методів підвищення ефективності тепловикористання

Завдання дисципліни:

- вивчати сучасні види та типи тепломасообмінних апаратів
- оволодіти методиками розрахунку при проектуванні тепломасообмінних апаратів різного призначення
- сформуванати базові знання для монтажу тепломасообмінних апаратів для використання в промисловому та господарському секторі.
- вивчити особливості експлуатації ТМОУ, знати методи підвищення їх ефективності.

Мета розрахунково-графічної роботи – набуття загальних та спеціальних компетентностей здобувачів, формування необхідних знань в процесі прийняття рішень при використанні тепломасообмінного обладнання, отриманих здобувачами під час теоретичних та практичних занять. Під час виконання розрахунково-графічної роботи здобувач повинен показати уміння самостійної роботи, які пов'язані з визначенням головних факторів конструкторських розрахунків

ЗАВДАННЯ НА РГР

Більше 50% усього теплотехнічного обладнання, яке використовується на підприємствах, складають теплообмінні апарати. Теплообмін між теплоносіями є одним з найбільш важливих процесів, що часто використовується в техніці. Тому правильне обрання відповідного типу теплообмінника, оптимальних умов його експлуатації є важливою інженерною задачею.

Провести тепловий конструкторський розрахунок кожухотрубного та пластинчастого теплообмінного апарату, підключеного за схемою протитечії за наступних даних:

Q – продуктивність, МВт

t_1' - початкова температура води, що гріє, °С

t_1'' - кінцева температура води, що гріє, °С

t_2' - початкова температура води, що нагрівається, °С

t_2'' - кінцева температура води, що нагрівається, °С

Пояснити перевагу пластинчастих теплообмінників перед кожухотрубними

Склад розрахунково-графічної роботи:

1. Вступ
2. Завдання
3. Тепловий розрахунок кожухотрубного теплообмінного апарату
4. Тепловий розрахунок пластинчастого теплообмінного апарату
5. Висновки
6. Література

Вихідні дані (початок)

| Дано | Варіант 1 | Варіант 2 | Варіант 3 | Варіант 4 | Варіант 5 | Варіант 6 | Варіант 7 |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Q , МВт | 9 | 10 | 9,5 | 10,5 | 11 | 11,3 | 11,3 |
| t_1' , °С | 150 | 150 | 160 | 160 | 160 | 165 | 130 |
| t_1'' , °С | 90 | 90 | 100 | 105 | 100 | 110 | 85 |
| t_2' , °С | 5 | 5 | 5 | 5 | 7 | 7 | 7 |
| t_2'' , °С | 70 | 70 | 70 | 65 | 70 | 70 | 73 |
| Витрати, % | 5 | 5 | 5 | 6 | 6,5 | 6,5 | 7 |

Вихідні дані (закінчення)

| Дано | Варіант 8 | Варіант 9 | Варіант 10 | Варіант 11 | Варіант 12 | Варіант 13 | Варіант 14 |
|--------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Q , МВт | 10,2 | 11,7 | 8 | 9,7 | 8,5 | 9,2 | 9,8 |
| t_1' , °С | 130 | 140 | 140 | 135 | 135 | 150 | 165 |
| t_1'' , °С | 85 | 93 | 93 | 87 | 87 | 89 | 105 |
| t_2' , °С | 8 | 8 | 8 | 8 | 10 | 5 | 5 |
| t_2'' , °С | 73 | 73 | 75 | 75 | 75 | 70 | 71 |
| Витрати, % | 7 | 5,7 | 8 | 8 | 9 | 7 | 9 |

1. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК КОЖУХОТРУБНЕГО ТЕПЛОБМІННИКА

Кожухотрубні теплообмінники являють собою апарати, виконані з пучків труб, зібраних за допомогою трубних ґрат, і обмежені кожухами й кришками зі штуцерами. Трубний й міжтрубний простір в апараті роз'єднані, а кожне із цих просторів може бути розділене за допомогою перегородок на кілька ходів. Перегородки встановлюються з метою збільшення швидкості, отже, і інтенсивності теплообміну теплоносіїв. Горизонтальні секційні швидкісні водоподогрівачі за ГОСТ 27590 із трубною системою із прямих гладких або профільованих труб відрізняються тим, що для усунення прогину трубок установлюються двухсекторні опорні перегородки, що представляють собою частина трубних ґрат.

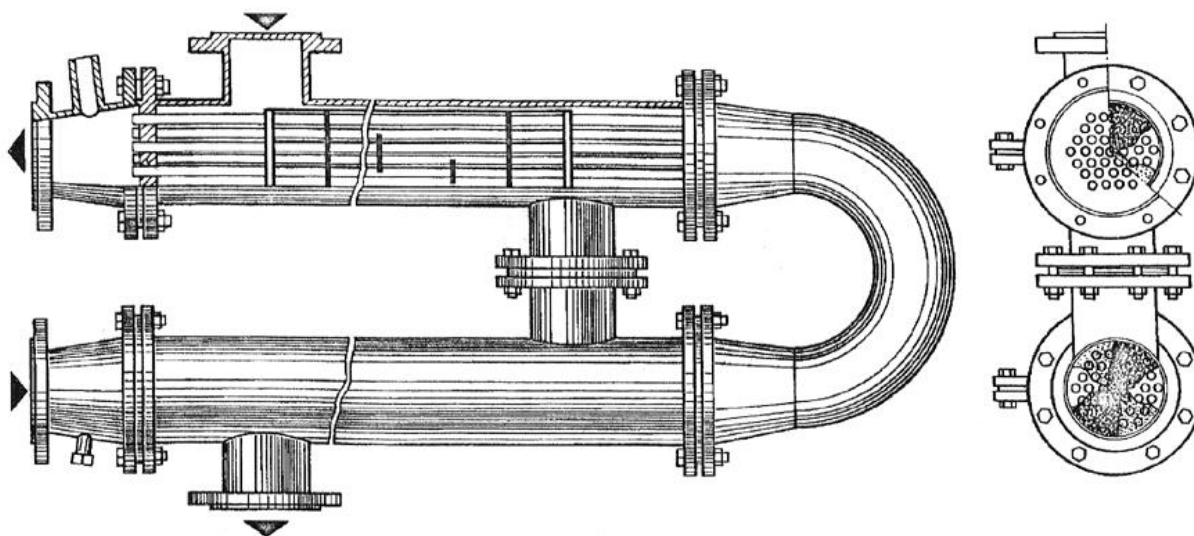


Рис. 1. Загальний вид горизонтального секційного кожухотрубного водоподогрівача

Така конструкція опорних перегородок полегшує установку трубок і їх заміну в умовах експлуатації, тому що отвори опорних перегородок розташовані соосно з отворами трубних ґрат.

Водонагрівачі складаються із секцій, які з'єднуються між собою калачами по трубному просторі й патрубками - по міжтрубному. Патрубки можуть бути різнимими на фланцях або нероз'ємними звареними. Залежно від конструкції водоподогрівача для систем гарячого водопостачання мають наступні умовні позначки: для різноміної конструкції із гладкими трубками - РГ, із профільованими - РП; для звареної конструкції - відповідно СГ, СП.

1). Визначаємо витрати води, що нагрівається та що гріє

Максимальна витрата води, що гріє, проходить по міжтрубному простору теплообмінника

$$G_1 = \frac{Q}{c_1 \eta (t_1' - t_1'')} \quad (1.1)$$

t_1' - початкова температура води, що гріє

t_1'' - кінцева температура води, що гріє

t_2' - початкова температура води, що нагрівається

t_2'' - кінцева температура води, що нагрівається

c_1 - теплоємність гріючої води за середньої температури $t_{1cp} = \frac{t_1' + t_1''}{2}$, приймається

по таблиці 1

c_2 - теплоємність води за середньої температури $t_{2cp} = \frac{t_2' + t_2''}{2}$, приймається по

таблиці 1

Таблиця 1 - Фізичні властивості води на лінії насичення

| t, °C | ρ , кг/м ³ | C, кДж/(кг*К) |
|-------|----------------------------|---------------|
| 0 | 999,9 | 4,212 |
| 10 | 999,7 | 4,191 |
| 20 | 998,2 | 4,183 |
| 30 | 995,7 | 4,174 |
| 40 | 992,7 | 4,174 |
| 50 | 988,1 | 4,174 |
| 60 | 983,2 | 4,179 |
| 70 | 977,8 | 4,187 |
| 80 | 971,8 | 4,195 |
| 90 | 965,3 | 4,208 |
| 100 | 958,4 | 4,220 |
| 110 | 951,0 | 4,233 |
| 120 | 946,1 | 4,250 |
| 130 | 934,8 | 4,266 |
| 140 | 926,1 | 4,287 |
| 150 | 917,0 | 4,313 |
| 160 | 907,4 | 4,346 |
| 170 | 897,3 | 4,380 |

Теплові втрати через недосконалість теплоізоляції для водонагрівачів відхиляються від 5 до 9%, тоді $\eta = 1 - (0,05...0,09)$

Довжина секції приймається 2 м.

Витрати води, що нагрівається:

$$G_2 = \frac{Q}{c_2 \eta (t_2'' - t_2')} \quad (1.2)$$

2). Для вибору необхідного типорозміру водопідігрівача попередньо задаємося оптимальною швидкістю води $\omega_{mp} = 1 \frac{M}{c}$, що нагрівається, у трубках, визначаємо необхідний перетин трубок $f_{тр}^{усл}$ о формулі:

$$f_{mp}^{усл} = \frac{G_2}{2 \cdot \omega_{mp} \cdot \rho_2} \quad (1.3)$$

Відповідно до отриманої величини $f_{тр}^{усл}$ по додатку А вибираємо необхідний типорозмір водопідігрівача

2 Характеристики підібраного кожухотрубного теплообмінника заносимо до таблиці

Таблиця 2

| Величина | Позначення | Од. вимір. | Значення |
|---|----------------------|-------------------|----------|
| Зовнішній діаметр корпусу секції | D_3 | мм | |
| Число трубок у секції | n | шт | |
| Площа перерізів міжтрубного простору | $f_{мтр}$ | M^2 | |
| Площа перерізу трубок | $f_{тр}$ | M^2 | |
| Еквівалентний діаметр міжтрубного простору | $d_{екв}$ | м | |
| Коефіцієнт теплопровідності трубок | $\lambda_{ст}$ | Вт/(м \cdot °C) | |
| Поверхня нагрівання однієї секції (довжина секції – 2м) | $f_{сек}$ | M^2 | |
| Розмір трубки | $\frac{d_3}{d_{вн}}$ | мм | |

3) Для вибраного типорозміру водопідігрівача визначаємо фактичні швидкості води в трубках та міжтрубному просторі кожного водопідігрівача при двопотоковому компонуванні за формулами:

$$\omega_{mp} = \frac{G_2}{2 f_{mp} \rho_2}$$

$$\omega_{мтр} = \frac{G_1}{2 f_{мтр} \rho_1}$$

4). Коефіцієнт тепловіддачі від гріючої води до стінки трубки $\alpha_1 \frac{Bm}{M^2 \cdot ^\circ C}$

$$\alpha_1 = 1,16 \left[1210 + 18 t_{1cp} - 0,038 t_{1cp}^2 \right] \frac{\omega_{мтр}^{0,8}}{d_{екв}^{0,2}} \quad (1.5)$$

Еквівалентний діаметр міжтрубного простору, м, приймається по Додатку А.

5). Коефіцієнт теплопередачі від стінки трубки до води, що нагрівається α_2 $Bm/m^2 \cdot ^\circ C$ визначається по формулі

$$\alpha_2 = 1,16 \left[1210 + 18t_{2cp} - 0,038t_{2cp}^2 \right] \frac{\omega_{mp}^{0,8}}{d_{вн}^{0,2}} \quad (1.6)$$

6). Коефіцієнт теплопередачі водопідігрівача k , $Bm/m^2 \cdot ^\circ C$ визначаємо, як:

$$k = \frac{\psi\beta}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}}}$$

де ψ - коефіцієнт ефективності теплообміну, для гладкотрубного теплообмінника із блоком опорних перегородок $\psi = 1,2$;

β - коефіцієнт, що враховує забруднення поверхні труб залежно від хімічних властивостей води, $\beta = 0,9$.

$$\delta_{cm} = 0,001m$$

7). При заданій величині розрахункової продуктивності водопідігрівача визначається необхідна поверхня нагрівання водопідігрівача

$$F = \frac{Q}{k\Delta t} \quad (1.8)$$

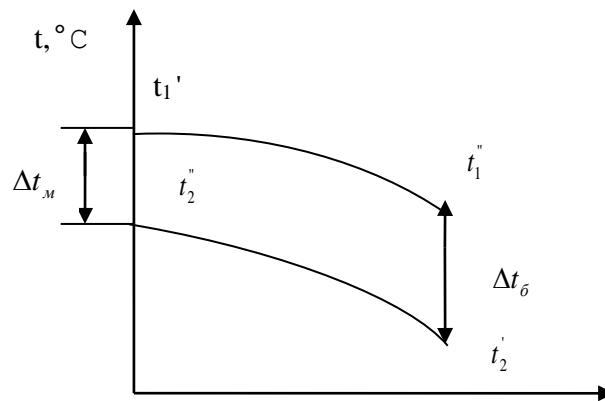


Рис 2. Графік зміни температур теплоносіїв

де Δt - середньологарифмічний температурний напір, обумовлений, як:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_\delta - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_\delta}{\Delta t_m}} \quad (1.9)$$

8). Для обраного типу водопідігрівача при його двопотоковому компонованні число секцій водопідігрівача в одному потоці

$$N = \frac{F}{2f_{сек}} \quad (1.10)$$

Площа однієї секції $f_{сек}$ - по додаткові А

Дійсна площа теплообміну буде рівна

$$F_{\partial} = 2Nf_{сек} . \quad (1.11)$$

9). Втрати тиску ΔP , *кПа* у водопідігрівачі при прийнятій довжині секції 2м визначаємо за формулами::

для води, що нагрівається, проходить у гладких трубках:

$$\Delta P_H = 5\varphi \left(\frac{g}{f_{mp} \rho_2} \right)^2 N \quad (1.12)$$

де φ - коефіцієнт, що враховує накипеутворення (в межах від 2 до 3); приймаємо $\varphi = 2,2$

для води, що гріє, та проходить у міжтрубному просторі:

$$\Delta P_{gp} = B\omega_{mtp}^2 N \quad (1.13)$$

Коефіцієнт В приймаємо по таблиці 3

Таблиця 3 – Значення коефіцієнта В

| Зовнішній діаметр корпуса секції D_n , мм | Значення коефіцієнта В | |
|--|------------------------|----|
| | при довжині секції, м | |
| | 2 | 4 |
| 57 | 25 | 30 |
| 76 | 25 | 30 |
| 89 | 25 | 30 |
| 114 | 18 | 25 |
| 168 | 11 | 25 |
| 219 | 11 | 24 |
| 273 | 11 | 20 |
| 325 | 11 | 20 |

Конструктивні розміри отриманого теплообмінного апарата занесемо в таблицю 4 (усі розміри наведені в мм):

Таблиця 4- Розміри теплообмінника

| Зовнішній діаметр корпусу секції DN | D | $D1$ | $D2$ | d | dh | H | h | L | $L1$ | $L2$ | $L3$ |
|-------------------------------------|-----|------|------|-----|------|-----|-----|-----|------|------|------|
| | | | | | | | | | | | |

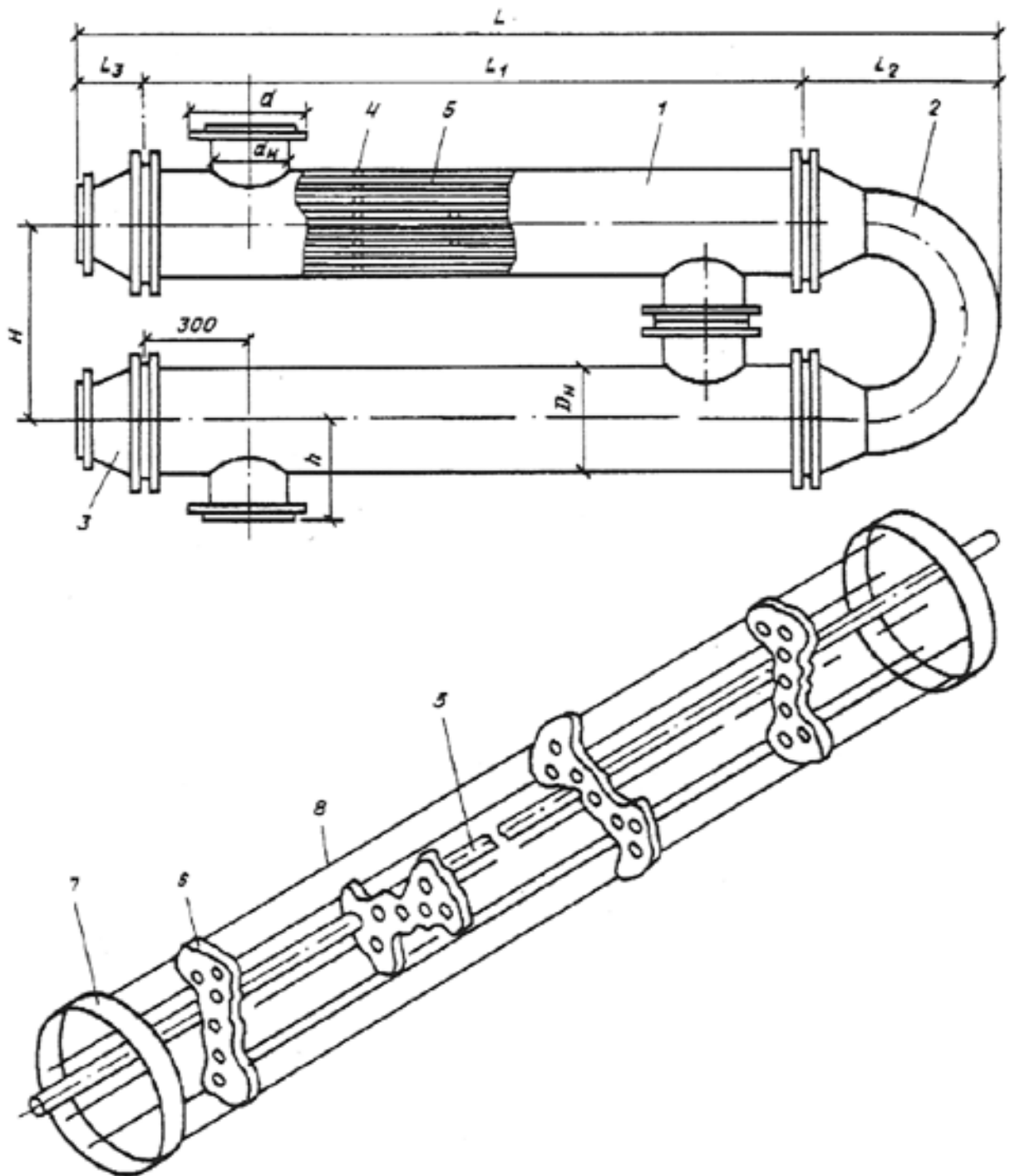


Рис. 3. Конструктивні розміри водопідігрівача
 1 - секція; 2 - калач; 3 - перехід; 4 - блок опорних перегородок;
 5 - трубки; 6 - перегородка опорна; 7 - кільце; 8 - пруток;

2. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНКИ ПЛАСТИНЧАСТОГО ТЕПЛООБМІННИКА

Пластинчасті теплообмінники бувають різних конструкції, застосовуються в основному, коли коефіцієнти теплообміну для обох теплоносіїв приблизно рівні. У цей час ці теплообмінники дуже компактні та по техніко – економічним і за експлуатаційними показниками перевершують більшість кожухотрубних теплообмінників. Однак експлуатувати ці апарати при понад високих тисках і температурах значно складніше у порівнянні з кожухотрубними.

Пластинчастий теплообмінник – апарат, поверхня теплообміну якого утворена з тонких штампованих пластин з гофрованою поверхнею, що утримуються разом у рамі.

Головними вимогами до вдосконалення теплообмінного обладнання є енергозбереження, зменшення металоємності та габаритних розмірів теплообмінників, підвищення надійності.

За принципом дії пластинчасті теплообмінники відносять до поверхневих рекуперативних апаратів. В таких пристроях теплота передається від нагрівачого потоку середовища до потоку середовища, що нагрівається, через тверду стінку, яка їх поділяє.

Теплообмінник пластинчастий - пристрій, в якому здійснюється передача теплоти від гарячого теплоносія до холодної (нагрівається) середовищі через сталеві, мідні, графітові, титанові гофровані пластини, які стягнуті в пакет. Гарячі і холодні шари переміщуються один з одним.

Основним елементом теплообмінника є теплообмінні пластини, виготовлені з корозійно-стійких сплавів товщиною 0,4 - 1,0 мм, методом холодного штампування.

У робочому положенні пластини щільно притиснуті одна до одної і утворюють вузькі канали. На лицьовій стороні кожної пластини в спеціальні канавки встановлена гумова контурна прокладка, що забезпечує герметичність каналів. Два з чотирьох отворів в пластині забезпечують підведення і відведення гріючого або охолоджуючого середовища до каналу. Два інших отвори, додатково ізольовані малими контурами прокладки запобігають змішуванню (перетіканню) середовищ. Для попередження змішування середовищ в разі прориву одного з малих контурів прокладки передбачені дренажні пази.

Незаперечною перевагою пластинчастих теплообмінників є їхнє значна поверхня нагріву за невеликих габаритах, у порівнянні з традиційними кожухотрубними. Іншими словами, за однакової теплової потужності, габарити трубчастого теплообмінника можуть бути в десятки разів більше, ніж пластинчастого. У цій бездоганній перевазі, звичайно ж, з'являються ще два непрямих чинника: мала металоємність, відповідно мала вага, а також розміри приміщення, у якому потрібно його встановити. Безумовно, більш компактний і легкий пристрій легше змонтувати в порівнянні з більш важким і громіздким. Крім того, вартісні показники в цьому випадку, так само виявляються на стороні компактного пластинчастого теплообмінника

Умовна позначка теплообмінного пластинчастого апарата: перші букви позначають тип апарата - теплообмінник Р (РС) розбірний (напівзварений); наступне позначення - тип пластини; цифри після тирі - товщина пластини, далі - площа поверхні теплообміну апарата (m^2), потім - конструктивне виконання (Додаток В), марка матеріалу пластини й марка матеріалу прокладки (Додаток Г).

Загальна конструкція пластинчастого теплообмінного апарата зображена на рис 4.

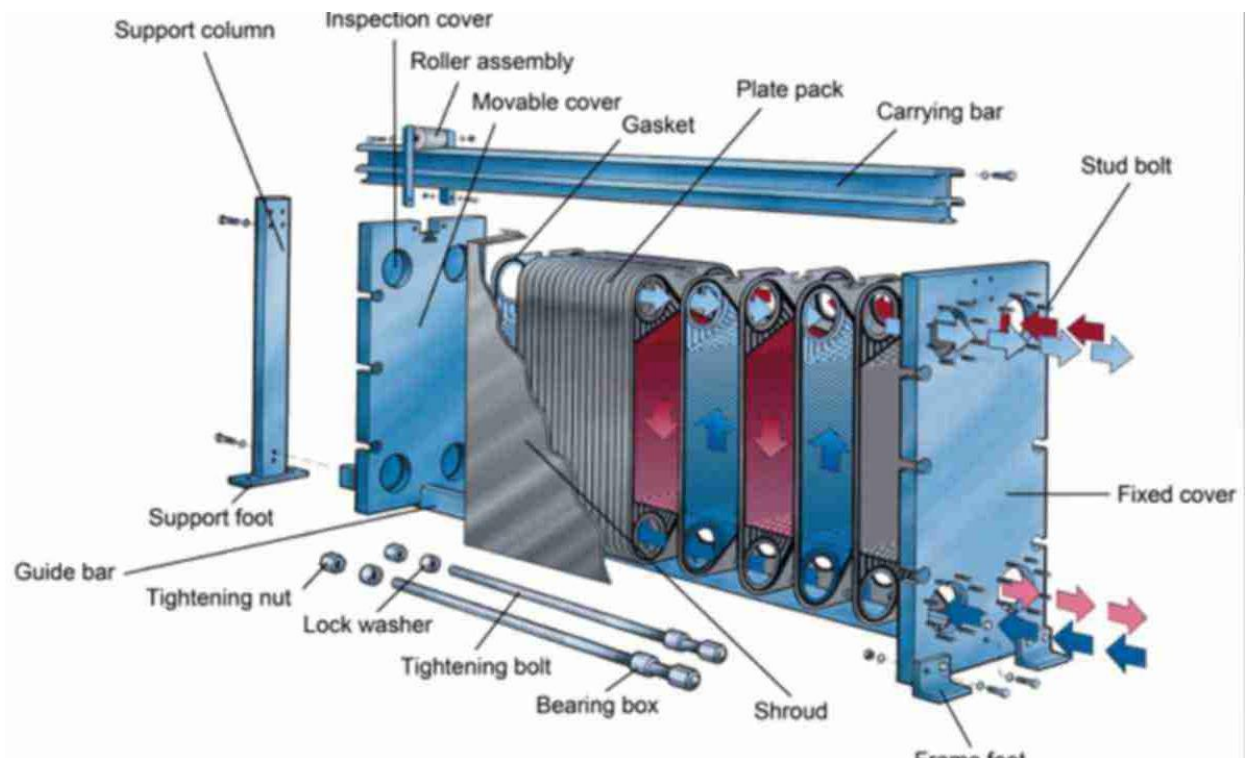


Рис. 4. Конструкція теплообмінного апарата

Розглядаються теплообмінники із трьома типами пластин – 0,3р, 0,6р і 0,5Пр. При високих тисках доцільніше застосування теплообмінників РС 0,5Пр, оскільки ці теплообмінники надійно працюють при робочому тиску до 1,6 МПа (16 кгс/см²).

1). Співвідношення числа ходів для води, що гріє і нагрівається, знаходиться за формулою:

$$\frac{X_1}{X_2} = \left(\frac{G_1}{G_2} \right)^{0,636} \cdot \left(\frac{\Delta P_{zp}}{\Delta P_{нагр}} \right)^{0,364} \cdot \frac{1000 - t_{2cp}}{1000 - t_{1cp}} \quad (2.1)$$

Для пластинчастого теплообмінника в більшості випадків приймається $\Delta P_{zp} = 40 \text{ кПа}$ та $\Delta P_{нагр} = 100 \text{ кПа}$.

Якщо отримане співвідношення ходів не перевищує 2, значить для підвищення швидкості води й, отже, для ефективного теплообміну доцільне симетричне компонування (рис 5), крім того існує ще й несиметрична компонування (рис 6)

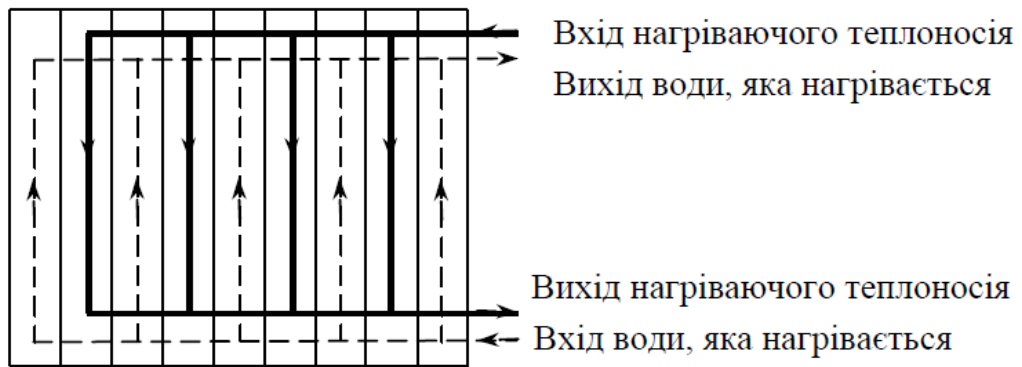


Рис. 5. Симетричне компонування пластинчастого водопідігрівача

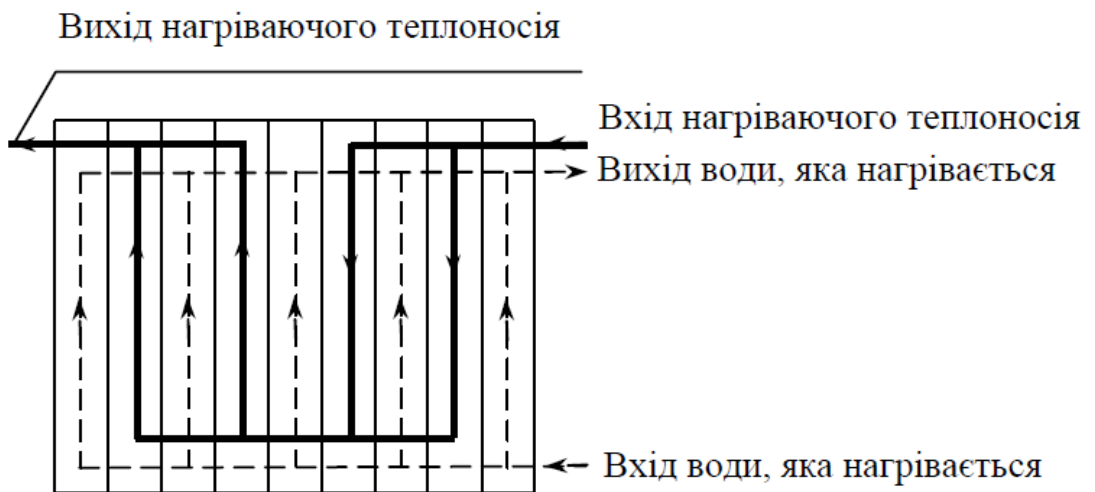


Рис. 6. Несиметричне компонування пластинчастого водопідігрівача

Виконання пластинчастого теплообмінника за кількістю ходів представлено на рис 7



Рис 7. Конструкція пластинчастого теплообмінника за кількістю ходів

- а) одноходове виконання
- б) двоходове виконання
- в) триходове виконання

2). При розрахунку пластинчастого теплообмінника оптимальна швидкість приймається, виходячи із втрат тиску 100-150 кПа, що відповідає швидкості води в каналах $w_{opt} = 0,4$ м/с. Тому після вибору типу пластини теплообмінника за значенням оптимальної швидкості визначають потрібну кількість каналів.

Основні технічні параметри пластини обраної пластини заносимо до таблиці 5

Таблиця 5

| Показник | Числове значення |
|--|------------------|
| Габарити (довжина x ширина x товщина), мм | |
| Поверхня теплообміну, кв. | |
| Вага (маса), кг | |
| Еквівалентний діаметр каналу, м | |
| Площа поперечного перерізу каналу, м ² | |
| Периметр, що змочується у поперечному перерізі каналу, м | |
| Ширина каналу, мм | |
| Зазор для проходу робочого середовища в каналі, мм | |
| Приведена довжина каналу, м | |
| Площа поперечного перерізу колектора | |
| Найбільший діаметр умовного проходу штуцера, що приєднується, мм | |
| Коефіцієнт загального гідравлічного опору | |
| Коефіцієнт гідр. опору штуцера | |
| Коефіцієнти: А Б | |

По оптимальній швидкості знаходимо необхідну кількість каналів по воді, що $m_{нагр}$ нагрівається :

$$m_{нагр} = \frac{G_1}{\omega_{opt} f_k \rho_1} \quad (2.2)$$

де f_k - живий перетин одного міжпластинчастого каналу. Щільність води і її витрата тут і при подальших розрахунках буде підставлятися з розрахунків, зроблених для кожухотрубного теплообмінника.

3). Компонування водопідігрівача симетрична, тобто $m = m_{гр} = m_{нагр}$ Загальний живий переріз каналів у пакеті по ходу води, що гріє і нагрівається:

$$f_{гр} = f_{нагр} = m_{нагр} \cdot f_k \quad (2.3)$$

4). Знаходимо фактичні швидкості води, що гріє і нагрівається, м/с

$$\omega_{2p} = \frac{G_1}{f_{2p} \rho_1} \quad (2.4)$$

$$\omega_{нагр} = \frac{G_2}{f_{нагр} \rho_2} \quad (2.5)$$

5). Коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_1, \text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ від води, що гріє, до стінки пластини визначається за формулою

$$\alpha_1 = 1,16A[23000 + 283t_{1cp} - 0,63t_{1cp}^2] \cdot \omega_{2p}^{0,73} \quad (2.6)$$

де А - коефіцієнт, що залежить від типу пластин (Додаток Б).

6). Коефіцієнт теплосприйняття $\alpha_2, \text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ від стінки пластини до води, що нагрівається, приймається за формулою

$$\alpha_2 = 1,16A[23000 + 283t_{2cp} - 0,63t_{2cp}^2] \cdot \omega_{нагр}^{0,73} \quad (2.7)$$

7). Коефіцієнт теплопередачі $k \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ визначається по формулі:

$$k = \frac{\beta}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}}} \quad (2.8)$$

де β - коефіцієнт, що враховує зменшення коефіцієнта теплопередачі через термічний опір накипу й забруднень на пластині, залежно від якості води приймається рівним 0,7-0,85. До розрахунку приймаємо $\beta=0,75$. Товщина пластини й коефіцієнт теплопровідності пластини для пластинчастих теплообмінників рівні відповідно

$$\delta_{cm} = 1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м}$$

$$\lambda_{cm} = 16 \text{ Вт}/\text{м} \cdot ^\circ\text{C}$$

8). Необхідна поверхня нагрівання

$$F_{mp} = \frac{Q}{k\Delta t} \quad (2.9)$$

9). Кількість ходів у теплообміннику:

$$X = \frac{F_{mp} + f_{nl}}{2mf_{nl}} \quad (2.10)$$

де f_{nl} - поверхня нагрівання однієї пластини, кв.м.

Число ходів округляється до цілої величини.

10). Дійсна поверхня нагрівання водопідігрівача:

$$F = (2mX - 1)f_{nl} \quad (2.11)$$

11). Втрати тиску ΔP кПа у водопідігрівачах слід визначати по формулах:
для води, що нагрівається

$$\Delta P_{нагр} = \varphi B (33 - 0,08t_{2cp}) \omega_{нагр}^{1,75} \cdot X \quad (2.12)$$

для води, що гріє

$$\Delta P_{cp} = \varphi B (33 - 0,08t_{1cp}) \omega_{cp}^{1,75} \cdot X \quad (2.13)$$

де φ -- коефіцієнт, що враховує накипівтворення, який для гріючої мережної води дорівнює одиниці, а для води, що нагрівається, повинен прийматися за досвідченими даними, за відсутності таких даних можна приймати $\varphi = 1,5 - 2$. До розрахунку приймаємо $\varphi = 1,5$

B - коефіцієнт, що залежить від типу пластини (Додаток Б)

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ EN 305-2001 Теплообмінники: Визначення експлуатаційних характеристик теплообмінників та загальна методика випробування для встановлення експлуатаційних характеристик усіх теплообмінників (EN 305:1997, IDT): Чинний від 2003-07-01 –К: Держспоживстандарт України, 2001, 16 с.
2. ДБН В. 2.5.-39:2008 «Теплові мережі». – К.: Мінбуд України, 2008. – 56с.
3. ДБН.В. 2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – К.: Мінбуд України, 2013. – 141 с.
4. Процеси і апарати харчових виробництв. Теплообмінні процеси: Підручник / В.С. Бойко, К.О. Самойчук, В.Г. Тарасенко, О.П. Ломейко. Мелітополь, 2020 300 с.
5. Теплотехнологічні процеси та установки на залізничному транспорті [Текст]: навчальний посібник / Є. В. Христян, І. В. Титаренко; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – 269 с.
6. Основні залежності та приклади розрахунків теплообмінних апаратів. [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів, які навчаються за напрямком „Машинобудування” спеціальність "Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів"/ НТУУ „КПІ”; уклад. Л.Г. Воронін, А.Р. Степанюк, Л.І. Ружинська,. - Київ : НТУУ „КПІ”, 2011 - 68 с.
7. Тепло- і масообмінні апарати та установки промислових підприємств: Навчальний посібник з курсового проектування та самостійної роботи студентів. / Б.А. Левченко, Р.Г. Акмен, Є.Г. Братута та ін; За ред. Б.А. Левченко -Х.: НТУ "ХПІ" ЧІ. -2002, 388 с
8. Теплообмінні процеси та обладнання хімічних та газонафтопереробних виробництв: Навч. посібник / А. П. Ворогів -Сумі: Університет. кн., 2006.-260 с
9. Єнін П.М., Швачко Н.А. Є 63 Теплопостачання (частина I “Теплові мережі та споруди”). Навчальний посібник. – К.: Кондор, 2007, – 244 с.
10. Дослідження роботи пластинчастого теплообмінника в системі опалення корпусу №22: Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи з курсів: «Основи теплотехніки», «Теплотехнічні процеси та установки», «Системи виробництва та розподілу енергії» для студентів спеціальностей: «Енергетичний менеджмент», «Електропостачання», «Екологія» / Укл.: В.І. Дешко, Т.О. Ринкова, В.П. Баб'як, Ж.Л. Новак –К.: ІВЦ „Видавництво «Політехніка»”, 2005.– 32 с.

ДОДАТОК А

Технічні характеристики водопідігрівачів

| Зовнішній діаметр корпусу секції D_n , м | Число трубок у секції n , шт, | Площа перетинів міжтрубного простору $f_{\text{мтр}}$, м ² | Площа перетину трубок $f_{\text{тр}}$, м ² | Еквівалентний діаметр міжтрубного простору $d_{\text{екв}}$, м | Поверхня нагрівання однієї секції $f_{\text{сек}}$, м ² , при довжині, м | | Теплова продуктивність $Q_{\text{сек}}^{SP}$, кВт, секції довжиною, м | | | | Маса, кг | | | | | |
|--|---------------------------------|--|--|---|--|-------|--|-----|-----|-----|--------------------|-------|--------------------|-------|----------|------|
| | | | | | | | Система із труб | | | | секції довжиною, м | | калacha, виконання | | переходу | |
| | | | | | гладких (виконання 1) | | профільованих (виконання 2) | | | | | | | | | |
| | | | | | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 1 | 3 | 1 | 2 |
| 57 | 4 | 0,00116 | 0,00062 | 0,0129 | 0,37 | 0,75 | 8 | 18 | 10 | 23 | 23,5 | 37,0 | 8,6 | 7,9 | 5,5 | 3,8 |
| 76 | 7 | 0,00233 | 0,00108 | 0,0164 | 0,65 | 1,32 | 12 | 25 | 15 | 35 | 32,5 | 52,4 | 10,9 | 10,4 | 6,8 | 4,7 |
| 89 | 10 | 0,00327 | 0,00154 | 0,0172 | 0,93 | 1,88 | 18 | 40 | 20 | 50 | 40,0 | 64,2 | 13,2 | 12,0 | 8,2 | 5,4 |
| 114 | 19 | 0,005 | 0,00293 | 0,0155 | 1,79 | 3,58 | 40 | 85 | 50 | 110 | 58,0 | 97,1 | 17,7 | 17,2 | 10,5 | 7,3 |
| 168 | 37 | 0,0122 | 0,00570 | 0,019 | 3,49 | 6,98 | 70 | 145 | 90 | 195 | 113,0 | 193,8 | 32,8 | 32,8 | 17,4 | 13,4 |
| 219 | 61 | 0,02139 | 0,00939 | 0,0224 | 5,75 | 11,51 | 114 | 235 | 150 | 315 | 173,0 | 301,3 | 54,3 | 52,7 | 26,0 | 19,3 |
| 273 | 109 | 0,03077 | 0,01679 | 0,0191 | 10,28 | 20,56 | 235 | 475 | 315 | 635 | 262,0 | 461,7 | 81,4 | 90,4 | 35,0 | 26,6 |
| 325 | 151 | 0,04464 | 0,02325 | 0,0208 | 14,24 | 28,49 | 300 | 630 | 400 | 840 | 338,0 | 594,4 | 97,3 | 113,0 | 43,0 | 34,5 |

Примітки

1 Зовнішній діаметр трубок 16 мм, внутрішній – 14 мм.

2 Теплова продуктивність визначена при швидкості води всередині трубок 1 м/с

Номинальні габарити й приєднувальні розміри водопідігрівачів, мм

| Зовнішній діаметр корпусу секції D_n , мм | D | D_1 | D_2 | d | dh | H | h | L | L_1 | L_2 | | L_3 по рис. А2 |
|--|-----|-------|-------|-----|------|-----|-----|------------|---------------|---------------------|-----|------------------|
| | | | | | | | | | | виконання по рис.А1 | | |
| | | | | | | | | | | 1 | 3 | |
| 57 | 160 | 45 | 145 | 145 | 45 | 200 | 100 | 2225; 4225 | 2000; 4000 | 133 | 146 | 70 |
| 76 | 180 | 57 | 160 | 160 | 57 | 200 | 100 | 2265; 4265 | | 143 | 176 | 80 |
| 89 | 195 | 76 | 180 | 180 | 76 | 240 | 120 | 2320; 4320 | | 170 | 217 | 85 |
| 114 | 215 | 89 | 195 | 195 | 89 | 300 | 150 | 2350; 4350 | | 210 | 250 | 90 |
| 168 | 280 | 114 | 215 | 245 | 133 | 400 | 200 | 2490; 4490 | | 310 | 340 | 140 |
| 219 | 325 | 168 | 280 | 280 | 168 | 500 | 250 | 2610; 4610 | | 415 | 450 | 150 |
| 273 | 390 | 219 | 335 | 335 | 219 | 600 | 300 | 2800; 4800 | | 512 | 600 | 190 |
| 325 | 440 | 219 | 335 | 390 | 273 | 600 | 300 | 2800; 4800 | | 600 | 600 | 190 |

Виконання 1

Виконання 3

Виконання 1

Виконання 2

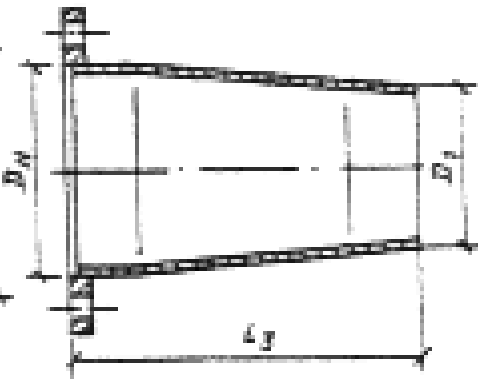
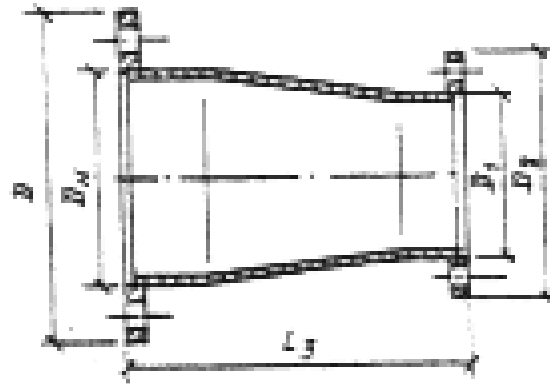
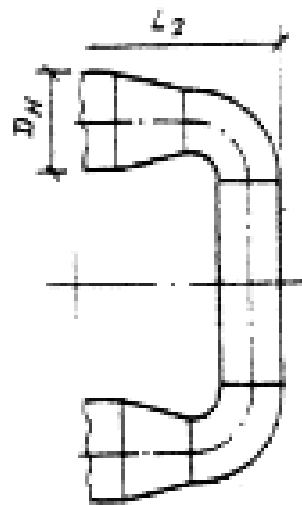
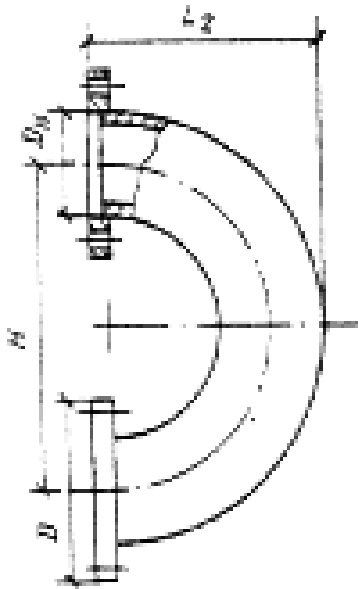


Рис. А1. Калач сполучний

Рис. А2. Перехід

ДОДАТОК Б

Технічна характеристика пластин

| Показник | Тип пластини | | |
|--|--------------------------|------------------------|------------------------|
| | 0,3р | 0,6р | 0,5Пр |
| Габарити (довжина × ширина × товщина), мм | 1370×300×1 | 1375×600×1 | 1380×650×1 |
| Поверхня теплообміну, м ² | 0,3 | 0,6 | 0,5 |
| Вага (маса), кг | 3,2 | 5,8 | 6,0 |
| Еквівалентний діаметр каналу, м | 0,008 | 0,0083 | 0,009 |
| Площа поперечного переріза каналу, м ² | 0,0011 | 0,00245 | 0,00285 |
| Що змочується периметр у поперечному перерізі каналу, м | 0,66 | 1,188 | 1,27 |
| Ширина каналу, мм | 150 | 545 | 570 |
| Зазор для проходу робочого середовища в каналі, мм | 4 | 4,5 | 5 |
| Наведена довжина каналу, м | 1,12 | 1,01 | 0,8 |
| Площа поперечного переріза колектора (кутовий отвір на пластині), м ² | 0,0045 | 0,0243 | 0,0283 |
| Найбільший діаметр умовного проходу, що приєднується штуцера, мм | 65(80) | 200 | 200 |
| Коефіцієнт загального гідравлічного опору | $\frac{19,3}{Re^{0,25}}$ | $\frac{15}{Re^{0,25}}$ | $\frac{15}{Re^{0,25}}$ |
| Коефіцієнт гідравлічного опору штуцера ξ | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| Коефіцієнти: | | | |
| <i>A</i> | 0,368 | 0,492 | 0,492 |
| <i>B</i> | 4,5 | 3,0 | 3,0 |

ДОДАТОК В

Технічна характеристика й основні параметри пластинчастих теплообмінників

| Показник | Тип пластини | | |
|--|------------------|------------------|-----------------------------|
| | 0,3р | 0,6р | 0,5Пр |
| Тип апарата | Розбірний | | Напіврозбірний |
| Витрата теплоносія, м ³ /рік. | 50 | 200 | 200 |
| Номінальна площа поверхні теплообмінника, м ² , та виконання на рамі: | | | |
| консольній | від 3 до 10 | від 10 до 25 | - |
| двоопорній | від 12,5 до 25 | від 31,5 до 160 | від 31,5 до 140 |
| триопорній з плитою | - | від 200 до 300 | від 160 до 320 |
| Розрахунковий тиск, МПа (кгс/см ²) | 1 (10) | 1 (10) | 1,6 (16) 2,5 (25) |
| Габарити теплообмінника, мм | 650 x 400 x 1665 | 605 x 750 x 1800 | 2570 x 650 x 1860 (3500) |

ДОДАТОК Г

Характеристики прокладок для пластин

| Умовна позначка прокладок | Марка матеріалу й технічні умови | Каучукова основа | Температура робочого середовища, °З |
|---------------------------|----------------------------------|--|-------------------------------------|
| 0 | Гума 359 (ТУ 38-1051023-89) | СКМС-30 і АРКМ-15 (бутадиенметилстирольний каучук) | Від -20 до + 80 |
| 1 | Гума 4326-Г (ТУ- 38-1051023-89) | СКН-18 (бутадиеннитрильний каучук) | Від -30 до +100 |
| 2 | Гума 51-3042 (ТУ 38-1051023-89) | СКЕПТ (етиленпропилендиеновий каучук) | До 150 |
| 3 | Гума 51-1481 (ТУ 38-1051023-89) | СКЕП (етиленпропилендиеновий каучук) | До 150 |
| 4 | Гума ІРП-1225 (ТУ 38-1051023-89) | СКФ-32 і ІСКФ-26 (фторирований каучук) | Від -30 до +200 |

ДОДАТОК Д

Технічні характеристики пластинчастих теплообмінників фірми «Альфа-Лаваль»



| Показник | Нерозбірні паяні | | | Розбірні з гумовими прокладками | | | |
|---|----------------------------|--|---------|---------------------------------|---------|----------|-----------|
| | CB-51 | CB-76 | CB-300 | M3-XFG | M6-MFG | M 10-BFG | M 15-BFG8 |
| Поверхня нагрівання пластини, м ² | 0,05 | 0,1 | 0,3 | 0,032 | 0,14 | 0,24 | 0,62 |
| Габарити пластини, мм | 50×520 | 92×617 | 365×990 | 140×400 | 247×747 | 460×981 | 650×1885 |
| Мінімальна товщина пластини, мм | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Маса пластини, кг | 0,17 | 0,44 | 1,26 | 0,24 | 0,8 | 1,35 | 29,5 |
| Обсяг води в каналі, л | 0,047 | 0,125 | 0,65 | 0,09 | 0,43 | 1,0 | 1,55 |
| Максимальне число пластин в установці, шт. | 60 | 150 | 200 | 95 | 250 | 275 | 700 |
| Робочий тиск, МПа | 3,0 | 3,0 | 2,5 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 |
| Максимальна температура, °С | 225 | 225 | 225 | 130 | 160 | 150 | 150 |
| Габарити установки, мм: | | | | | | | |
| ширина | 103 | 192 | 466 | 180 | 320 | 470 | 650 |
| висота | 520 | 617 | 1263 | 480 | 920 | 981 | 1885 |
| довжина, не більш | 286 | 497 | 739 | 500 | 1430 | 2310 | 3270 |
| « « менш | 58 | 120 | - | 240 | 580 | 710 | 1170 |
| Діаметр патрубків, мм | 24 | 50 | 65/100 | 43 | 60 | 100 | 140 |
| Стандартне число пластин | 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80 | 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150 | - | - | - | - | - |
| Маса установки, кг, при числі пластин: | | | | | | | |
| мінімальному | 5,2 | 15,8 | - | 38 | 146 | 307 | 1089 |
| максимальному | 15,4 | 73,0 | 309 | 59 | 330 | 645 | 3090 |
| Максимальна витрата рідини, м ³ /год | 8,1 | 39 | 60/140 | 10 | 54 | 180 | 288 |
| Втрати тиску при максимальній витраті, кПа | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м ² ·°С), при стандартних умовах | 7700 | 7890 | 7545 | 6615 | 5950 | 5935 | 6810 |
| Теплова потужність, кВт, при стандартних умовах | 515 | 2490 | 8940 | 290 | 3360 | 11480 | 18360 |

ДОДАТОК Е

Технічні характеристики пластинчастих теплообмінників фірми «СВЕП»



| Показник | Нерозбірні паяні | | | | | Розбірні з гумовими прокладками | | | | | |
|--|------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | B25 | B35 | B45 | B50 | B65 | G×6NI | G×12P | G×18P | G×26P | G×42P | G×51P |
| Поверхня нагрівання пластини, м ² | 0,063 | 0,093 | 0,128 | 0,112 | 0,270 | 0,070 | 0,120 | 0,180 | 0,275 | 0,450 | 0,550 |
| Маса пластини, кг | 0,234 | 0,336 | 0,427 | 0,424 | 1,080 | - | - | - | - | - | - |
| Обсяг води в каналі, л | 0,095 | 0,141 | 0,188 | 0,188 | 0,474 | - | - | - | - | - | - |
| Максимальне число пластин в установці, шт. | 120 | 200 | 200 | 250 | 300 | 100 | 160 | 160 | 450 | 450 | 450 |
| Робочий тиск, МПа | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 1,0 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 |
| Максимальна температура, °С | 185 | 185 | 185 | 185 | 185 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| Габарити установки, мм: | | | | | | | | | | | |
| ширина | 117 | 241 | 241 | 241 | 362 | 160 | 320 | 320 | 460 | 460 | 630 |
| висота | 524 | 392 | 524 | 524 | 864 | 745 | 840 | 1070 | 1265 | 1675 | 1730 |
| довжина, не більш | 317 | 518 | 518 | 670 | 790 | 500 | 1090 | 1090 | 3080 | 3080 | 3130 |
| Діаметр приєднувальних патрубків, мм | 25 | 40 | 65 | 65 | 100 | 25 | 50 | 50 | 100 | 100 | 150 |
| Маса установки при максимальному числі пластин, кг | 30,6 | 71,4 | 119 | 119 | 900 | 38* | 127* | 183* | 363* | 554* | 1138* |

| Показник | Нерозбірні паяні | | | | | Розбірні з гумовими прокладками | | | | | |
|--|------------------|------|-------|------|-------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | B25 | B35 | B45 | B50 | B65 | G×6NI | G×12P | G×18P | G×26P | G×42P | G×51P |
| Максимально ефективна теплова потужність, кВт, при параметрах теплоносія 150 - 80/105 - 70 °С и $\Delta P_{\text{нап}}$ не більш 150 кПа | 350 | 550 | 900 | 2200 | 6100 | 400 | 550 | 1500 | 3000 | 7300 | 15000 |
| Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м ² ·°С) | 5970 | 7880 | 6570 | 7820 | 7035 | 12920 | 9380 | 11550 | 10810 | 9500 | 11840 |
| Ефективне число пластин, шт. | 42 | 52 | 48 | 140 | 140 | 21 | 23 | 33 | 47 | 77 | 101 |
| Теплова потужність, кВт, при стандартних умовах | 450 | - | 1500 | - | 4100 | 430 | 750 | 1050 | - | 9500 | - |
| Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м ² ·°С), при стандартних умовах | 6210 | - | 6260 | - | 5150 | 7980 | 7080 | 7030 | - | 7320 | - |
| Ефективне число пластин, шт. (через дріб - число ходів) | 117/2 | - | 189/2 | - | 297/2 | 79/3 | 89/4 | 85/3 | - | 74/2 | - |