

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

**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» та «Екологія»
усіх форм навчання

Затверджено методичною радою НТУУ «КПІ»

Київ
«Політехніка»
2005

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.

Гриф надано Методичною радою НТУУ «КПІ»

(Протокол)

Укладачі: *В.І. Дешко*, д-р техн. наук, проф.
Т.О. Ринкова, канд. техн. наук, доц.
В.П. Баб'як, асистент
Ж.Л. Новак, магістр

Відповідальний редактор *І.Л. Шилевич*, канд. техн. наук, доц.

Рецензент *Г. М. Васильченко*, канд. техн. наук, доц.

Вступ

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи містять наступні структурні елементи:

- мету та завдання роботи;
- основні теоретичні відомості;
- опис експериментальної установки;
- заходи безпеки під час виконання лабораторної роботи;
- послідовність виконання роботи;
- обробка експериментальних даних;
- контрольні запитання;
- список рекомендованої літератури.

Послідовність виконання роботи складається з трьох етапів. На першому етапі необхідно підготуватись до проведення експерименту, вивчивши та занотувавши основні положення інструкції до лабораторної роботи (скласти протокол). Оформлений таким чином протокол, а також чітке усвідомлення мети роботи та послідовності її виконання, що перевіряється за контрольними запитаннями, свідчить про можливість переходу до іншого етапу роботи.

Другий етап роботи виконують у лабораторії відповідно до робочого завдання. Після цього етапу відповідно до результатів експерименту необхідно оформити звіт.

Третій етап передбачає:

- обробку експериментальних даних, отриманих в результаті проведення досліджень (всі розрахунки мають бути наведені у звіті, а графічні залежності, бажано, побудувати за допомогою програми EXCEL);
- аналіз результатів проведеної роботи та основні висновки.

Захист виконаної роботи та повністю оформленого звіту з лабораторної роботи здійснюють під час співбесіди з викладачем, який з'ясовує наскільки усвідомлено й самостійно працював студент.

1. Мета та основні завдання роботи

Мета роботи – закріпити знання, отримані в процесі вивчення курсів «Основи теплотехніки», «Тепломасообмін», «Теплотехнічні процеси та установки», «Системи виробництва та розподілу енергії», ознайомитись з принципом роботи пластинчастого теплообмінника в системі тепlopостачання, з методикою проведення досліджень.

Основні завдання роботи:

1. Визначити теплове навантаження пластинчастого теплообмінника та коефіцієнт теплопередачі в реальних умовах його експлуатації у тепловому пункті.
2. Зробити висновки щодо забруднення пластинчастого теплообмінника та подальшої його експлуатації, використовуючи два методи:
 - а) порівняння значення коефіцієнта теплопередачі, розрахованого за даними експерименту із коефіцієнтом теплопередачі, отриманим за паспортними даними фірми виробника (Alfa Laval);
 - б) співставлення гідравлічного опору пластинчастого теплообмінника, визначеного у ході дослідів із гідравлічним опором за паспортними даними для гарячого і холодного теплоносіїв.

2. Основні теоретичні відомості

2.1. Класифікація теплообмінних апаратів

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.

Теплообмінними апаратами або теплообмінниками називають обладнання, яке призначене для передачі теплоти від одного теплоносія до іншого для реалізації одного з теплових процесів – охолодження, нагрів, конденсація тощо. В якості теплоносіїв можуть використовуватися рідини, суміші та суспензії, пар або газ.

Традиційно теплоносій, який має більш високу температуру і який віддає тепло, називається гарячим або первинним теплоносієм, а сукупність поверхні апарата, де він діє – гарячою стороною. Відповідно теплоносій з більш низькою температурою, котрий сприймає тепло, називають холодним або вторинним та поверхню його дії – холодною стороною.

Теплообмінні апарати можна класифікувати за наступними ознаками:

- за засобом передачі теплоти;
- за призначенням;
- за типом поверхні теплообміну;
- за видом теплоносіїв та їх агрегатним станом;
- за компоновкою поверхні нагріву.

Враховуючи засіб передачі тепла, всі теплообмінники поділяються на поверхневі та контактні. В апаратах контактного типу передача теплоти відбувається через безпосередній контакт теплоносіїв. Теплообмінники цього класу підрозділяються на змішувальні та барботажні. У змішувальних апаратах відбувається змішування гарячого та холодного теплоносіїв з утворенням розчинів та сумішей. В барботажних апаратах гарячий теплоносій проходить крізь масу холодного теплоносія (або навпаки) та віддає теплоту.

Для теплообмінників поверхневого типу характерна наявність твердої поверхні нагріву, котра приймає безпосередню участь у передачі теплоти. Такі апарати прийнято поділяти на регенеративні та рекуперативні. В апаратах регенеративного типу поверхня нагріву (зазвичай ця поверхня називається насадкою) спочатку отримує тепло від гарячого теплоносія нагрівається. Далі, після

акумулювання тепла цією поверхнею, на неї спрямовують холодний теплоносіє, який відбирає тепло від нагрітої твердої поверхні (насадки).

В рекуперативних теплообмінниках поверхня теплообміну розділяє гарячу та холодну сторону, передаючи тепло теплопровідністю через себе.

Теплообмінні апарати поверхневого типу в залежності від взаємного руху потоків теплоносіїв поділяються на: прямоточні, протиточні, з перехресним та комбінованим током.

За видом теплоносіїв та їх агрегатним станом розрізняють рідинно-рідинні апарати, парорідинні, газорідинні, парогазові та газо-газові теплообмінники.

Крім того, за видом поверхні теплообміну теплообмінники поділяють на: трубчасті, пластинчасті, спіральні, змішувальні. Більш розширену класифікацію рекуперативних теплообмінних апаратів за конструкцією представлено на рис.1.

Крім цього, необхідно відмітити, що в середині кожного з перерахованих типів теплообмінних апаратів може існувати своя специфічна класифікація, котра найбільш часто пов'язана з конструктивним виконанням теплообмінника, типом теплоносія або його промисловим призначенням.

2.2. Пластинчасті теплообмінні апарати

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

Розрізняють два основні види пластинчастих теплообмінників за способом з'єднання пластин між собою – розбірні та паяні. Проте класифікацію цих апаратів можна провести ще за декількома ознаками:

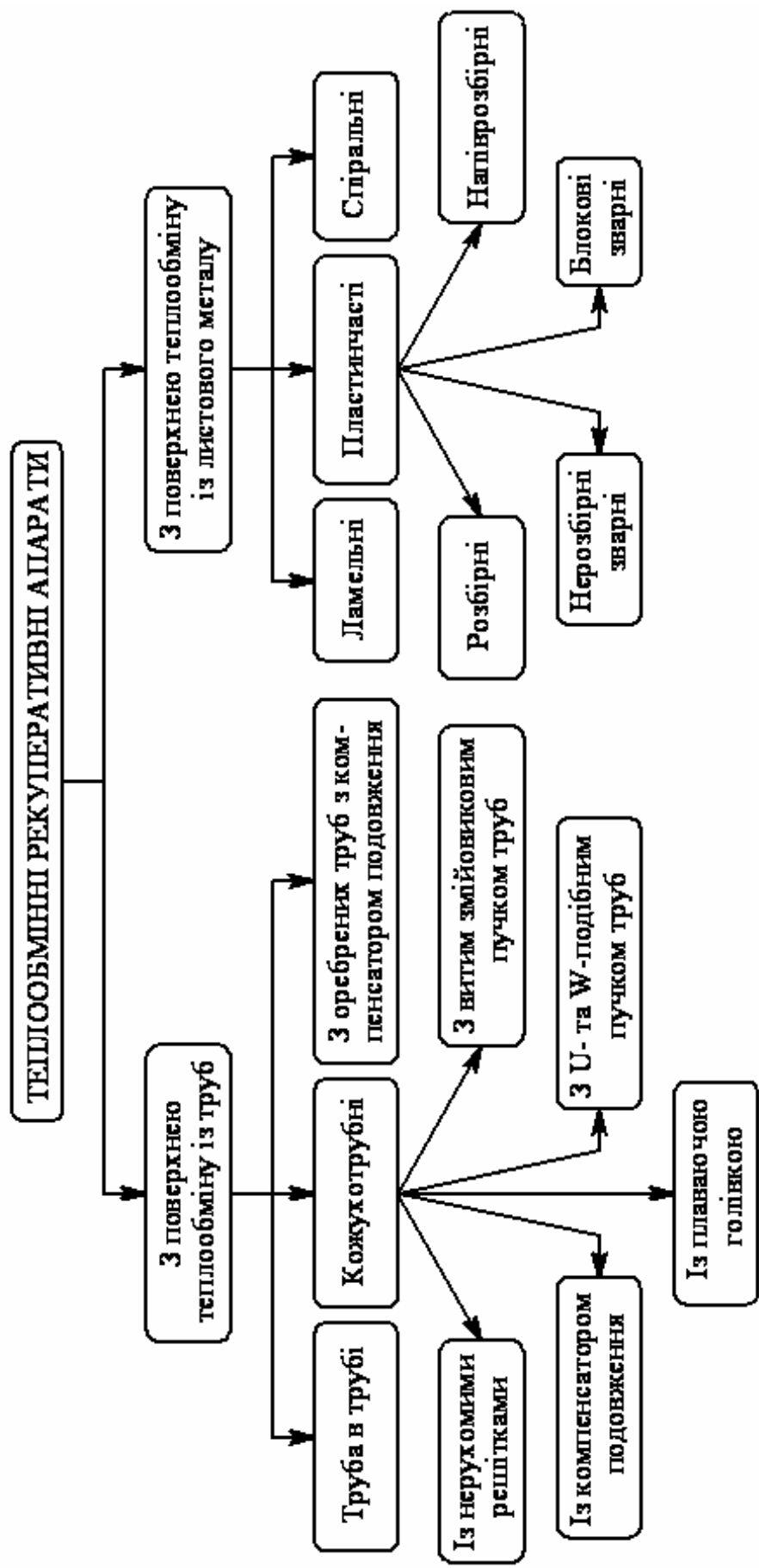


Рис. 1. Класифікація рекуперативних теплообмінних апаратів за конструкцією

- за шириною міжпластинних каналів: вузькоканальні та ширококанальні;
- за рухом потоків: протиточні, прямоточні та апарати з перехресним током;
- за кількістю ходів теплоносія: одноходові та багатходові;
- спеціальні парові пластинчасті теплообмінні апарати та випарні станції.

Паяні теплообмінні апарати мають пакет пластин, які спаяні між собою, утворюючи два канали для холодного та гарячого теплоносіїв, що беруть участь в процесі теплообміну. Особливість конструкції дозволяє використовувати їх при високих тисках теплоносіїв в процесі теплообміну, а також для агресивних середовищ. Перевагою цього типу пластинчастих теплообмінників є невелика вартість в порівнянні з розбірними апаратами. Основним недоліком паяних теплообмінників є неможливість їх легкого розбирання при забрудненні чи виходу з ладу, на відміну від розбірних.

Розбірний теплообмінник стандартної конструкції представлений на рис. 2, містить сукупність (пакет) гофрованих пластин (1), виготовлених із корозійностійкого матеріалу, які утворюють два канали, так само як і в паяних теплообмінниках. Пакет пластин містить у собі стільки пластин, стільки потрібно для забезпечення потрібної поверхні теплопередачі. На всіх пластинах є ущільнювальні прокладки (2), які забезпечують надійну ізоляцію каналів, а також визначають напрямок потоку усередині пластинчастого теплообмінника. Пакет пластин, прикріплений до верхньої (6) та нижньої (7) направляючих, розміщується між опорною (нерухомою) (3) і натискною (4) плитами, та стягнутий болтами (5). Стандартна опорна плита, як правило, має чотири приєднання, по два для входу та виходу теплоносіїв. Натискна плита може не мати приєднань або мати два, або чотири приєднання. Це обумовлено особливостями призначення апарата та його компоновкою. Використовують приєднання фланцевого або різьбового типу, в залежності від марки апарата та витрат теплоносіїв. В якості матеріалу плит, направляючих, болтів використовується вуглецева або оцинко-

вана сталь (наприклад сталь 09M2C). Матеріал пластин – нержавіюча сталь AISI316, AISI304, титан.

Кожна пластина має прокладку із термостійкої резини, яка ущільнює з'єднання та спрямовує різні потоки рідин у відповідні канали. При роботі пластинчастих теплообмінників змішування середовищ не повинно відбуватися. В залежності від властивостей теплоносія і параметрів роботи, в якості матеріалу прокладок використовують одну з наступних марок терморезини: NITRIL (максимальна робоча температура 125 °С), EPDM (максимальна робоча температура 150 °С), VITON (максимальна робоча температура 180 °С).

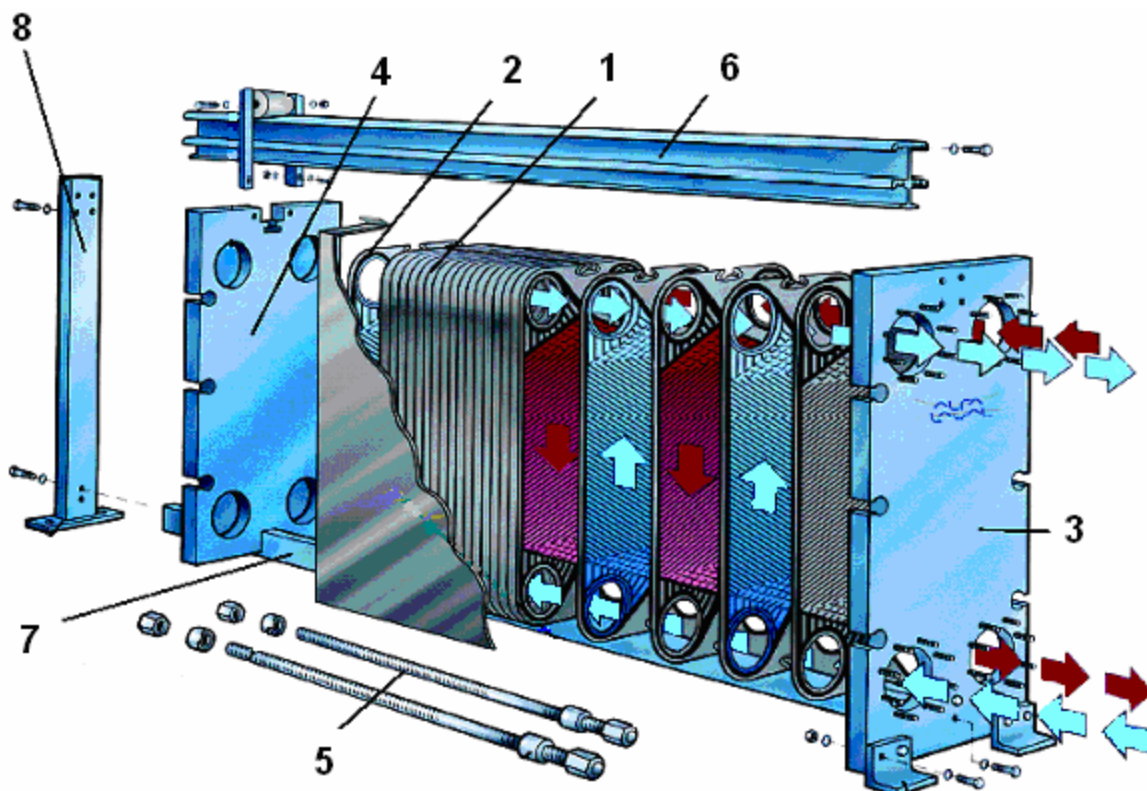


Рис. 2. Конструкція розбірних пластинчастих теплообмінників:

1 – пакет пластин; 2 – ущільнювальні прокладки на пластинах; 3 – нерухома плита; 4 – натискна плита; 5 – болтове чи шпилькове з'єднання; 6 – верхня направляюча; 7 – нижня направляюча; 8 – задня стійка.

Основний принцип дії пластинчастого теплообмінника полягає в наступному. Теплоносії, які беруть участь у процесі теплопередачі, надходять через колектори теплообмінника в канали, під якими розуміють герметичний простір, утворений двома пластинами. Прокладки між пластинами встановлені спеціальним чином, вони розподіляють кожен з теплоносіїв по каналах, забезпечуючи тим самим теплопередачу через стінку, що розділяє ці канали. Тип гофрування пластин, їх кількість та конфігурацію каналів підбирають з умов забезпечення оптимальності процесу теплообміну.

Розбірні пластинчасті теплообмінники дуже широко розповсюдженні, зокрема, у системах тепlopостачання та гарячого водopостачання. Вони випускаються різних типорозмірів, з різною поверхнею нагріву від 0,1 до 800 м². Завдяки гофруванню пластин та відповідно високою турбулізацією потоку рідини в каналах мають досить високий коефіцієнт теплопередачі – 3000 - 5000 ккал/(м² · год · °C).

До основних переваг використання розбірних пластинчастих теплообмінників можна віднести наступні:

- висока теплова ефективність;
- можливість швидкого перенастроювання шляхом додавання або зменшення кількості пластин в пакеті у межах наявної конструкції апарата;
- компактність та мінімальний простір для сервісного обслуговування;
- простота обслуговування, можливість швидкого розбирання та промивки розчином для чищення;
- менші капіталовкладення за рахунок меншої матеріалоемності, меншого простору та відсутності необхідності спеціального фундаменту для установки;
- ідентична геометрія каналів в сукупності з високим коефіцієнтом теплопередачі дозволяє зменшити витрату теплоносія, вартість труб, арматури, насосів тощо;

- високолегована сталь та синтетичний матеріал прокладок не забруднюють теплоносії.

Сфера застосування розбірних пластинчастих теплообмінників: опалення, вентиляція і кондиціонування, холодильна техніка, машинобудування, електростанції, компресорні і турбінні установки, цукрова промисловість, хімічна промисловість, фармацевтична промисловість, металургія, автомобільна промисловість. Крім того, можливе застосування розбірних пластинчастих теплообмінників у нафтовій, целюлозно-паперовій, текстильній, суднобудівній і іншій галузях промисловості.

2.3. Основні положення та рівняння теплового розрахунку

Теплові розрахунки теплообмінних апаратів можуть бути проектними та перевірочними.

Проектний (конструктивний) тепловий розрахунок виконується при проектуванні нових апаратів, метою розрахунку якого є визначення поверхні теплообміну.

Перевірочний тепловий розрахунок виконують у випадку, якщо відома поверхня нагріву теплообмінного апарата і треба визначити кількість переданого тепла та кінцеві температури робочих середовищ. Тепловий розрахунок теплообмінних апаратів зводиться до спільного рішення рівнянь теплового балансу й теплопередачі. Ці два рівняння лежать в основі кожного теплового розрахунку.

Рівняння теплового балансу. Зміна ентальпії теплоносія внаслідок теплообміну визначається за співвідношенням

$$dQ = G \cdot dh, \text{ Вт} \quad (1)$$

де h – питома ентальпія, Дж/кг;

G – масова витрата, кг/с.

Масову витрату знаходимо за залежністю:

$$G = V \cdot \rho, \quad (2)$$

де V – об'ємна витрата, m^3/c ;

ρ – густина теплоносія, $кг/м^3$.

Проінтегрувавши (1), приймаємо що масова витрата незмінна. Тоді кількість переданого тепла становитиме:

$$Q = G \cdot \int_{h'}^{h''} dh = G \cdot (h'' - h'), \quad (3)$$

де h' та h'' – питома початкова та кінцева ентальпії теплоносія.

Якщо тепло первинного (гарячого) теплоносія сприймається вторинним (холодним), то рівняння теплового балансу без урахування втрат тепла запишеться наступним чином:

$$dQ = -G_1 \cdot dh_1 = G_2 \cdot dh_2, \quad (4)$$

або

$$Q = G_1 \cdot (h_1' - h_1'') = G_2 \cdot (h_2'' - h_2') \quad (5)$$

Індекс 1 означає, що величина віднесена до гарячого середовища, а індекс 2 – до холодного. Позначення (') відповідає величині на вході в теплообмінник, а ('') – на виході.

Приймаючи, що $c_p = const$ та $dh = c_p dt$, попередні рівняння можна записати так:

$$dQ = G \cdot c_p dt, \quad (6)$$

$$Q = G_1 \cdot c_{p1} \cdot (t_1' - t_1'') = G_2 \cdot c_{p2} \cdot (t_2'' - t_2'). \quad (7)$$

Питома теплоємність c_p залежить від температури, тому в практичних розрахунках в рівняння (6) підставляється середнє значення ізобарної теплоємності в інтервалі температур від t' до t'' .

Рівняння теплопередачі використовується, частіше за все, для визначення поверхні теплообміну F та записується наступним чином:

$$Q = k \cdot \overline{\Delta t} \cdot F, \quad Вт \quad (8)$$

де k – коефіцієнт теплопередачі, $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$;

$\overline{\Delta t}$ – середній перепад температур, $^\circ C$;

F – величина поверхні теплопередачі, $м^2$.

При схемі руху теплоносіїв за прямою або протитоку температурний перепад визначається як середньо-логіфімічна різниця температур:

$$\overline{\Delta t} = \overline{\Delta t}_{Сер.Лог.} = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}} \quad (9)$$

де Δt_B та Δt_M – відповідно більша та менша різниці температур середовищ на кінцях поверхні теплообмінного апарата.

Для пластинчастого теплообмінника, у відповідності до температурного режиму, представленого на рис.3, більшою різницею температур буде більше значення, а меншою різницею – менше значення, які були отримані в результаті розрахунку двох різниць температур на кінцях поверхні пластинчастого теплообмінника за наступними формулами:

$$\Delta t' = t_1'' - t_2' \quad (10)$$

$$\Delta t'' = t_1' - t_2'' \quad (11)$$

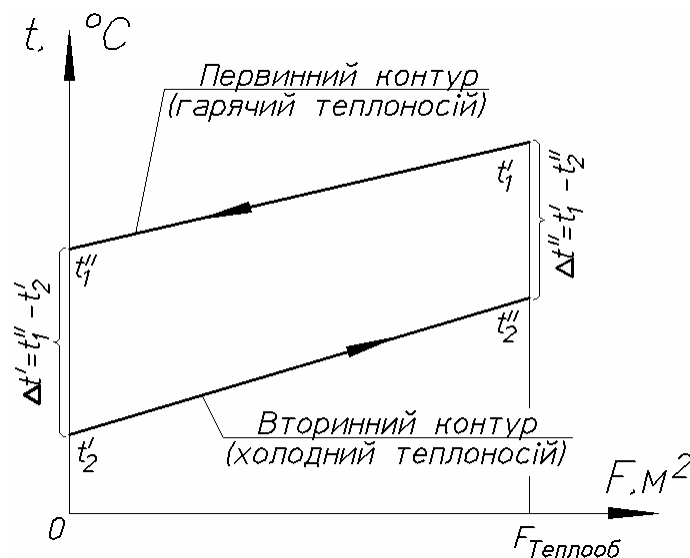


Рис. 3. Температурний графік теплообмінника типу „рідина-рідина”

2.4. Основні положення та рівняння гідравлічного розрахунку

Втрати тиску на подолання опору сил тертя та місцевих опорів визначаються за формулою:

$$\Delta P = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \sum \xi_{M.O.} \right) \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}, \quad (12)$$

де λ – коефіцієнт тертя;

l та d_E – відповідно довжина та еквівалентний діаметр трубопроводу, м;

$\sum \xi_{M.O.}$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів;

ρ – густина рідини, кг/м³;

w – швидкість рідини, м/с.

Еквівалентний діаметр, що дорівнює внутрішньому діаметру трубопроводу, тобто: $d_E = d_{BH}$.

Швидкості гарячого або холодного теплоносія, з якими вони рухаються по трубопроводу, можна знайти за формулою:

$$w = \frac{4 \cdot V}{3600 \cdot \pi \cdot d_{BH}^2}, \quad (13)$$

де V – об'ємна витрата теплоносія, м³/год.

Формули для розрахунку коефіцієнта тертя λ залежать від режиму руху рідини та шорсткості трубопроводу.

З курсу гідродинаміки при русі теплоносія у каналах розрізняють наступні режими руху рідини:

а) ламінарний режим ($Re < 2320$)

$$\lambda = \frac{A}{Re} \quad (14)$$

При цьому число Рейнольда (Re) знаходиться за відомою формулою:

$$Re = \frac{w \cdot d_{BH}}{\nu} \quad (15)$$

де w – швидкість рідини, м/с;

d_{BH} – внутрішній діаметр трубопроводу, м;

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості рідини, м²/с.

A – коефіцієнт, який залежить від форми перетину трубопроводу. При русі рідини у трубах він приймається $A = 64$.

б) турбулентний режим ($Re > 2320$)

При турбулентному русі рідини розрізняють три характерні зони, для яких коефіцієнт λ розраховують за наступними формулами.

1) зона гладкого тертя $\left(2320 < Re < 10 \cdot \frac{1}{e} \right)$

$$\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}} \quad (16)$$

2) зона змішаного тертя $\left(10 \cdot \frac{1}{e} < Re < 560 \cdot \frac{1}{e} \right)$

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(e + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad (17)$$

3) автомодельна зона $\left(Re > 560 \cdot \frac{1}{e} \right)$

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25} \quad (18)$$

Причому відносна шорсткість труби (e) розраховується за формулою:

$$e = \frac{\Delta}{d_E} \quad (19)$$

де Δ – абсолютна шорсткість труби (середня висота виступів на шорсткості на поверхні труби), *м*.

Орієнтовні значення шорсткості труб Δ , згідно рекомендацій проф. Ю.І.Дитнерського, приведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Орієнтовні значення абсолютної шорсткості труб [2]

Труби	Δ , мм
Сталеві нові	0,06 – 0,1
Сталеві, бувші в експлуатації, з незначною корозією	0,1 – 0,2
Сталеві старі, забруднені	0,5 – 2
Чавунні нові; керамічні	0,35 – 1
Чавунні водопровідні, бувші в експлуатації	1,4

Значення коефіцієнтів місцевих опорів ξ в загальному випадку залежать від типу місцевого опору та режиму руху рідини. Нижче приведено найбільш розповсюджені типи місцевих опорів та їх відповідні значення:

1. Вхід в трубу: з гострими краями - $\xi = 0,5$, а із заокругленими краями - $\xi = 0,2$;

2. Вихід з труби: $\xi = 1$;

3. Коліно з кутом 90°

Діаметр труби, мм	12,5	25	37	50	>50
ξ	2,2	2	1,6	1,1	1,1

4. Вентиль нормальний при повному відкритті

Діаметр труби, мм	20	40	80	100	150
ξ	8,0	4,9	4,0	4,1	4,4

3. Опис експериментальної установки

Проведення лабораторної роботи здійснюється на діючому демонстраційному тепlopункті, який розташовано на першому поверсі корпусу №22 НТУУ „КПІ”. Приєднання системи опалення корпусу №22 до системи тепlopостачання здійснюється за незалежною схемою.

В якості досліджуваного об'єкту розглядається пластинчастий теплообмінник фірми Alfa Laval (1), який представлено на рис. 4, що приєднується зі сторони „гарячого” теплоносія до теплової мережі, а зі сторони „холодного” теплоносія – до діючої системи опалення корпусу за допомогою ізольованих трубопроводів(7), фланцевих з'єднань, арматури тощо.

Для визначення тиску в трубопроводах мережної води (первинний контур) на прямій та зворотній магістралі встановлено манометри (4), а для визначення відповідних температур, витрати гарячого теплоносія та для проведення обліку спожитого тепла – тепловий лічильник SONOCAL 3000 (6), що складається із ультразвукового витратоміра SONOFLO 3300/3000, модуля розрахунку тепла ЕЕМ-С та двох температурних датчиків Pt 500.

Зі сторони холодного теплоносія (вторинний контур) в характерних місцях на прямому та зворотному трубопроводах встановлено для виміру тиску – манометри, а для виміру температури – спиртові термометри (3). Крім того, для обліку витрати теплоносія на зворотному трубопроводі встановлено електромагнітний витратомір MAGFLO 3100 (5).

Перекачування теплоносія через теплообмінний апарат у вторинному контурі здійснюється за допомогою відцентрового насосу Inline (2) типу LMD 80-160/173 з електроприводом типу AMV 523. Керування частотою обертів насоса здійснюється спеціальним керуючим електронним блоком (непоказано). В якості керуючого сигналу для регулювання частоти обертів є аналоговий сигнал від електромагнітного витратоміра (5).

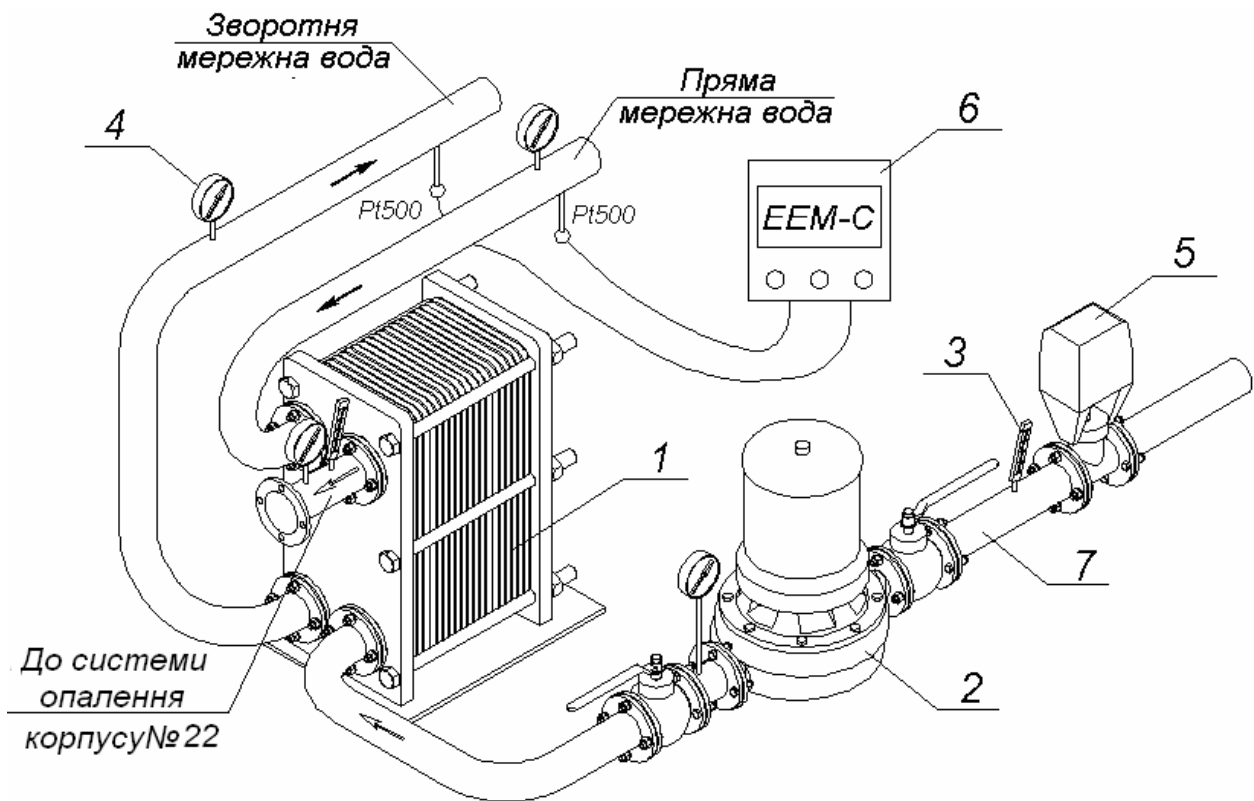


Рис. 4. Теплопункт корпусу №22 НТУУ „КПІ”

- 1 – пластинчастий теплообмінник Alfa Laval;
- 2 – відцентровий насос з електродвигуном;
- 3 – термометр;
- 4 – манометр;
- 5 – електромагнітний витратомір;
- 6 – тепловий лічильник SONOCAL 3000;
- 7 – з’єднувальні трубопроводи.

Технічні характеристики пластинчастого теплообмінника M10-MFG фірми-виробника Alfa Laval наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Технічні характеристики пластинчастого теплообмінника фірми-виробника Alfa Laval типу M10-MFG

Найменування	Одиниці	Гаряча сторона	Холодна сторона
Теплове навантаження	<i>MВт</i>	1,213	
Температура на вході	<i>°C</i>	150	70
Температура на виході	<i>°C</i>	75	95
Рух теплоносіїв	-	Протитечія	
Масова витрата	$\frac{кг}{год}$	13740	41710
Коефіцієнт теплопередачі (чистий)	$\frac{Вт}{м^2 \cdot °C}$	3461	
Коефіцієнт теплопередачі (забруднений)	$\frac{Вт}{м^2 \cdot °C}$	3427	
Площа поверхні теплообміну	<i>м²</i>	17,38	
Втрати тиску	<i>м вод.ст.</i>	0,120	1,08
Матеріал пластин/товщина	- / <i>мм</i>	AISI 318 / 0,5	

4. Заходи безпеки під час виконання лабораторної роботи

1. До виконання лабораторної роботи на установці допускаються лише студенти, що ознайомилися з методичними вказівками та правилами безпеки, підготували протокол до лабораторної роботи.
2. До одночасної роботи на установці допускається не більше п'яти студентів.
3. Дослідження проводяться лише під наглядом викладача чи лаборанта.
4. Категорично заборонено порушувати цілісність системи теплопостачання (обертати клапани тощо).
5. У разі виникнення найменших неполадок необхідно терміново повідомити про це викладача.

5. Послідовність виконання лабораторної роботи

Лабораторна робота передбачає проведення дослідів на протязі 1 години, через кожні 5 хвилин. При цьому фіксуються наступні експериментальні параметри, які необхідно занести до таблиці 3:

а) у первинному контурі („гаряча” вода):

- P_1' та P_1'' – тиски мережної води, відповідно на вході та на виході з теплообмінника, кгс/см²;
- t_1' та t_1'' – температури мережної води на вході в апарат та на виході відповідно, °С;
- V_1' та V_1'' – витрати мережної води на вході та на виході з пластинчастого теплообмінника, м³/год;

б) у вторинному контурі („холодна” вода):

- P_2' та P_2'' – тиски теплоносія системи опалення корпусу №22, відповідно на вході та на виході з теплообмінника, кгс/см²;
- t_2' та t_2'' – температури теплоносія системи опалення на вході в апарат та на виході відповідно, °С;
- V_2' – витрата теплоносія на вході у пластинчастий теплообмінник, м³/год.

Таблиця 3. Журнал експериментальних досліджень

Дата проведення експерименту	-						Середнє значення
Час проведення експерименту							
Номер досліду	-	1	2	...	6		
Первинний контур							
Тиск на вході в теплообмінник	P'_{10}	$\frac{кгс}{см^2}$					
Тиск на виході з теплообмінника	P''_{10}	$\frac{кгс}{см^2}$					
Дані з теплотільника	Температура гарячого теплоносія на вході в теплообмінник	t'_1	$^{\circ}C$				
	Температура гарячого теплоносія на виході з теплообмінника	t''_1	$^{\circ}C$				
	Витрата гарячого теплоносія на вході	V'_1	$\frac{м^3}{год}$				
	Витрата гарячого теплоносія на виході	V''_1	$\frac{м^3}{год}$				
Вторинний контур							
Тиск на вході в теплообмінник	P'_{20}	$\frac{кгс}{см^2}$					
Тиск на виході з теплообмінника	P''_{20}	$\frac{кгс}{см^2}$					
Температура холодного теплоносія на вході в теплообмінник	t'_2	$^{\circ}C$					
Температура холодного теплоносія на виході з теплообмінника	t''_2	$^{\circ}C$					
Витрата холодного теплоносія на вході	V'_2	$\frac{м^3}{год}$					

6. Обробка експериментальних даних

На підставі отриманих експериментальних даних та за допомогою відповідних розрахунків робляться висновки щодо забруднення і подальшої експлуатації теплообмінного апарата. Розрахунки проводяться за двома відомими методами, які наводяться нижче, а основні величини, що були розраховані в даній роботі заносяться до таблиці 4.

Таблиця 4. Результати розрахунків.

Назва величини	Позначення	Одиниці виміру	Чисельні значення
Підведений тепловий потік	Q_{Π}	$Вт$	
Масова витрата гарячого теплоносія	G_1	$кг/год$	
Масова витрата холодного теплоносія	G_2	$кг/год$	
Температурний напір	Δt	$^{\circ}C$	
Коефіцієнт теплопередачі (розрахований)	k	$Вт/(м^2 \cdot ^{\circ}C)$	
Коефіцієнт працездатності теплообмінника	β	$\%$	
Швидкість гарячого теплоносія	w_1	$м/с$	
Швидкість холодного теплоносія	w_2	$м/с$	
Втрати тиску по стороні гарячого теплоносія	ΔP_1	$кПа$	
Втрати тиску по стороні холодного теплоносія	ΔP_2	$кПа$	

6.1. Метод порівняння значення коефіцієнта теплопередачі, розрахованого за даними експерименту із коефіцієнтом теплопередачі, отриманим за паспортними даними фірми-виробника (Alfa Laval).

6.1.1. Всі експериментальні дані, що були отримані з певною періодичністю на протязі визначеного викладачем періоду часу, зводяться до середніх значень та записуються до таблиці 3. Наприклад:

$$t'_1 = \frac{t'_{11} + t'_{12} + \dots + t'_{1n}}{n}, \quad (20)$$

де $t'_{11}, t'_{12}, \dots, t'_{1n}$ – температури гарячого теплоносія на вході в теплообмінник відповідно для 1, 2, 3, ..., n вимірювання.

Подальший розрахунок проводиться вже за середніми значеннями отриманих даних.

6.1.2. Тепловий баланс

Рівняння теплового балансу має наступний вигляд:

$$Q_{\Pi} = Q_C, \quad (21)$$

де Q_{Π} – підведений тепловий потік у теплообміннику, *Вт*;

Q_C – сприйнятий тепловий потік у теплообміннику, *Вт*.

Відповідно до рівняння (7), підведений тепловий потік визначається за формулою:

$$Q_{\Pi} = \frac{c_1 \cdot G_1 \cdot (t'_1 - t''_1)}{3600}, \quad (22)$$

де c_1 – теплоємність гарячого теплоносія, *Дж/(кг·°С)*;

G_1 – масова витрата гарячого теплоносія, *кг/год*.

В свою чергу, масова витрата мережної води первинного контуру дорівнює:

$$G_1 = \rho_1 \cdot V_1, \quad (23)$$

де ρ_1 – густина гарячого теплоносія, *кг/м³*;

V_1 – середня об'ємна витрата гарячого теплоносія, *м³/год*.

Середню об'ємну витрату гарячого теплоносія знайдемо як середнє арифметичне між об'ємними витратами на вході та виході:

$$V_1 = \frac{V'_1 + V''_1}{2} \quad (24)$$

Густини ρ_1 та ρ_2 і теплоємності c_1 та c_2 для гарячого та холодного теплоносіїв відповідно знаходяться з таблиць теплофізичних властивостей води за середніми (калориметричними) значеннями температур t_1 та t_2 , які визначаються за формулами:

$$t_1 = \frac{t'_1 + t''_1}{2}, \quad (25)$$

$$t_2 = \frac{t'_2 + t''_2}{2} \quad (26)$$

Відповідно до рівняння теплового балансу (7) та виразу (2), масова та об'ємна витрати холодного теплоносія розраховуватимуться наступним чином:

$$G_2 = \frac{Q_C \cdot 3600}{c_2 \cdot (t''_2 - t'_2)} \quad (27)$$

$$V_2 = \frac{G_2}{\rho_2} \quad (28)$$

6.1.3. Розрахунок коефіцієнта теплопередачі

Відповідно до основного рівняння теплопередачі (8), коефіцієнт теплопередачі (k) розраховуватиметься за формулою:

$$k = \frac{Q}{F \cdot \overline{\Delta t}}, \quad (29)$$

де Q – загальний тепловий потік, Вт: $Q = Q_{II} = Q_C$;

F – площа поверхні теплообміну теплообмінника (див. табл. 1), m^2 ;

$\overline{\Delta t}$ – температурний напір, який визначається за формулою (9), $^{\circ}C$.

6.1.4. Порівняння коефіцієнтів теплопередачі

При тривалому терміні роботи теплообмінного апарата на його пластинах відкладається забруднення. Це значно погіршує процес теплопередачі. Ефективність роботи такого теплообмінного апарата дозволяє оцінити «Експрес-методика експлуатаційних дослідів рекуператорів теплових пунктів по визначенню коефіцієнтів теплопередачі» [5]. За цією методикою, для визначення ступеня забруднення пластинчастого теплообмінника вводиться коефіцієнт працездатності (β), який визначається із співвідношення :

$$\beta = \frac{k}{k_o} \cdot 100\%, \quad (30)$$

де k – коефіцієнт теплопередачі, розрахований на основі експериментальних даних, $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$;

k_o – коефіцієнт теплопередачі для чистого теплообмінника, який знаходиться за паспортними даними, або за програмою фірми-виробника пластинчастого теплообмінника (див. п. 7).

Існують наступні варіанти порівняння коефіцієнтів теплопередачі, а отже і такі висновки:

- при $\beta < 65\%$ приймається рішення щодо негайної зупинки теплообмінного апарата для проведення заходів по забезпеченню очистки поверхонь пластин від відкладень (шляхом хімічної промивки без розбирання апарата, або шляхом механічної очистки – після його розбирання);
- при $65\% \leq \beta < 70\%$ приймається рекомендація про необхідність зупинки теплообмінника для очищення від відкладень з його поверхні теплообміну при найближчому попереджувальному або капітальному ремонті системи опалення;
- при $\beta \geq 70\%$ приймається рекомендація про продовження подальшої експлуатації рекуператора.

6.2. Метод співставлення гідравлічного опору пластинчастого теплообмінника, визначеного у ході досліду із гідравлічним опором за паспортними даними для гарячого і холодного теплоносіїв.

Порівняння перепадів тиску у теплообмінному апараті, визначених у ході досліду із перепадами тиску за паспортними даними проводять за наступними пунктами:

6.2.1. Перепади тиску у теплообміннику для „гарячої” та „холодної” сторін відповідно, знаходяться за формулами:

$$\Delta P_1 = P'_1 - P''_1 \quad (31)$$

$$\Delta P_2 = P'_2 - P''_2 \quad (32)$$

6.2.2. Для того, щоб знайти перепади тисків у теплообмінному апараті, нам треба знати значення тисків безпосередньо на входах – P'_1 та P'_2 і на виходах – P''_1 та P''_2 з теплообмінника. Для їх знаходження скористаємося наступними формулами:

$$P'_1 = P'_{10} - \Delta P'_1 \quad (33)$$

$$P''_1 = P''_{10} + \Delta P''_1 \quad (34)$$

$$P'_2 = P'_{20} - \Delta P'_2 \quad (35)$$

$$P''_2 = P''_{20} \quad (36)$$

де $P'_{10}, P''_{10}, P'_{20}, P''_{20}$ – значення тисків (показання манометрів), які були визначенні під час досліду (див. середні значення табл. 3), Па;

$\Delta P'_1, \Delta P''_1, \Delta P'_2$ – втрати тиску між точкою виміру та входом(виходом) теплоносія з теплообмінника на подолання опору сил тертя та місцевих опорів відповідно для трубопроводів гарячої та холодної води, Па.

6.2.3. Розрахунок втрат тиску.

Вихідні дані для розрахунку:

а) внутрішній діаметр трубопроводів d_{BH} ;

б) довжини прямолінійних ділянок трубопроводу:

➤ для первинного контуру на вході в теплообмінник: a, b, c ;

➤ для первинного контуру на виході з апарата: d, e, f, g ;

➤ для вторинного контуру на вході в пластинчастий теплообмінник: h, i, j .

Внутрішній діаметр трубопроводу дорівнює: $d_{BH} = 0,1 \text{ м}$. А довжини прямолінійних ділянок трубопроводу, що зображені на рисунку 5, виміряні та занесені до таблиці 5.

Таблиця 5. Довжини прямолінійних ділянок трубопроводу

Позначення	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Числове значення, м	0,05	0,23	1,05	0,05	0,08	0,60	0,08	0,05	0,45	0,28

Втрати тиску на подолання опору сил тертя та місцевих опорів визначаються за формулами (12)-(19). Всі результати розрахунків заносяться до таблиці 4.

Після того, як перепади тиску ΔP_1 та ΔP_2 будуть розраховані, необхідно порівняти їх із паспортними значеннями втрат тиску $\Delta P_1^{Пасп}$ та

$\Delta P_2^{Пасп}$. З цього порівняння необхідно зробити наступні висновки: якщо

$\Delta P_1 > \Delta P_1^{Пасп}$ або $\Delta P_2 > \Delta P_2^{Пасп}$, то наш теплообмінник забруднений і треба приймати рішення щодо його подальшої експлуатації. Фірмовиробник дає наступні рекомендації: якщо експериментальний перепад тиску більший на 20% за паспортний перепад тиску, то теплообмінник підлягає зупинці та очищенню поверхні від забруднень.

Паспортні характеристики пластинчастого теплообмінника, наведені в таблиці 2, були отримані за допомогою комп'ютерної програми для розрахунку пластинчастих теплообмінників CAS 200 фірми «Альфа Лаваль». Рекомендації щодо роботи з цією програмою наведені нижче.

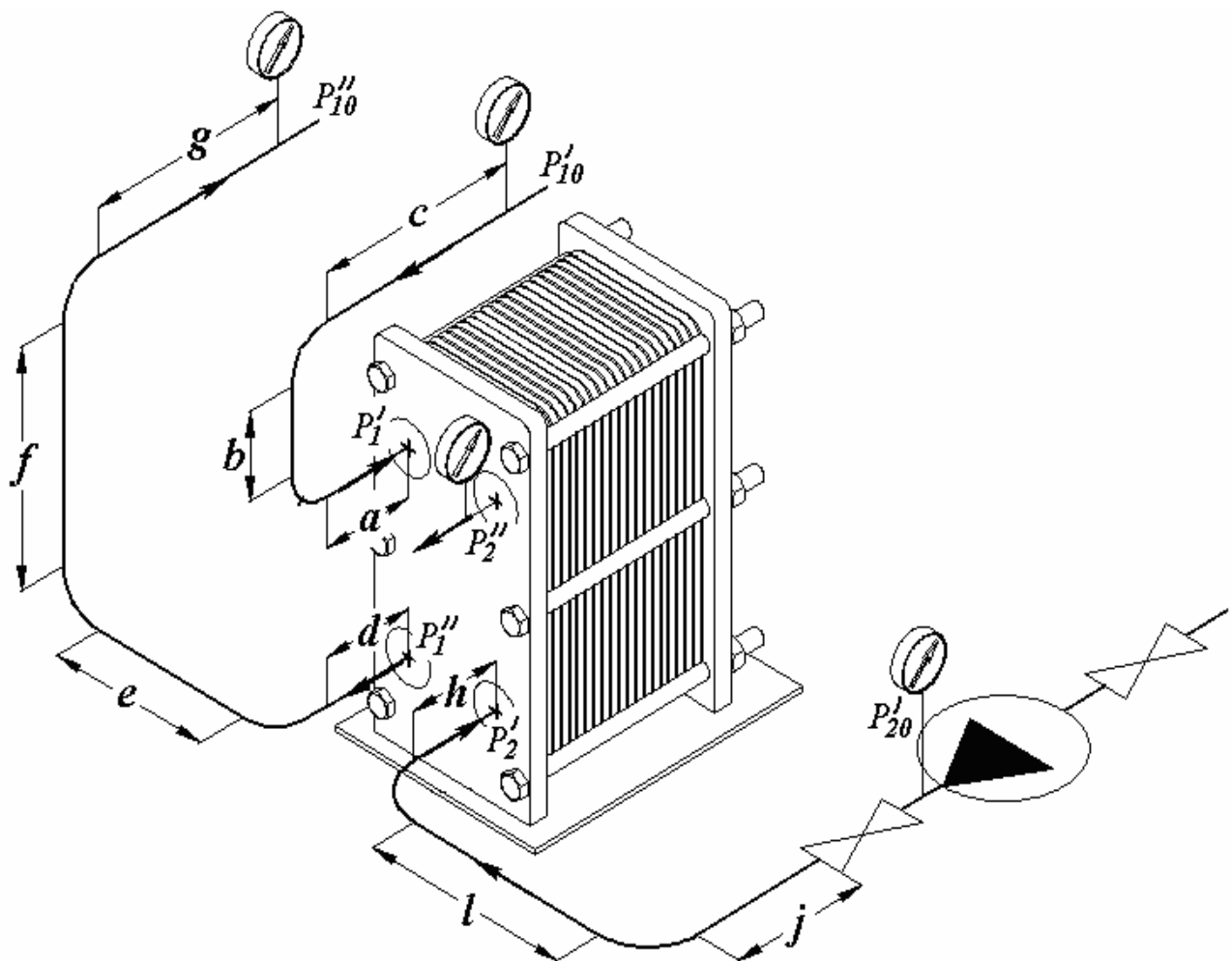


Рис.5. Гідравлічна схема експериментальної установки

7. Опис програми розрахунку теплообмінників фірми «Alfa Laval» CAS 200

CAS 200—це комплексний пакет програмного забезпечення, котрий інформаційно допомагає у реалізації розрахунку, виборі типу та параметрів пластинчастих теплообмінників або теплових модулів фірми-виробника «Альфа Лаваль».

Користувач може точно визначити продуктивність та здійснити тепловий розрахунок пластинчастого теплообмінника за допомогою команд на спеціальній панелі.

Для розрахунку теплообмінника необхідно спочатку задатися типом розрахунку, наприклад, *Design calculation* (проектний розрахунок), а далі вводити до панелі наступні необхідні дані: температури гарячого і холодного теплоносіїв на вході та на виході з теплообмінника, витрати теплоносіїв або теплову потужність. Далі обрати марку теплообмінника, матеріал і товщину пластин. Редактор рідин дозволяє обрати в якості теплоносія рідину або газ із запропонованого списку. Після того, як всі необхідні параметри введені, треба натиснути на кнопку розрахунку (з зображенням калькулятора) . Після цього програма CAS 200 відкриває друге вікно, в якому представлений розрахунок теплообмінника. Там наведені: тип теплообмінника, кількість пластин в пакеті та їх групування, площа апарату, коефіцієнт теплопередачі. При натисненні кнопки *More* можна отримати більше інформації. Приклад розрахунку за допомогою програми CAS 200 наведено на рис. 6.

Крім того використовуючи програму CAS 200 можна для обраного теплообмінного апарату провести розрахунок для різних режимів роботи теплообмінника і отримати відповідні теплотехнічні характеристики.

Для цього обираємо у віконці вибору розрахунку – *Rating* (Оціночний розрахунок). Далі, у вікна, де в нас були введені проектні параметри (температури, витрати, тепла потужність), вводимо нові, реальні значення цих параметрів при яких експлуатується наш теплообмінник. Після цього знову натискаємо на кнопку розрахунку і отримуємо вже реальні розрахункові дані.

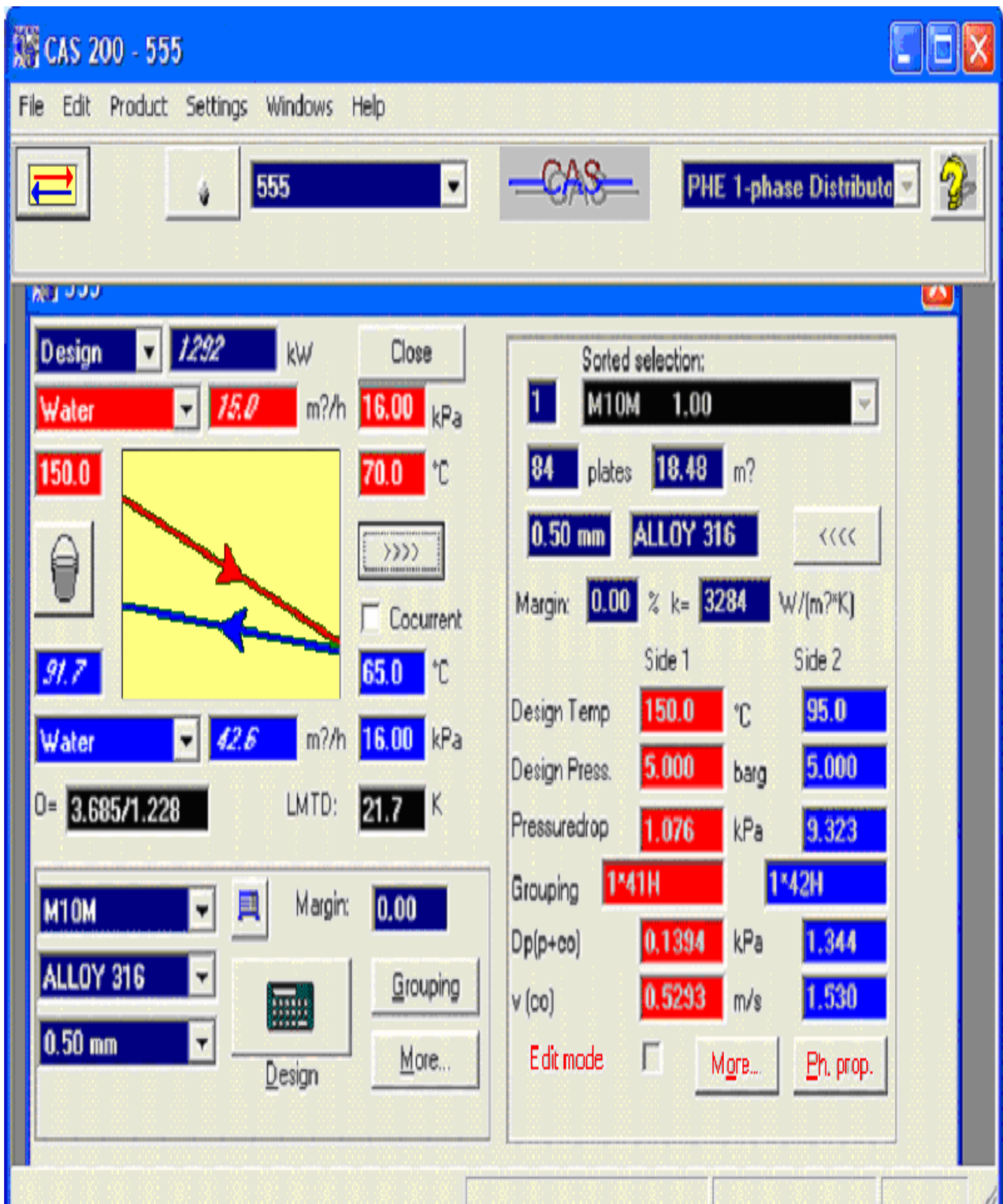


Рис. 6. Приклад використання програми CAS 200 для розрахунку і вибору пластинчастого теплообмінника фірми «Alfa Laval».

Значення коефіцієнту теплопередачі (k_0) для чистого теплообмінника треба використати при прийнятті рішення щодо зупинення теплообмінника для очистки від забруднень (див. п. 6.1.4).

8. Контрольні запитання

1. Чим відрізняються залежна і незалежна схеми підключення теплового споживача до теплової мережі? Навести схеми приєднання.
2. Які переваги в порівнянні з прямотоком має застосування в теплообмінних апаратах руху теплоносіїв назустріч один одному (протитоку)?
3. Рівняння теплового балансу. Визначення теплового навантаження теплообмінника.
4. Рівняння теплопередачі. Охарактеризувати величини, які входять до його складу.
5. Яка схема руху теплоносіїв використовувалась у пластинчастому теплообміннику?
6. Основні конструктивні елементи пластинчастого теплообмінника.
7. Коефіцієнт працездатності теплообмінника. Термін роботи апарата в залежності від значень цього коефіцієнта.
8. Пояснити в чому відмінність між двома методами оцінки забрудненості теплообмінника.
9. Яким чином необхідно розраховувати гідравлічний опір ділянки складної форми?
10. Вплив відкладень на процес теплопередачі в теплообмінному апараті.
11. Які переваги та недоліки мають пластинчаті теплообмінники в порівнянні з іншими типами теплообмінними апаратами?

12. Як визначається розрахунковий коефіцієнт теплопередачі для пластинчатого теплообмінника та від яких факторів він залежить?
13. Описати експериментальну установку та розповісти проведення роботи.

Література:

1. Пластинчатые теплообменники в промышленности: Учеб. пособие / Под общ. ред. Л.Л. ТОВАЖНЯНСКОГО. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. – 232с.
2. Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии.
3. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М., Химия, 1973. 752 с.
4. Теплоснабжение: Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Высш. школа, 1980. – 408 с.
5. Хоблер Т. Теплопередача и теплообменники (пер. с польского А. В. Плисса, под. ред. П. Г. Романкова), Л.: Госхимиздат, 1961, 820 с.
6. Луданов К.И., Дешко В.И., Хоренженко Ю.В. и др. «О состоянии теплообменного оборудования тепловых сетей г.Киева и разработке методик испытаний рекуператоров в рамках проекта НИР «Диагностика теплообменников»»/ Проблеми обліку теплоти та води в Україні: Матеріали IV між нар. наук.-практ. конф., 15-17 черв. 2004 – К.: ТОВ «АВЕГА», 2004. – 192с.