

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

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторної роботи

**«ВИПРОБУВАННЯ РЕКУПЕРАТИВНОГО
КОЖУХОТРУБНОГО КОНДЕНСАТОРА»**

за курсами «Теплотехнічні процеси та установки промислових підприємств»,
«Енергетичні установки» для студентів технічних спеціальностей
всіх форм навчання

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету
протокол № 1 від 16. 02. 2023

Харків
НТУ «ХПІ»
2024

Методичні вказівки до лабораторної роботи «Випробування рекуперативного кожухотрубного конденсатора» за курсами «Теплотехнічні процеси та установки промислових підприємств», «Енергетичні установки» для студентів технічних спеціальностей всіх форм навчання/ уклад.: О. Р. Пересьолков, О. М. Тарасенко. – Харків: НТУ «ХП», 2024. – 18 с.

Укладачі: О. Р. Пересьолков
 О. М. Тарасенко

Рецензент О. В. Круглякова

Кафедра теплотехніки та енергоефективних технологій

ВСТУП

Теплообмінні апарати – пристрої, в яких здійснюється процес передачі теплоти від одного теплоносія до іншого.

За принципом дії розрізняють поверхневі та змішувальні апарати. У поверхневих теплообмінниках рекуперативного та регенеративного типу теплота від теплоносія з більш високою температурою передається твердій стінці (насадці), а від неї більш холодному теплоносію. У змішувальних апаратах відбувається безпосереднє змішування (перемішування) нагрітого та холодного теплоносіїв, при цьому теплообмін протікає одночасно з масообміном. Поверхневі теплообмінники є найбільш значною групою апаратів, що використовуються в промисловості. Основною характеристикою таких апаратів є площа поверхні теплообміну, тому що від її розміру залежить кількість теплоти, що передається в апараті від одного теплоносія до іншого. Також на кількість переданої теплоти впливає коефіцієнт теплопередачі та різниця температур між теплоносіями. Форма поверхні стінки може бути трубчатою, плоскою, ребристою та іншою.

Існуючі теплообмінні апарати відрізняються один від одного також конструкцією, формою, розмірами, призначенням, видами теплоносіїв та іншими особливостями. За призначенням поверхневі теплообмінні апарати поділяють на такі типи: холодильники; підігрівачі; конденсатори; випарники.

Конденсатор – теплообмінний апарат, в якому здійснюється процес фазового переходу теплоносія з парового стану в рідкий (конденсація) за рахунок відведення тепла холоднішим теплоносієм. Якщо пара стикається з поверхнею, що має температуру меншу за температуру насичення, то вона переходить в рідкий стан, віддаючи поверхні теплоту пароутворення, що виділяється при конденсації.

Розрізняють два види конденсації: краплинну, при якій конденсат осаджується у вигляді окремих крапель та плівкову, при якій на поверхні утворюється суцільна плівка рідини. При роботі конденсаційних пристроїв конденсат, як правило, змочує поверхню теплообміну і в них відбувається плівкова конденсація пари.

Водяна пара знаходить широке застосування у багатьох галузях промисловості, особливо в енергетиці. Вода і водяна пара є найпоширенішими теплоносіями в теплообмінних апаратах, в енергетичних та технологічних системах, а також у системах теплопостачання та опалення [1, 2].

Основні переваги водяної пари як теплоносія:

- високі коефіцієнти тепловіддачі при конденсації водяної пари, що дозволяє отримувати відносно невеликі поверхні теплообміну;
- велика зміна ентальпії при конденсації водяної пари дозволяє витратити малу масову кількість теплоносія для передачі великої кількості тепла;
- постійна температура конденсації (кипіння) при заданому тиску дає можливість простіше підтримувати постійний режим і регулювати процес в апаратах;
- доступність та економічність.

1 МЕТА І ЗАВДАННЯ РОБОТИ

Ознайомлення і закріплення матеріалу щодо призначення конденсатора, його конструкції, принципу дії, процесу і етапів передачі теплоти в рекуперативному теплообміннику від пари до охолоджуючої води та визначення теоретичних і експлуатаційних характеристик роботи конденсатора.

Основними завданнями лабораторної роботи є ознайомлення зі схемою та конструкцією лабораторної установки, методикою проведення вимірювань теплових та витратних характеристик роботи досліджуємого об'єкта, методикою їх обробки і аналізу дослідних результатів.

2 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ РЕКУПЕРАТИВНОГО КОНДЕНСАТОРА

Конденсатор – це апарат призначений для підтримки робочого тиску в установці до якої він підключається. Для цього по-перше потрібно сконденсувати пару, яка поступає в конденсатор. При цьому відстань між молекулами H_2O суттєво скорочується, виникає притягіння між молекулами, чого не було в стані пари, і пара перетворюється в рідину, тобто конденсат. Окрім того потрібно також видаляти молекули повітря і можливо технічних газів, які присутні в парі. Конденсатори працюють в умовах розрідження, тобто підтримують вакуум, або при атмосферному тиску, як наприклад у цій лабораторній роботі.

Для відтворення фазового переходу зі стану майже ідеального газу до стану рідини від пари треба відвести теплоту пароутворення, яку в даному випадку слід позначати як теплоту конденсації.

2.1 Передача теплоти від пари до охолоджуючої води. В рекуперативному трубчатому конденсаторі процес передачі теплоти від пари, яка входить в міжтрубний простір до води, яка проходить в трубках, відбувається крізь три ділянки, як показано на рис. 1.

Ділянка I – тепловіддача від пари до зовнішньої стінки трубки, інтенсивність якої характеризується коефіцієнтом тепловіддачі α_1 . Слід відмітити, що плівка конденсату, яка стікає по трубці є додатковим термічним опором передачі теплоти. Тому щоб прискорити злив конденсату, по можливості, слід трубки розташувати вертикально. Будь які засоби для зменшення товщини плівки конденсату або зняття її з поверхні трубок, покращують умови передачі теплоти від пари до стінки труби.

Досить активно охолодження конденсату може відбуватися в затопленій зоні нижніх частин трубок, тому це явище треба зводити до мінімуму.

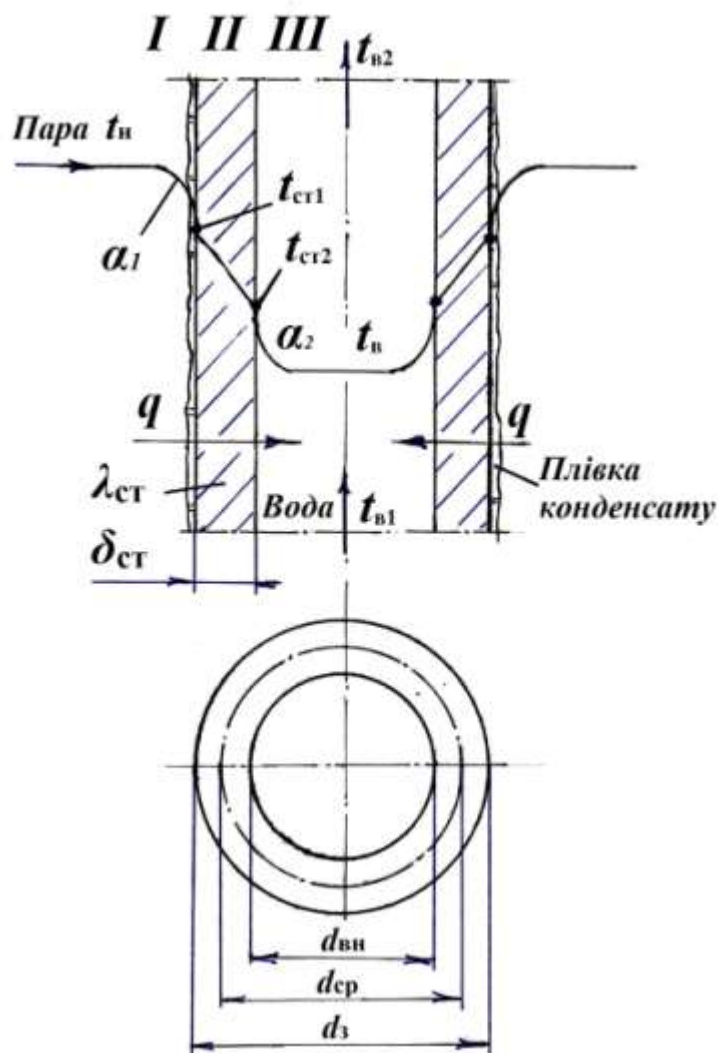


Рисунок 1 – Схема ділянок проходження теплоти від пари до води крізь стінку трубки та значення температур теплоносіїв в характерних точках

Ділянка II – процес теплопровідності крізь металеву стінку труби товщиною $\delta_{ст}$ з коефіцієнтом теплопровідності $\lambda_{ст}$. При цьому рушійною силою теплопровідності є різниця температур $t_{ст1} - t_{ст2}$.

Ділянка III – конвективний теплообмін, тобто тепловіддача від внутрішньої стінки труби до охолоджуючої води, інтенсивність тепловіддачі характеризується коефіцієнтом тепловіддачі α_2 .

Після закінчення процесу конденсації пари при t_n , якщо є достатньо охолоджуючої поверхні, здійснюється переохолодження конденсату від t_n до t_k , як схематично показано на рис. 2, 3. Слід відмітити, якщо конденсат знову поступає в котельню, а не на технічні потреби, то переохолодження його недоцільне.

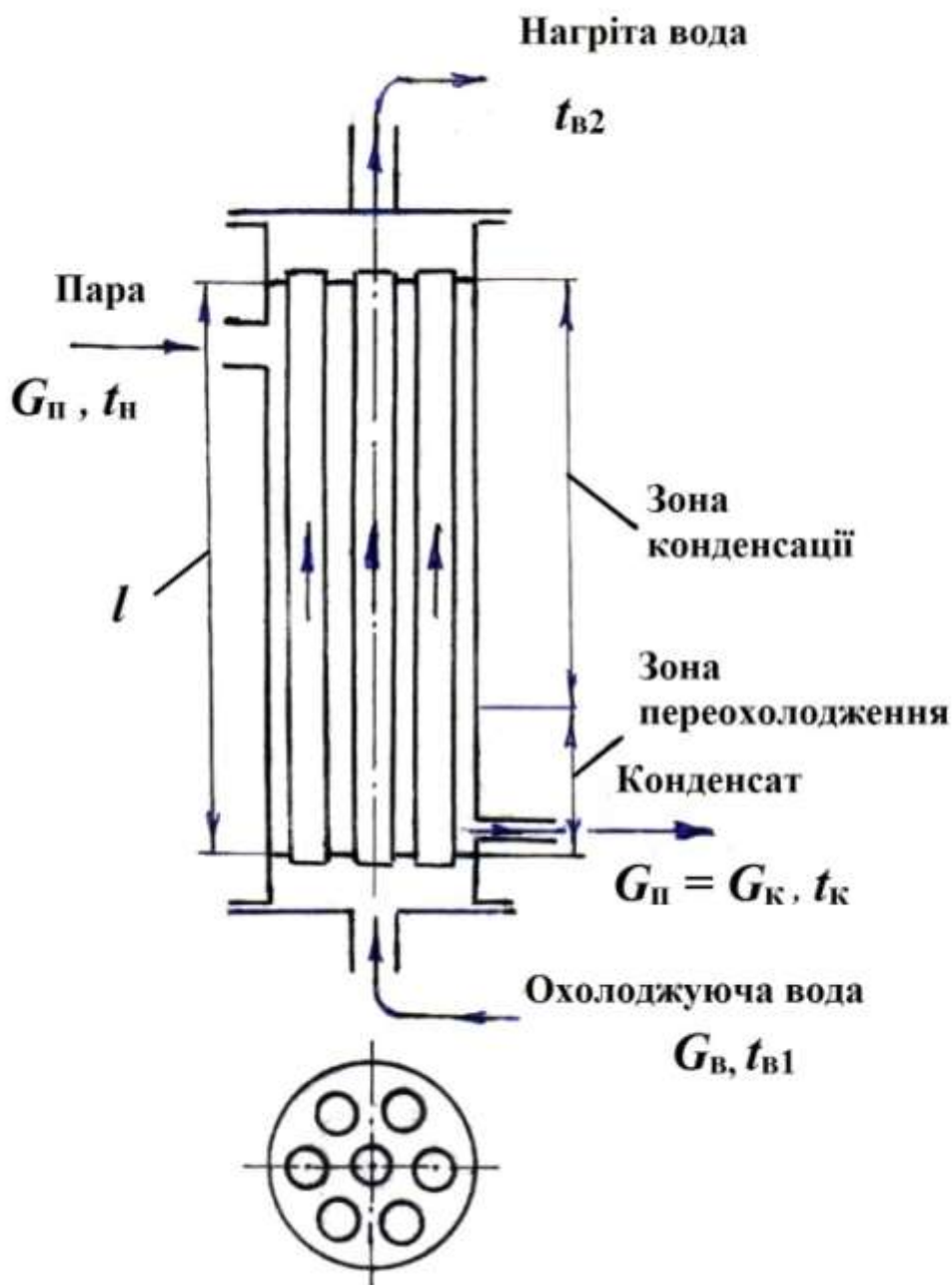


Рисунок 2 – Схема проходження теплоносіїв крізь конденсатор

2.2 Основні розрахункові рівняння

Тепловий баланс конденсатора має такий вигляд:

$$Q_{\text{під}} = \frac{1}{\eta_{\text{к}}} Q_{\text{від}}, \quad (1)$$

де $Q_{\text{під}}$ – теплота яка віддана в міжтрубному просторі при конденсації пари та переохолодженні конденсату, кВт;

$Q_{\text{від}}$ – теплота відведена з конденсатора охолоджуючою водою, кВт;

$\eta_{\text{к}}$ – коефіцієнт, який показує втрати тепла в навколишнє повітря з поверхні конденсатора. Слід відмітити, що зовнішня поверхня конденсатора не теплоізолюються.

Теплота яка віддана в міжтрубному просторі $Q_{\text{під}}$, дорівнює, кВт:

$$Q_{\text{під}} = G_{\text{п}} \cdot r + G_{\text{к}} \cdot c_{\text{к}} (t_{\text{н}} - t_{\text{к}}), \quad (2)$$

де $G_{\text{п}} = G_{\text{к}}$ – масова витрата пари (конденсату), кг/с;

r – питома теплота пароутворення (конденсації), кДж/кг;

$c_{\text{к}}$ – питома теплоємність конденсату (води), кДж/кг К.

Теплота відведена з конденсатора охолоджуючою водою, кВт:

$$Q_{\text{від}} = G_{\text{в}} \cdot c_{\text{рв}} (t_{\text{в2}} - t_{\text{в1}}). \quad (3)$$

Після конденсатора нагріта вода охолоджується в градирні, де її теплота віддається в атмосферу.

Рівняння передачі теплоти від пари до охолоджуючої води має такий вигляд:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t_{\text{сп}}, \quad (4)$$

де F – площа теплопередаючої трубної поверхні, м². Її можна визначити за формулою для плоскої стінки (при цьому похибка менше 2 % в порівнянні з формулою для циліндричної стінки):

$$F_{\text{к}} = \pi \cdot d_{\text{сп}} \cdot l \cdot n_{\text{тр}}, \quad (5)$$

де $d_{\text{сп}} = 0,5 (d_3 + d_{\text{вн}})$ – середній діаметр трубок (рис. 2), мм.

Середній температурний напір між теплоносіями, який дорівнює, °С:

$$\Delta t_{\text{сп}} = \frac{\Delta t_{\text{г}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{г}}}{\Delta t_{\text{м}}}}. \quad (6)$$

Характер зміни температур теплоносіїв в конденсаторі показано на рис. 3, згідно якого більша різниця температур $\Delta t_6 = t_n - t_{в2}$, менша різниця температур $\Delta t_m = t_k - t_{в1}$.

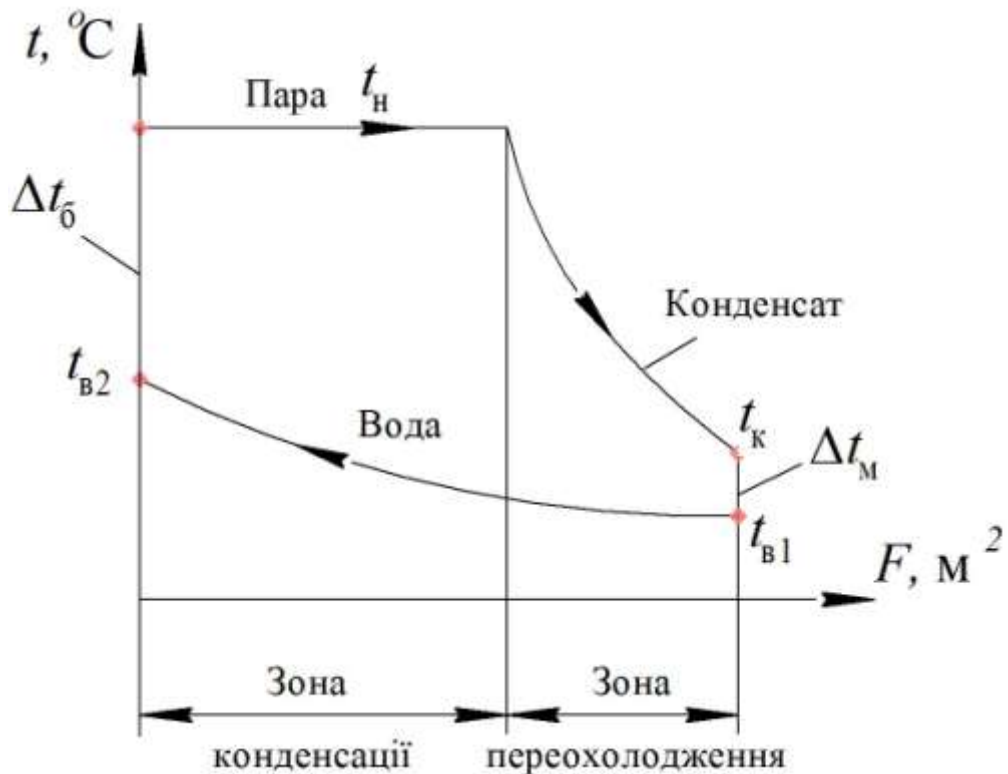


Рисунок 3 – Зміна температур теплоносіїв при протитечійному напрямку її руху

Середнє значення коефіцієнту передачі теплоти від пари до води в конденсаторі можна визначити як, Вт/м²К:

$$k = \frac{Q_{\text{від}}}{F \cdot \Delta t_{\text{cp}}} \quad (7)$$

3 СХЕМА І ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ, МЕТОДИК ДОСЛІДЖЕННЯ І РЕГІСТРАЦІЇ ОПИТНИХ ДАНИХ

Досліджуваний конденсатор являє собою кожухотрубний апарат (рис.4), який складається з трубного пучка, утвореного стальними трубками, які закріплені зварюванням в трубних решітках, виготовлених з нержавіючої сталі. Насичена водяна пара з постійною витратою G_n поступає в міжтрубний простір конденсатора, як показано на рис. 4. Пара контактує з поверхнею трубок, усередині яких проходить вода та конденсується. Конденсат у вигляді плівки стікає вниз поверхнею трубок при цьому відбувається його

переохолодження до температури t_k . В конденсаторі відбувається передача тепла від пари, що конденсується, до охолоджуючої води. Процес передачі тепла відбувається крізь стінки трубок. Вода, що надходить в нижню водяну камеру, проходить усередині трубок вгору, нагрівається та виходить з апарату. Розглянемо, як вимірюються параметри, що характеризують роботу конденсатора.

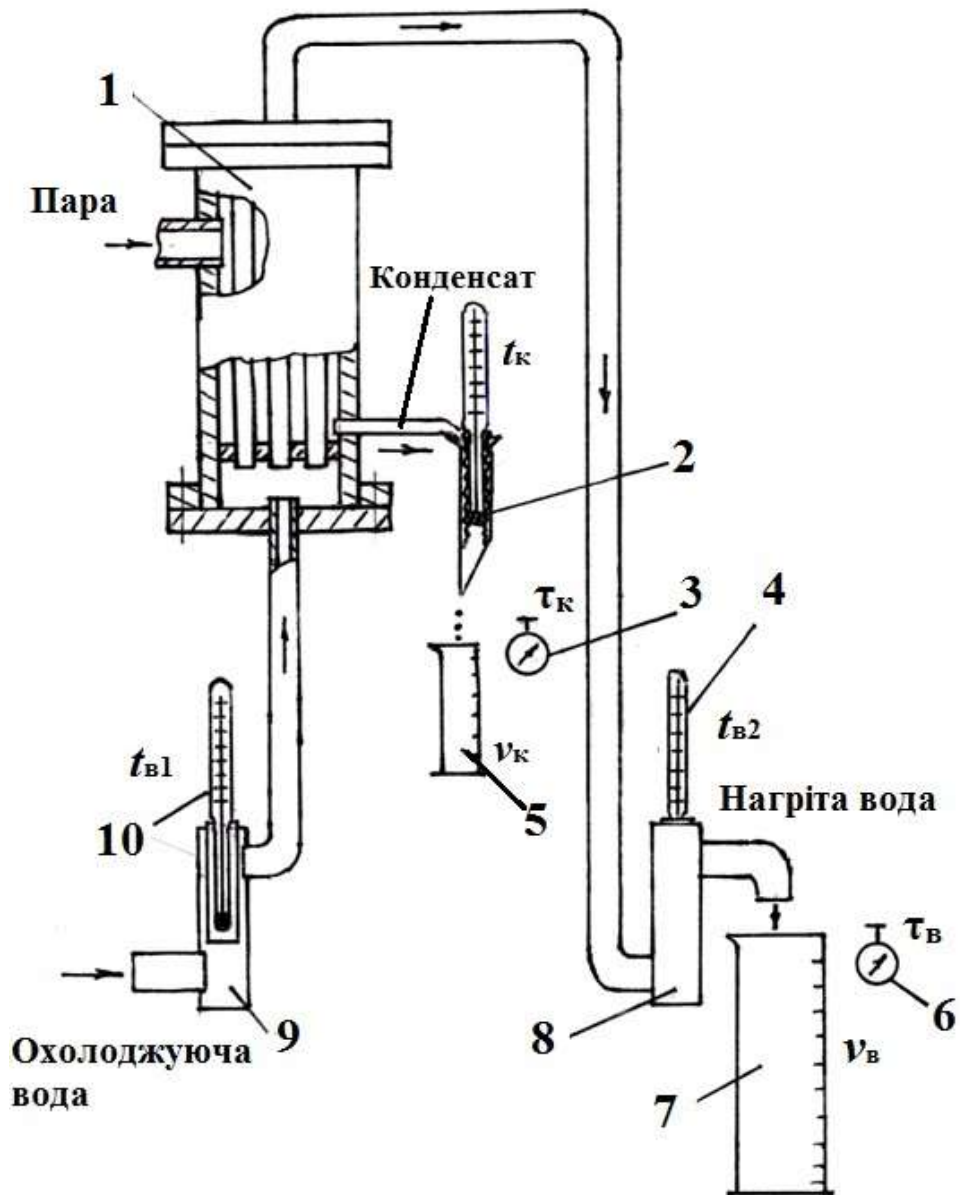


Рисунок 4 – Схема установки:

1 – рекуперативний кожухотрубний конденсатор; 2 – пристрій для вимірювання температури конденсату; 3 – секундомір; 4 – термометр для вимірювання температури нагрітої води; 5 – мірна ємність для відбору конденсату; 6 – секундомір; 7 – мірна ємність для відбору нагрітої води; 8,9 – пристрої для вимірювання температури нагрітої та холодної води; 10 – термометр для вимірювання температури холодної води.

3.1 Пристрої для вимірювання параметрів пари і конденсату

Витрата пари $G_{\text{п}}$ дорівнює витраті вихідного конденсату $G_{\text{к}}$ і вимірюється об'ємним способом.

Для цього за проміжок часу $\tau_{\text{к}}$, який вимірюється секундоміром, в мірну ємність відбирається об'єм конденсату $v_{\text{к}}$, з подальшим визначенням об'ємної та масової витрати.

Температура насиченої водяної пари в залежності від атмосферному тиску дорівнює $t_{\text{н}} = 99,6 \div 99,7$ °С [3]. В подальших розрахунках можна приймати $t_{\text{н}} = 100$ °С.

Для вимірювання температури конденсату $t_{\text{к}}$ використовується скляний технічний термометр розширення. Нижня частина термометра повинна контактувати з витікаючим конденсатом. Тому вона знаходиться у чохлі з тканини, який постійно змочується протікаючим конденсатом. Для виключення можливості випарювального охолодження конденсату з поверхні чохла, він розміщен у гумовій обоймі. Конденсат виходить із міжтрубного простору і надходить у гумову обойму, проходячи вниз, постійно змочує тканину і нижню частину термометра. При цьому забезпечується досить коректний вимір температури конденсату $t_{\text{к}}$, що виходить з апарату.

3.2 Пристрої для вимірювання параметрів охолоджуючої води

Витрата охолоджуючої води вимірюється також об'ємним способом. Вода об'ємом $v_{\text{в}}$ відбирається в мірну ємність за проміжок часу $\tau_{\text{в}}$, який вимірюється секундоміром. По результатах вимірів визначається об'ємна та масова витрата охолоджуючої води.

Охолоджуюча вода подається в конденсатор під тиском більше ніж атмосферний. Тому потрібно забезпечити герметичність вимірювальних ділянок для розміщення термометрів, якими необхідно вимірювати температуру охолоджуючої води на вході конденсатор $t_{\text{в1}}$ та після нього $t_{\text{в2}}$. Для цього робочий елемент кожного з рідинних термометрів розширення встановлений в металеву гільзу, яка впаяна в корпус пристрою і омивається водою. Значення температур $t_{\text{в1}}$ та $t_{\text{в2}}$ знімається зі шкали відповідного термометра. Результати всіх вимірювань заносяться в таблицю 1.

Техніка безпеки. Увімкнення установки, виведення її на робочий режим і встановлення приладів виконується майстром виробничого навчання.

Проведення вимірювання виконується студентами поряд з викладачем і в присутності майстра виробничого навчання або завідуючого лабораторією.

Таблиця 1– Результати вимірювань

	Назва	Позначення	Одиниці виміру	Значення
1	Об'єм відібраного конденсату	v_k	см ³	
2	Проміжок часу відбору конденсату	τ_k	с	
3	Температура конденсату	t_k	°С	
4	Об'єм відібраної охолоджуючої води	v_B	см ³	
5	Проміжок часу відбору охолоджуючої води	τ_B	с	
6	Температура води на вході в конденсатор	t_{B1}	°С	
7	Температура води на виході з конденсатора	t_{B2}	°С	

Таблиця 2 – Геометричні характеристики конденсатора

	Назва	Позначення	Одиниці виміру	Значення
1	Довжина трубок	l	мм	400
2	Кількість трубок	n	шт	6
3	Діаметр трубок	d_3/d_B	мм	10/6

4 ОБРОБКА ДОСЛІДНИХ ДАНИХ І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ КОНДЕНСАТОРА

4.1 Визначення витратних параметрів теплоносіїв.

Об'ємна витрата конденсату, м³/с:

$$V_k = \frac{v_k}{\tau_k} \cdot 10^{-6}. \quad (8)$$

Масова витрата конденсату (пари), кг/с:

$$G_{\text{п}} = G_{\text{к}} = V_{\text{к}} \cdot \rho_{\text{к}}, \quad (9)$$

де $\rho_{\text{к}}$ – густина конденсату (води) при температурі $t_{\text{к}}$ (табл.3), кг/м³.

Слід відмітити, що сучасні конденсатори парових турбін розраховані для конденсації до 150 кг/с пари.

Об'ємна витрата охолоджуючої води, м³/с:

$$V_{\text{в}} = \frac{V_{\text{в}}}{\tau_{\text{в}}} \cdot 10^{-6}. \quad (10)$$

Масова витрата охолоджуючої води, кг/с

$$G_{\text{в}} = V_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}}, \quad (11)$$

де $\rho_{\text{в}}$ – густина води при температурі $t_{\text{в}2}$, при якій вимірювалась її витрата (табл. 3), кг/м³.

Таблиця 3 – Значення густини ρ і питомої теплоємності води c_p в залежності від температури

Температура $t, ^\circ\text{C}$	Густина $\rho, \text{кг/м}^3$	Теплоємність $c_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$
10	999,7	4,191
20	998,2	4,183
30	995,7	4,174
40	992,2	4,174
50	988,1	4,174
60	983,2	4,179
70	977,8	4,187

Важливою характеристикою роботи енергетичних і технологічних конденсаторів є кратність охолодження, яка значно впливає на витрату води, тобто на потужність циркуляційних насосів і експлуатаційні витрати.

Кратність охолодження m показує яка витрата охолоджуючої води необхідна для конденсації 1 кг пари та визначається за формулою:

$$m = \frac{G_B}{G_H}. \quad (12)$$

Слід відзначити, що в промислових рекуперативних конденсаторах $m = 50 \div 80$, при цьому охолоджуюча вода нагрівається лише на $\Delta t = (t_{B2} - t_{B1}) = 5 \div 8 \text{ } ^\circ\text{C}$, щоб забезпечити потім її охолодження в градирні. В досліджуваному в лабораторній роботі конденсаторі вода нагрівається на $20 - 30 \text{ } ^\circ\text{C}$, при цьому розрахована відносна витрата води буде менша.

4.2 Визначення теплових навантажень теплового балансу конденсатора.

Рівняння теплового балансу кожухотрубного конденсатора:

$$Q_{\text{під}} \cdot \eta = Q_{\text{від}}. \quad (13)$$

Теплота, яка вноситься з парою в апарат при її конденсації та при переохолодженні конденсату, кВт

$$Q_{\text{під}} = G_H \cdot r + G_H \cdot c_k (t_H - t_K) = G_H (r + c_k (t_H - t_K)), \quad (14)$$

де c_k – питома теплоємність конденсату (табл. 3) при середній температурі конденсату $\bar{t}_k = (t_H + t_K)/2$, кДж/кг К.

$r = 2258$ кДж/кг – питома теплота пароутворення (конденсації) при атмосферному тиску тобто при $t_H = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$ [1].

Теплове навантаження, яке відводиться з конденсатора охолоджуючою водою, кВт:

$$Q_{\text{від}} = G_B \cdot c_B (t_{B2} - t_{B1}), \quad (15)$$

де c_B – питома теплоємність води (табл. 3) при середній температурі $\bar{t}_B = (t_{B2} + t_{B1})/2$, кДж/кг К.

З рівняння теплового балансу (9) визначимо, яка частка підведеної з парою теплоти відводиться в повітря крізь неізолювані стінки конденсатора та трубопроводів:

$$\eta = \frac{Q_{\text{від}}}{Q_{\text{під}}} \cdot 100 \%. \quad (16)$$

При експлуатації конденсаторів їх корпуси і трубопроводи з нагрітою водою не теплоізолюють, тому що при охолодженні теплої води після

конденсатора t_{b2} в градирні, теплота все одно відводиться у навколишнє середовище.

4.3 Визначення середнього коефіцієнта передачі теплоти від пари і конденсату до охолоджуючої води.

В досліджуваному конденсаторі лабораторної установки експериментально визначаємо середній коефіцієнт теплопередачі між теплоносіями, парове та теплове навантаження.

З геометричних розмірів конденсатора знаходимо площу поверхні теплопередачі, m^2 :

$$F_{\kappa} = \pi \cdot d_{cp} \cdot l \cdot n_{тр}. \quad (17)$$

Середній температурний напір між теплоносіями дорівнює, $^{\circ}C$:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{m}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{m}}}. \quad (18)$$

де $\Delta t_{m} = t_{\kappa} - t_{b1}$ – менша різниця температур, $^{\circ}C$;

$\Delta t_{\delta} = t_{н} - t_{b2}$ – більша різниця температур, $^{\circ}C$.

Ілюстрація зміни температур пари, конденсату і охолоджуючої води показано на рис. 3.

З рівняння передачі теплоти $Q = k \cdot F \cdot \Delta t_{cp}$ визначимо середній коефіцієнт передачі теплоти від пари і конденсату до охолоджуючої води, $Вт/м^2К$:

$$k = \frac{Q_{від}}{F \cdot \Delta t_{cp}}. \quad (19)$$

Слід відмітити, що в стаціонарному процесі плівкової конденсації пари на поверхні трубки в лабораторних умовах інтенсивність передачі теплоти досить велика $k = (5 \div 50) \cdot 10^3, Вт/м^2К$. В реальному конденсаторі має місце нерівномірність розподілу і конденсації пари на теплообмінній поверхні. В тій його зоні де значна частина пари вже сконденсувалась і відбувається переохолодження плівки конденсату (рис. 2, 3), та при надлишковій теплопередаючій поверхні, коефіцієнт теплопередачі зменшується до $k = 300 \div 500 Вт/м^2К$.

Середній коефіцієнт теплопередачі по всій поверхні теплообміну, наприклад в конденсаторах парових турбін, дорівнює $k = 2500 \div 3500 \text{ Вт/м}^2\text{К}$.

Парове навантаження конденсатора на 1 м^2 теплопередаючої поверхні за годину знаходиться як, $\text{кг/м}^2 \text{ год}$:

$$d = \frac{G_{\text{п}} \cdot 3600}{F}. \quad (20)$$

В промислових конденсаторах $d = 30 \div 60 \text{ кг/м}^2 \text{ год}$ і характеризує коректність розрахунків при проектуванні рекуперативного конденсатора. Якщо питоме парове навантаження знижено, це показує наявність зайвої теплепередаючої поверхні, тобто нераціональне збільшення капітальних витрат на виробництво конденсатора.

Питоме теплове навантаження, $\text{Вт/м}^2\text{с}$:

$$q = \frac{Q_{\text{в}}}{F}. \quad (21)$$

5 ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ ПРО ЛАБОРАТОРНУ РОБОТУ

Звіт про виконану лабораторну роботу повинен містити:

1. Мету і завдання лабораторної роботи.
2. Схему лабораторної установки і методик вимірювань.
3. Таблицю з результатами вимірювань.
4. Результати обробки опитних даних.
5. Висновки про організацію, методику проведення роботи і отримані знання і навички внаслідок виконання лабораторної роботи.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Сформулюйте поняття теплообмінного апарата.
2. Поясніть призначення, конструкцію та принцип дії рекуперативного конденсатора.
3. Які теплотехнологічні процеси протікають в конденсаторі?
4. Поясніть, як передається теплота від гарячого до холодного теплоносія через розділяючу стінку?
5. Поясніть, як експериментально вимірюються і розраховуються елементи теплового балансу конденсатора?
6. Поясніть значення таких експлуатаційних характеристик конденсатора, як кратність циркуляції, коефіцієнт теплопередачі від пари до води, питома парове навантаження.
7. Провести порівняльну оцінку газового, рідкого і парового теплоносіїв.
8. У яких випадках необхідно застосовувати ребрені поверхні теплообміну?
9. При якому відносному русі теплоносіїв середній температурний напір буде найбільшим?
10. Які фактори впливають на інтенсивність теплообміну (коефіцієнт теплопередачі) у поверхневих теплообмінниках?
11. Сформулюйте значення коефіцієнтів тепловіддачі, теплопровідності та теплопередачі між теплоносіями.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мінаковський В.М. Теплотехнологічні процеси та установки: посіб. /В. М. Мінаковський. – Київ.: НТУУ «КПІ», 2019. – 128 с.
2. Марценюк О.С. Процеси і апарати харчових виробництв : підруч. / О.С. Марценюк, Л.М. Мельник. – Київ.: НУХТ, 2011.– 407 с
3. Співак О. Ю., Резидент Н. В. Тепломасообмін. Частина I : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2021. 113 с.
4. Драганов Б.Х. Теплотехніка: підручник / А.А. Долінський, А. В. Міщенко, Є.М. Письменний.– Київ: «ІНКОС», 2005. – 504 с.
5. Пеньков В. І. Технічна термодинаміка : навч. посібник / В. І. Пеньков. – Рівне : НУВГП, 2010. – 209 с.
6. Константинов С.М., Панов Є.М. Теоретичні основи теплотехніки: Підручник. – К.: «Золоті ворота», 2012. – 592 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторної роботи
**«ВИПРОБУВАННЯ РЕКУПЕРАТИВНОГО
КОЖУХОТРУБНОГО КОНДЕНСАТОРА»**
за курсами «Теплотехнічні процеси та установки промислових
підприємств», «Енергетичні установки» для студентів технічних
спеціальностей всіх форм навчання

Укладачі: ПЕРЕСЬОЛКОВ Олександр Романович
ТАРАСЕНКО Олександр Миколайович

Відповідальний за випуск
Роботу до видання рекомендував

проф. Микола КУНДЕНКО
доц. Лариса ТЮТЮНИК

В авторській редакції

План 2023 р., поз. 116

Підп. до друку 16 . 02 . 2023. Формат 60×84 1/16. Папір офсетний.
Riso-друк. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1.
Наклад 50 прим. Зам. №_____. Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХП».
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

Самостійне електронне видання