



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства та  
природокористування

Кафедра експлуатації і ремонту машин

**033-66**

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни  
„Ресурсозбереження та екологічна безпека”  
для студентів напряму підготовки 6.050503 „Машинобудування”  
за професійним спрямуванням «Обладнання хімічних вироб-  
ництв і підприємств будівельних матеріалів»  
денної та заочної форми навчання

Затверджено  
методичною комісією  
напряму підготовки  
„Машинобудування”  
Протокол № 16 від 04.05.2010 р.

Рівне - 2010



Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни “Ресурсозбереження та екологічна безпека” для студентів напряму підготовки 6.050503 „Машинобудування” за професійним спрямуванням «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» денної та заочної форми навчання / І.О. Хітров, М.В. Голотюк, Б.П. Мимоход. – Рівне: НУВГП, 2010. – 32 с.

Розробники: І.О. Хітров – доцент, М.В. Голотюк – асистент  
Б.П. Мимоход – асистент

Відповідальний за випуск Гавриш В.С., доцент, завідувач кафедри експлуатації і ремонту машин.

### ЗМІСТ

<b>Лабораторна робота № 1.</b> Захист металів від корозії.....	3
<b>Лабораторна робота № 2.</b> Ресурсозбереження при відновленні деталей .....	10
<b>Лабораторна робота № 3.</b> Визначення коефіцієнта ефективності теплової ізоляції.....	14
<b>Лабораторна робота № 4.</b> Ефективність роботи системи опалювання при різних режимах циркуляції теплоносія.....	22
<b>Лабораторна робота № 5.</b> Інтенсифікація тепловіддачі нагрівального приладу .....	30

І.О. Хітров, 2010  
М.В. Голотюк, 2010  
© Б.П. Мимоход, 2010  
НУВГП, 2010



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1 ЗАХИСТ МЕТАЛІВ ВІД КОРОЗІЇ

**Мета роботи:** оволодіти методикою проведення корозійних випробувань металів в агресивних середовищах.

**Зміст робіт:** вивчити механізм корозії металів (без покриттів і з лакофарбовими покриттями) в агресивних середовищах, підготовка вхідних даних, вивчення обладнання, оснащення, інструментів для виконання роботи, проведення досліджень, оцінка результатів, оформлення звіту про виконану роботу.

**Обладнання, інструмент:** набір пластинок без покриття і з лакофарбовими покриттями, колби, мішалка, електродит.

### 1. Показники корозії

Основними показниками корозії при оцінці корозійної стійкості металів є наступні:

- зміна маси зразків;
- глибина корозійного руйнування;
- час до появи першого корозійного руйнування або їх кількість;
- зміна відбивної здатності поверхні металу;
- зміна електричного опору металу.

Визначення зміни маси зразків є простим і найбільш надійним методом, тому що безпосередньо вказує на кількість металу, зруйнованого корозією. Цей метод використовують у випадках, коли корозія носить рівномірний характер, наприклад при корозії в кислотах, при корозії маловуглецевої сталі і міді в атмосферних умовах.

Корозійні втрати маси зразка  $\Delta m$  (г/см<sup>2</sup>) обчислюють за формулою

$$\Delta m = \frac{(m_0 - m_1)}{F}, \quad (1.1)$$

де  $m_0$  – початкова маса зразка, г;

$m_1$  – маса зразка після видалення продуктів корозії, г;

$S$  – поверхня зразка, см<sup>2</sup>.

Швидкість корозії  $K$  (г/см<sup>2</sup>·год.) обчислюють за формулою

$$K = \frac{(m_0 - m_1)}{S \cdot t}, \quad (1.2)$$

де  $t$  – час випробування, год.



При визначенні корозії за цими показниками необхідно ретельно видаляти продукти корозії механічним способом – щіткою або шпателем. У тому випадку, коли продукти корозії механічно віддаляються важко, використовують електроліти, що розчиняють продукти корозії, але не реагують з металом.

При використанні електроліту необхідно переконатися, що в ньому не розчиняється основний метал. Для цього проводять контрольний досвід. Якщо в обраному електроліті втрата маси зразка, який не кородував, не перевищує 3-5 % від загальних втрат від корозії, його можна використовувати.

При визначенні втрати маси металу необхідно враховувати також площу кородованого металу. При точних визначеннях цю площу вимірюють зняттям відбитку на кальці, що накладається на зразок.

У випадках, коли корозія носить нерівномірний характер, вводиться „індекс нерівномірності”, що представляє собою відношення всієї площі зразка до площі, яка кородувала.

Для зручності розрахунків корозію іноді виражають товщиною шару зруйнованого металу – проникністю.

Перерахування втрати маси металу на проникність  $\Pi$  (мм/год) може бути обчислене за формулою

$$\Pi = \frac{K \cdot 10^{-3}}{\rho}, \quad (1.3)$$

де  $K$  – швидкість корозії, г/(м<sup>2</sup>·год.);

$\rho$  – густина металу, г/см<sup>3</sup>.

У тому випадку, коли корозія носить сильно нерівномірний характер (що спостерігається на алюмінієвих сплавах, низьколегованих і нержавіючих сталях), показник зміни маси металу повинний бути доповнений показником, що характеризує дійсну глибину проникнення корозії.

Для вимірювання глибини корозії використовують різні прилади. Найбільш точні виміри одержують при застосуванні оптичних приладів. Глибина корозійного руйнування може бути визначена за допомогою звичайного мікроскопа або оптико-механічного профілографа. Перевагами профілографа є можливість виміру глибини корозії та одержання в збільшеному масштабі фотографічного запису мікрогеометрії поверхні зразка.



Визначення корозійної стійкості за часом до появи першого корозійного руйнування або за часом до поширення корозії на визначеній частині зразка. Цим методом можна визначити не швидкість корозії, а лише ймовірність її виникнення. Він застосовується лише в тих випадках, коли корозія явно виділяється на фоні поверхні, яка не кородувала, наприклад при корозії сталі, алюмінієвих сплавів або нержавіючих сталей. Через простоту він широко застосовується на підприємствах.

При визначенні корозійної стійкості за площею, яка кородувала, вводять показник у вигляді балів, кожний з яких відповідає визначеній площі.

Визначення корозії при зміні електричного опору зразків застосовують, якщо в процесі корозії спостерігаються зміни перерізу зразків або відбуваються зміни в самому матеріалі за рахунок утворення тріщин, розшарування або міжкристалічної корозії. Найбільшу чутливість метод має при застосуванні зразків тонкого перерізу (дріт, тонкий лист).

При вимірюванні опору важливо забезпечити надійний контакт зі зразком, що забезпечують паянням або щільним клемним з'єднанням; місця контактів повинні бути надійно ізольовані від корозійного середовища.

Стійкість матеріалу до корозії можна характеризувати, обчислюючи не глибину проникнення корозії, а відносну зміну опору  $K_w$  за формулою

$$K_w = \frac{(R_1 - R_0)}{R_0}, \quad (1.4)$$

де  $R_1, R_0$  – відповідно опір зразка після і до корозії.

Цей метод використовують для визначення головним чином хімічної стійкості покриттів у кислотах.

Визначення корозії за зміною відбивної здатності поверхні металу використовується при вивченні початкових стадій корозії або процесів, що протікають з малою швидкістю. За зміною відбивної здатності можна побічно судити про стійкість металу в даній атмосфері. Цим методом не можна визначити абсолютну швидкість корозії, але він використовується для порівняння стійкості до корозії різних металів і покриттів. Метод застосовується для дослідження декоративних покриттів, нержавіючих сталей.



За цим методом про початкові стадії корозії (помутніння) судять за відносним коефіцієнтом відбиття  $K_{omp}$ , обчисленому за формулою:

$$K_{omp} = \frac{F_1}{F_2} \cdot 100, \quad (1.5)$$

де  $F_1$ ,  $F_2$  – сила фотоструму металевого зразка відповідно після випробування та еталонного зразка, мкА.

Для визначення сили фотоструму використовують фотоелектричний блискомір.

Слід зазначити, що оцінювати корозію за відбивною здатністю можна лише в тому випадку, коли на поверхні металу немає корозійних руйнувань. Цей метод є найкращим для приладів і конструкцій, відбиваюча здатність яких є найважливішою характеристикою (прожектори, рефлектори та ін.).

## 2. Випробування при повному зануренні в електроліт

Прискорені випробування металів зазвичай класифікують за умовами їхнього проведення. Основними з них є випробування при повному і періодичному зануренні в електроліти, а також випробування, що відтворюють атмосферні умови.

При корозії металів у кислих електролітах процес контролюється швидкістю водневої деполяризації. Цим же процесом контролюється корозія металів з амфотерними властивостями в лугах і частково – магнію і його сплавів – у нейтральних електролітах. У нейтральних електролітах корозія більшості металів контролюється швидкістю кисневої деполяризації.

При контролі процесу корозії металів за швидкістю водневої деполяризації збільшення швидкості корозії може бути досягнуто підвищенням концентрації водневих іонів, що зміщують потенціал водневого електрода в позитивну сторону і зменшують перенапруження водню в концентрованих розчинах сильних кислот. Цим методом варто користуватися тільки в тому випадку, коли метал знаходиться в активному стані. Для заліза, наприклад, концентрацію соляної кислоти можна збільшувати безмежно, концентрацію сірчаної кислоти – лише до 50-55 %, азотної кислоти – до 30-35 %.

Не менш ефективним методом зниження перенапруження водню є підвищення температури електроліту. Для металів, що характеризуються високим перенапруженням водню, підвищення температури на



1 град призводить до його зниження в середньому на 2-4 мВ. Хоча рухливість іонів водню велика і їхня концентрація в кислих розчинах достатня для того, щоб не настала концентраційна поляризація, в електролітах, що не розмішуються, з часом може спостерігатися гальмування процесу внаслідок утруднення відводу продуктів розчинення металів. У цьому випадку для збільшення швидкості корозійного процесу застосовують перемішування електроліту.

Для процесів корозії, що протікають з кисневою деполяризацією, при виборі методу прискореного випробування необхідно враховувати цілий ряд обставин. Розчинність кисню в нейтральних електролітах обмежена (у чистій воді при 20 °С вона складає 8-9 мг/л), тому, якщо провести випробування не в розмішених електролітах, швидко настає концентраційна поляризація за киснем, і процес сильно сповільнюється. Для запобігання цього прискорені випробування в нейтральних електролітах необхідно проводити в рідинах, що рухаються. Цього досягають як шляхом обертання зразків або шляхом руху рідини щодо зразків. Обидва прийоми сприяють збільшенню надходження кисню до поверхні металу і тим самим прискоренню катодного процесу.

При проведенні таких випробувань користуються приладами з обертовими зразками. При виборі частоти обертання зразків або руху електроліту варто враховувати, що при збільшенні доставки кисню не тільки підвищується швидкість катодного процесу, але і у визначених умовах може гальмуватися анодний процес, що призведе до зворотного результату, тобто до уповільнення корозії.

У морській воді, де концентрація іонів хлору велика, швидкість корозії зі збільшенням швидкості руху буде збільшуватися до величини 6-7 м/с.

Збільшити доставку кисню до металу можна не тільки розмішуванням, але і введенням додаткових деполяризаторів, наприклад пероксиду водню, що може відновлюватися і, крім того, при розкладанні якого збільшується концентрація кисню на поверхні металу. При прискорених випробуваннях у морській воді або 3 % розчині хлориду натрію додають 0,1 % пероксиду водню.

Нижче приведені склади електролітів, що застосовуються при прискорених випробуваннях металів при зануренні, які представлені в табл. 1.1.



Таблиця 1.1

Склад електролітів

Сплави	Електроліти
Маловуглецеві сплави	Природна морська вода 3 % розчин NaCl Розчин з вмістом 30 мг/л NaCl і 70 мг/л Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Алюмінієві сплави	3 % розчин NaCl+0,1 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Штучна морська вода Розчин з вмістом 30 мг/л NaCl і 70 мг/л Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Мідні сплави	Штучна морська вода 3 % розчин NaCl
Цинк і цинкові сплави	3 % розчин NaCl
Нержавіючі сплави	Розчини кислот з добавками NaCl 3 % розчин NaCl

Способи апаратного оформлення випробовувань при повному зануренні металу в розчин залежать від того, проводяться випробовування в спокійному електроліті, чи в електроліті, який перемішується. Найпростіші способи випробовування у відкритій посудині представлені на рис. 1.1.

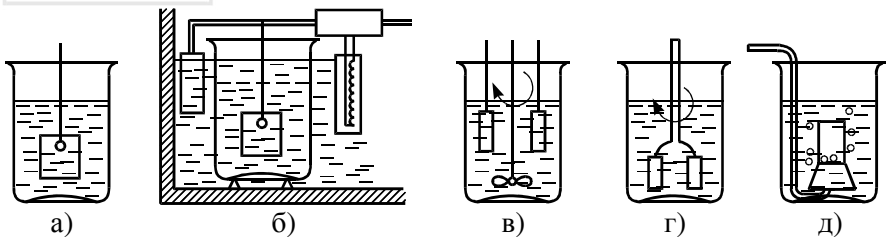


Рис. 1.1. Способи випробовування металевих зразків при зануренні в електроліт: а – в кімнатних умовах; б – нагрівом; в, г – перемішування мішалкою; д – пропускання повітря.

При проведенні випробовувань в умовах розмішування електроліту в посудину із зразками поміщають скляну мішалку або розмішують електроліт електромагнітною мішалкою (рис. 1.1, в і г). Електроліт можна перемішувати і шляхом пропускання повітря під тиском (рис. 1.1, д).



При випробовуванні матеріалів, які призначені для трубопроводів, лабораторні випробування проводять на спеціальних установках, в яких передбачена циркуляція рідини.

### 3. Послідовність виконання роботи

1. Ознайомитись з методичними вказівками виконання лабораторної роботи.
2. Підготувати пластини з маловуглецевої сталі. Очистити їх від консерваційного мастила. Оцінити візуально відсутність корозії.
3. Визначити площі пластин, зважити їх і записати результати в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

№ пластини	Матеріал	Наявність захисного покриття	Маса пластини, г	
			початкова	після корозії

3. Приготувати електроліт і заповнити ним нумеровані колби.
4. Занурити пластини у колби. Записати час занурення.
5. Після тривалого процесу корозії вийняти пластини, промити, очистити їх від продуктів корозії.
6. Виміряти масу після видалення продуктів корозії.
7. Визначити корозійні втрати маси  $\Delta m$  пластин за формулою 1.1. Визначити швидкість корозії  $K$  за формулою 1.2.
8. Зробити висновки.
9. Провести організаційно-технічне обслуговування робочих місць. Здати робоче місце майстру.

**4. Контрольні питання.** Якими прискореними методами визначають корозійну стійкість металів? Як визначають швидкість корозії металів? Якому способу необхідно надати перевагу для перевірки корозійної стійкості дроту? Якими способами можна прискорити процес корозії?



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ

**Мета роботи.** Визначення втрат матеріальних ресурсів і ресурсоощадливості при відновленні деталей.

**Зміст роботи.** Виявити дефекти типових деталей, визначити витрати матеріальних ресурсів для усунення дефектів деталей і їх економію.

**Обладнання і оснащення робочого місця.** Зразки деталей машин і обладнання; технічні умови на дефектування деталей; вимірювальні інструменти: штангенциркулі ШЦ I-125-0,1 і ШЦ II-160-0,05; мікрометри МК-25;-50;75;100;125; нутроміри НИ 18-30, 30-50, 50-100, 100-160; лінійка 300.

### 1. Загальні положення

Відновлення деталей є головним чинником зменшення вартості ремонту машин і обладнання і його складових частин, раціонального використання матеріальних та енергетичних ресурсів, зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Вартість відновлення деталей становить 30-60 % від вартості нових деталей (запасних частин). Затрати на запасні частини досягають 50 % і більше собівартості ремонтних робіт. З погляду ресурсоспоживання відновлення деталей доцільне, так як втрати маси деталей при зношенні – 0,2-0,3 % для більшості деталей, а витрати металу для відновлення в десятки разів менші, ніж при виготовленні деталей. Вартість ремонтних матеріалів складає 6-8 % собівартості відновлення. В той же час, як витрати на метал та виготовлення заготовок – 70-75 % собівартості деталей. Крім того, виробництво металу, виготовлення заготовок, найбільш енергозатратна стадія виготовлення деталей і не краща в екологічному відношенні.

Визначення споживання матеріальних ресурсів при відновленні деталей зводиться до наступного:

- установлення методів відновлення дефектів деталей зв'язаних з нарощуванням поверхонь деталей, застосування яких супроводжується додатковими витратами матеріалів;
- визначення геометричних розмірів деталі, від яких залежать витрати матеріалів;
- розрахунків за геометричними розмірами об'ємів і маси витрати матеріалів та частки витрачених матеріалів по відношенню до маси



деталей.

Масу нарощуваного матеріалу на деталь розраховують за формулою:

$$G = V \cdot \gamma, \quad (2.1)$$

де  $V$  – об'єм нарощуваного матеріалу,  $\text{см}^3$ ;

$\gamma$  – густина нарощуваного матеріалу, для заліза  $\gamma = 7,8-7,85 \text{ г/см}^3$ , для хрому  $\gamma = 6,9 \text{ см}^3$ .

Величина шару нарощуваного матеріалу залежить від величини зношення і міжопераційного припуску. Якщо нарощування виконують безпосередньо на зношену поверхню, то товщину матеріалу для симетрично зношених деталей визначають за формулою:

$$h_{ш} = \delta_{зн} + 2 \cdot z_{min}, \quad (2.2)$$

- для несиметрично зношеної:

$$h_{ш} = \delta_{зн} + z_{min}, \quad (2.3)$$

де  $\delta_{зн}$  – величина зношення поверхні, мм;

$z_{min}$  – мінімальний односторонній припуск на наступну обробку, мм.

Величину зношення поверхні  $\delta_{зн}$  визначають як різницю між номінальним розміром нової  $P_n$  і зношеної деталі  $P_{зн}$ , тобто

$$\delta_{зн} = P_n - P_{зн}. \quad (2.4)$$

Мінімальні односторонні припуски при відновленні поверхонь деталей наплавленням та металізацією становлять:

- для ручного наплавлення – 1,5-2,5 мм;
- для наплавлення під шаром флюсу – 1,0-1,5 мм;
- для вібродугового наплавлення – 0,8-1,2 мм;
- для металізаційного напилення – 0,4-1,0 мм;
- для гальванічного нарощування залізненням – 0,15-0,30 мм;
- для гальванічного нарощування хромуванням – 0,05-0,1 мм.

При усуненні дефекту методом додаткової деталі зношений отвір розточують під збільшений діаметр на 5-10 мм, в який запресовують втулку. Внутрішній отвір втулки повинен мати припуск на обробку під номінальний розмір (зменшений на 0,5-1,0 мм).

При відновленні деталей гальванічним способом, враховуючи незначну товщину нарощуваних шарів, нерівномірність зношення поверхонь і необхідність забезпечити якість зчеплення, перед нарощуванням поверхні піддають тонким методам обробки ( $t=0,03-0,05$  мм). Товщину нарощеного шару розраховують за формулою:



$$h_{uu} = \delta_{zn} + 2 \cdot t + 2 \cdot z_{min} \quad (2.5)$$

При відновленні різей під номінальний розмір наплавленням з поверхонь знімають шар на висоту різі:

$$t = \frac{d_{zp} - d_{ep}}{2}, \quad (2.6)$$

де  $d_{zp}$  і  $d_{ep}$  – відповідно зовнішній і внутрішній діаметр різьби, мм.

Для розрахунків можна прийняти, що висота різі рівна кроковій різі.

Формула для визначення товщини нарощуваного шару в цьому випадку приймає вигляд:

$$h_{uu} = 2 \cdot t + 2 \cdot z_{min}. \quad (2.7)$$

## 2. Послідовність виконання роботи

1. Для виконання роботи групу розподіляють на бригади. За кожною бригадою в залежності від конструктивної складності закріплюється деталь або декілька деталей.

2. На робочому місці бригада проводить заміри елементів деталі, призначає способи усунення дефектів, визначає товщини нарощуваного шару для відновлюваних поверхонь (формули 2.2-2.7).

3. Накреслити ескізи відновлюваних елементів, проставити розміри, розрахувати витрати матеріалів в об'ємних та масових одиницях для усунення кожного дефекту та загальні витрати за видами матеріалів для всіх дефектів деталі.

4. Визначити ресурсоощадливість відновлення деталі порівнянням маси деталі та витратами матеріалів для відновлення деталі, розрахувати відносні витрати матеріалів при відновленні.

5. Скласти підсумкову таблицю (табл. 2.1) абсолютних і відносних витрат матеріалів деталей. Дані по витратах матеріалів для деталей, з якими не працювали взяти у студентів, що працювали з цими деталями.

6. Скласти звіт про роботу.

Звіт про роботу повинен містити:

1. Ескізи елементів деталі, для яких визначались витрати матеріалів для усунення дефектів.

2. Розрахунки товщини нарощуваних шарів відновлювальних поверхонь.

3. Розрахунки витрат матеріалів в об'ємних і масових одиницях для кожного дефекту і деталі.



4. Розрахунки відносних витрат матеріалів для відновлення деталі.
5. Підсумкову таблицю витрат матеріалів для заданих деталей.
6. Висновки по роботі.

Таблиця 2.1

Витрати матеріалів на відновлення деталей двигуна

Деталь	Матеріал деталі	Маса, кг	Назва, марка нарощуваного матеріалу	Витрати матеріалу		Спосіб відновлення
				абсолютні, г	відносні, %	

**3. Контрольні питання.** 1. Роль відновлення деталей в ефективності і ресурсозбереженні ремонту машин і обладнання. 2. Методика визначення споживання матеріальних ресурсів при відновленні деталей. 3. Вихідні дані для розрахунків витрат матеріалів. 4. Визначення товщини шару нарощуваного матеріалу. 5. Визначення об'ємів нарощуваного матеріалу для тріщин, накладок, шийок валів, отворів, шпонкових пазів. 6. Визначення об'ємів витрат матеріалів для усунення дефектів методом додаткової деталі. 7. Від яких факторів залежать відносні витрати матеріалів при відновленні деталей?



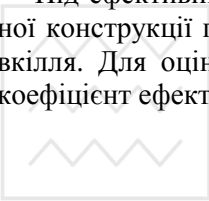
## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ

**Мета роботи:** визначити матеріал теплової ізоляції трубопроводу і коефіцієнт його ефективності.

Для усунення тепловтрат всі трубопроводи теплового пункту ізолюються. Товщина ізоляційного шару залежить від його теплофізичних властивостей, і зокрема від коефіцієнта теплопровідності.

Завдання даної лабораторної роботи полягає в тому, щоб за температурою на поверхні теплової ізоляції і товщині конструкції визначити коефіцієнт теплопровідності, виявити використаний теплоізоляційний матеріал і розрахувати коефіцієнт ефективності.

Під ефективністю теплової ізоляції розуміється здатність ізоляційної конструкції перешкоджати переходу теплоти від теплоносія в довкілля. Для оцінки якості ізоляційної конструкції використовується коефіцієнт ефективності:


$$\eta = 1 - \frac{\Phi_n}{\Phi_H}, \quad (3.1)$$

де  $\Phi_n$ ,  $\Phi_H$  – потоки теплоти від теплоносія в довкілля через ізольований і неізольований трубопровід, Вт.

ККД теплової ізоляції відповідає коефіцієнту ефективності, вираженому у відсотках:

$$\eta = \left(1 - \frac{\Phi_n}{\Phi_H}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{q}{q_1}\right) \cdot 100. \quad (3.2)$$

### 3.1. Опис лабораторної установки

На ділянці ізольованого трубопроводу, що подає теплоносій в пластинчастий теплообмінник, вимірюємо зовнішній діаметр неізольованої труби  $d$  і діаметр ізольованої конструкції  $d_c$  ізоляції, що складається з шару, із зовнішнім покриттям склопластика марки ФСП  $\delta_c = 0,3$  мм (рис. 3.1).



Коефіцієнт теплопровідності склопластика

$$\lambda_c = 0,041 + 0,00029 \cdot t_n. \quad (3.3)$$

Зовнішній діаметр ізоляції

$$d_{i3} = d_c - 2 \cdot \delta_c$$

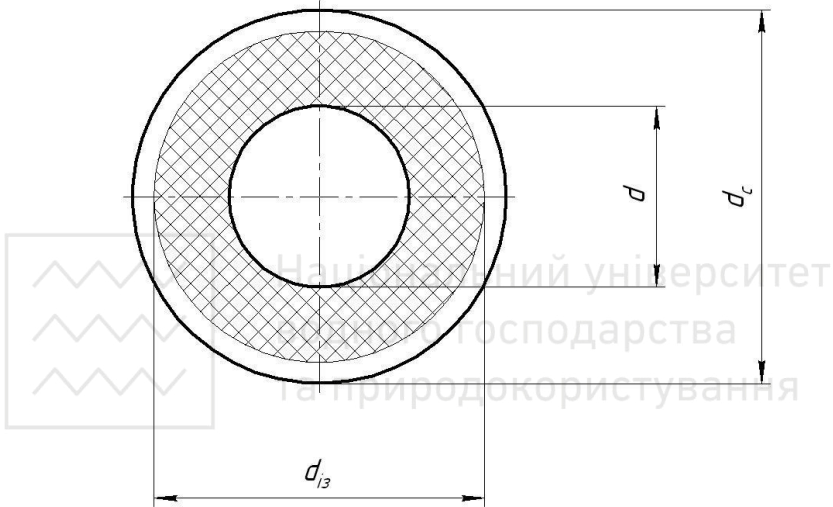


Рис. 3.1 Поперечний розріз трубопроводу

Для вимірювання температури на поверхні ізоляційної конструкції і неізольованої поверхні труби застосовується універсальний вимірювальний прилад Testo-635.

Прилад Testo-635 складається з корпусу, на якому розташовані дисплей і клавіші керування, а також вимірювальних зондів (рис. 3.2).

В середині зонда T1, призначеного для вимірювання параметрів довкілля, розміщені термопара і датчик вологості. Для визначення температури на поверхні ізоляції до приладу приєднується зонд T2.

Зонди з'єднуються з приладом кабелем за допомогою виводів б. При їх підключенні слід дотримувати полярність.



Зонд Т1 вимірює відносну вологість в діапазоні 0 – 100 % і температуру в діапазоні - 20... +140 °С.

Похибка вимірювання вологості складає  $\pm 2\%$  в межах всього діапазону, а похибка вимірювання температури різна і приймається по таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Похибки вимірювання температури зондом Т1

Діапазон вимірювання, °С	Похибка вимірювання, °С
від -20 до 0	$\pm 0,5$
більше 0 до +50	$\pm 0,4$
більше +50 до +80	$\pm 0,5$
більше +80 до +140	$\pm 1,2$

Зонд Т2 дозволяє вимірювати температуру поверхні в усьому діапазоні - 50...+1000 °С з похибкою  $\pm 1$  °С.

Порядок роботи з приладом Testo-635 (рис. 3.2) наступний:

1. Підключити до приладу два зонди, Т1 і Т2.
2. Включити прилад натисненням клавіші «I/O». Після короткого само тесту на індикаторі прилад готовий до роботи.
3. При натисненні клавіші «Т1/Т2/td» на екрані висвічуються два значення і стрілкою показується, яка величина виміряна: верхня цифра відповідає відносній вологості  $\phi$ , %, а нижня – температурі Т1 °С. Поява символу «Bat» на екрані свідчить про закінчення ресурсу елементів живлення.
4. Натиснення клавіші «Т1/Т2/td» дає значення температур Т1 і Т2.
5. Після закінчення роботи з приладом вимкнути його натисненням клавіші «I/O».

Визначення поточних, максимальних і мінімальних значень вимірюваних величин здійснюється повторними натисненнями клавіші «Hold/max/min». У приладі є вмонтований годинник і календар.

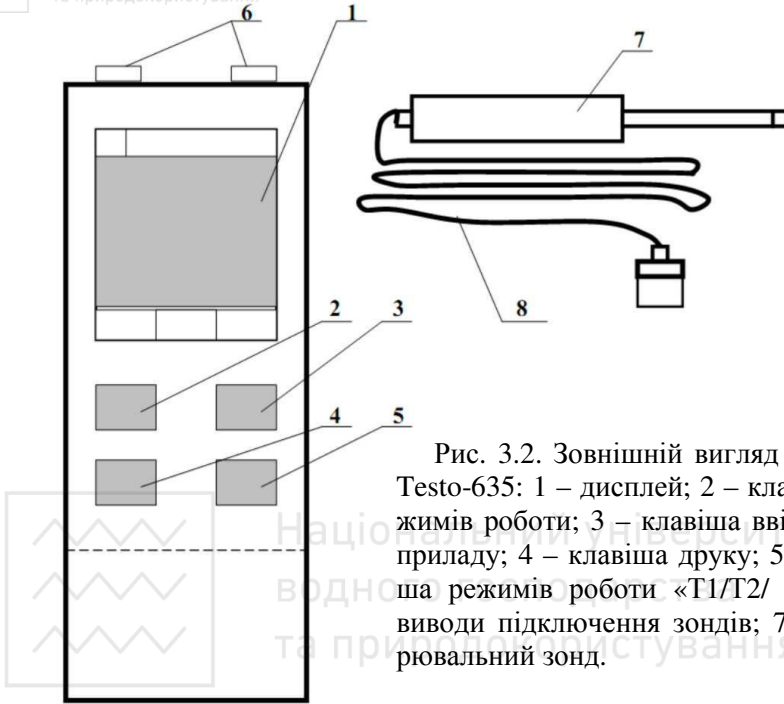


Рис. 3.2. Зовнішній вигляд приладу Testo-635: 1 – дисплей; 2 – клавіша режимів роботи; 3 – клавіша ввімкнення приладу; 4 – клавіша друку; 5 – клавіша режимів роботи «Т1/Т2/ td»; 6 – виводи підключення зондів; 7 – вимірювальний зонд.

Норми щільності теплового потоку  $q^H$  при розташуванні трубопроводу в приміщенні і кількості годин роботи за рік 5 000 і менш приймаються із таблиці 3.2. Величина нормованого значення залежить від температури води в мережі  $T^H$ .

Таблиця 3.2

Норми щільності теплових споживачів

$d$ , мм		40	50	65	80	100	125	150	200
$q_n$ , Вт/м	$T_2^H = 50\text{ }^\circ\text{C}$	13	15	17	20	22	25	28	36
	$T_2^H = 100\text{ }^\circ\text{C}$	29	32	37	41	45	51	56	70

При порівнянні коефіцієнтів теплопровідності, отриманих розрахунковим шляхом, з довідковими даними використовуються наступні значення:



- а) зволожена мінеральна вата:  $\lambda = 0,5-0,9 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ;  
 б) пінополіуретан:  $\lambda = 0,035 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ;  
 в) фенольний поропласт:  $\lambda = 0,05 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ;  
 г) мати мінераловатні прошивні:  $\lambda = 0,045 + 0,00021 \cdot t_{\text{cp}}, \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ;  
 д) півциліндри мінераловатні на синтетичній основі:  
 $\lambda = 0,049 + 0,00021 \cdot t_{\text{cp}}, \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ .

де  $t_{\text{cp}}$  – середня температура ізоляційного шару, °С.

### 3.2. Методика виконання лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи необхідно включити електропроводнагрівач і циркуляційний насос.

Привести в робочий стан прилад Testo-635. Після досягнення стаціонарного режиму, коли температура теплоносія  $T_g = \text{const}$ , приладом Testo-635 провести вимір відносної вологості  $\phi$  і температури навколишнього повітря  $T_1$ , температури поверхні неізольованої труби  $T'_2$  і поверхні ізоляційної конструкції  $T_2$ .

Рідинним термометром виміряти температуру теплоносія  $t_2$  і навколишнього повітря  $t_1$ .

На підставі вимірянних даних заповнити таблицю 3.3.

Таблиця 3.3

Експериментальні дані

№ з/п	Дата і час	Покази Testo-635				Вимірювання термометром, °С		Похибка вимірів, %	
		зонд 1		зонд 2		$t_1$	$t_2$	$\Delta_1$	$\Delta_2$
$T_1$ , °С	$\phi$ , %	$T_2$ , °С	$T'_2$ , °С						

Порівняти значення  $T_1 \approx t_1$  і  $T_2 \approx t_2$ . Оцінити похибку вимірів:

$$\Delta_1 = \frac{T_1 - t_1}{T_1} \cdot 100; \quad \Delta_2 = \frac{T_2 - t_2}{T_2} \cdot 100. \quad (3.4)$$

Значення знімати через 10-15 хвилин.



Виміряти діаметр неізолюваної труби  $d$ , зовнішній діаметр ізоляційної конструкції  $d_c$  і визначити  $d_{iz}$ .

За значенням  $T_2'$  і діаметру неізолюваної труби з таблиці 3.2 виписати значення нормованої щільності теплового потоку  $q_H$ .

Дані записати в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4

Розрахункові значення теплоізоляційної конструкції

$d$ , мм	$d_c$ , мм	$d_{iz}$ , мм	$T_2'$ , °C	$q_H$ , Вт/м	$t_{cp} = \frac{T_2 + T_2'}{2}$ , °C

### 3.3. Обробка експериментальних даних

Дійсна лінійна щільність теплового потоку в умовах експерименту визначається за формулою:

$$q = q^H \cdot \frac{T_2}{T_2^H} \quad (3.5)$$

Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha$  Вт/(м<sup>2</sup>·К), від поверхні теплопроводу в довкілля визначається по наступному виразу:

$$\alpha = 9,4 + 0,052 \cdot (T_2 - T_1) \quad (3.6)$$

Для неізолюваної труби при визначенні  $\alpha_n$  замість значення  $T_2$  підставляється  $T_2'$ .

Коефіцієнт теплопровідності ізоляційного матеріалу, Вт/(м·К)

$$\lambda_{iz} = \frac{\ln \frac{d_{iz}}{d}}{\left( \frac{T_2 - T_1}{q} - \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} \ln \frac{d_c}{d_{iz}} - \frac{1}{\pi \cdot d_c \cdot \alpha} \right) \cdot 2 \cdot \pi} \quad (3.7)$$

Для вищенаведених видів теплоізоляційних матеріалів за величиною  $t_{cp}$  знаходимо значення коефіцієнтів теплопровідності  $\lambda$  і порівнюємо їх з отриманою величиною  $\lambda_{iz}$ .

Результати обробки експериментальних даних зводимо в таблицю 3.5.



Таблиця 3.5

Результати обробки експериментальних даних

№ з/п	$\lambda$ , Вт/(м·К)					$\lambda_{із}$ , Вт/(м·К)	Вигляд ізоляційного матеріалу
	а	б	в	г	д		

Лінійна щільність теплового потоку ізольованого теплопроводу, Вт/м:

$$q = \frac{T_2 - T_1}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{із}} \ln \frac{d_{із}}{d} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} \ln \frac{d_c}{d_{із}} + \frac{1}{\pi \cdot d_c \cdot \alpha}} \quad (3.8)$$

Лінійний тепловий потік неізольованої труби, Вт/м:

$$q' = \pi \cdot d \cdot \alpha_n \cdot (T'_2 - T_1) \quad (3.9)$$

На підставі розрахункових значень заповнюємо таблицю 3.6.

Таблиця 3.6

Результати обробки розрахункових даних

$t_{cp}$ , °С	$\lambda_{із}$ , Вт/(м·К)	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)		Вт/м		$\eta$ , %
		$\alpha$	$\alpha_n$	$q$	$q'$	

Ефективною вважається тепла ізоляція, в якій  $\eta \geq 80$  %.

За підсумками вимірів і обробки експериментальних даних зробити висновок про ефективність або неефективність ізоляційної конструкції.

**Контрольні питання**

1. Призначення теплової ізоляції.
2. Від яких параметрів залежать питомі теплові втрати через ізоляційну конструкцію?
3. Як визначається ефективність ізоляції і від чого вона залежить?
4. Як впливає температура довкілля на питомі тепловтрати ізоляційної конструкції?



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

### ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ СИСТЕМИ ОПАЛЮВАННЯ ПРИ РІЗНИХ РЕЖИМАХ ЦИРКУЛЯЦІЇ ТЕПЛОНОСІЯ

**Мета роботи:** Вивчення роботи автоматизованого теплового пункту при різних режимах роботи циркуляційного насоса.

#### 4.1. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка є моделлю автоматизованого теплового пункту. Схема лабораторної установки показана на рис. 4.1.

Дана схема складається з наступних основних елементів: А – джерела теплоти; Б – автоматизованого теплового пункту; У – місцевої системи опалення.

*Як джерело теплоти (А)* використаний проточний електричний водонагрівач ЕПВЗ-15, що моделює роботу котельні. Принцип роботи водонагрівача заснований на нагріві водопровідної мережевої води, що проходить через резервуар. Мережева вода нагрівається до 65-75 °С залежно від інтенсивності її відбору.

*Автоматизований індивідуальний тепловий пункт (Б)* призначений для розподілу теплоносія між системами опалювання, вентиляції і гарячого водопостачання (у нашому випадку – лише опалювання), обліку теплоти, автоматичного регулювання її відпуску, підтримка заданої температури повітря в приміщеннях, а також захисту системи від спожиття і підвищеного тиску.

*Місцева система опалювання (В)* складається з нагрівального приладу, що моделює роботу системи опалювання будівлі, подаючого і зворотного трубопроводів з перемичкою між ними і встановленого на подаючій лінії насоса. Як нагрівальний прилад використовується опалювальний конвектор МІФ-200, що складається з литих алюмінієвих секцій, напесованих на дві сталеві труби.

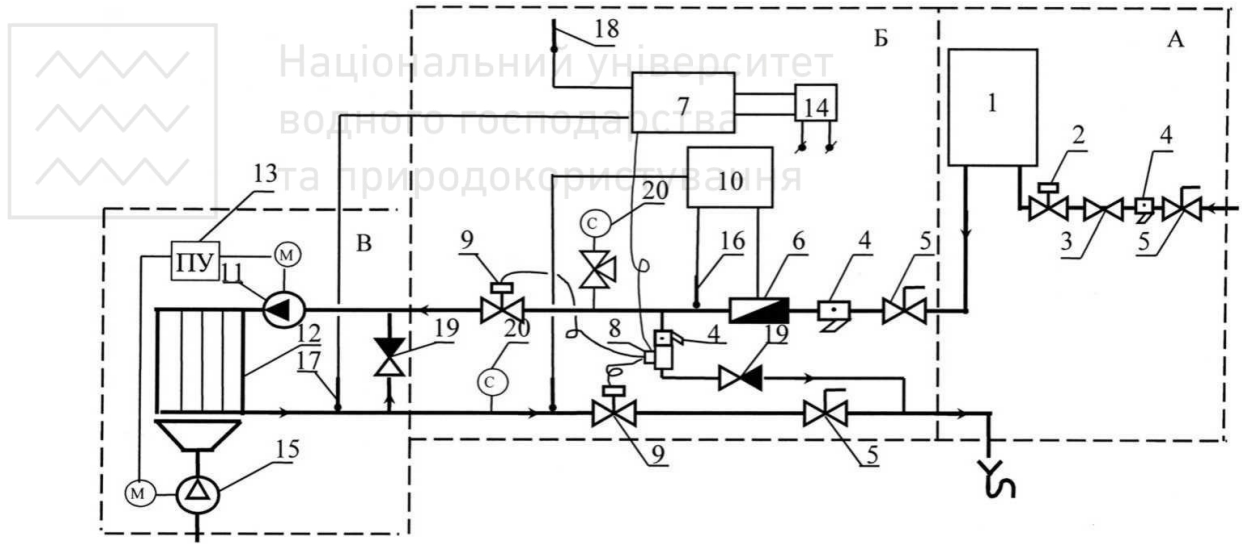


Рис. 4.1. Автоматизований тепловий пункт: 1 – проточний електроводонагрівач; 2 – поточковий вимикач; 3 – клапан запобіжний; 4 – фільтр; 5 – кран-клапан; 6 – водомір; 7 – блок автоматичного регулювання температури; 8 – електромагнітний клапан; 9 – регулятор витрати води; 10 – тепло лічильник; 11 – насос; 12 – конвектор; 13 – пульт керування насосом і вентилятором; 14 – пульт керування блоком автоматичного регулювання температури; 15 – вентилятор; 16 – датчик температури в напірному трубопроводі; 17 – датчик температури у зливному трубопроводі; 18 – датчик зовнішньої температури; 19 – зворотній клапан; 20 – манометр



#### Технічні характеристики конвектора:

- номінальний тепловий потік однієї секції, кВт	0,2
- площа нагрівальної поверхні однієї секції, м <sup>2</sup>	0,4
- кількість секцій в конвекторі, шт.	4
- об'єм теплоносія на 1 кВт потужності, л	0,7

Малий об'єм теплоносія, висока тепловіддача і можливість швидкого регулювання температури нагрівальної поверхні забезпечує економію теплової енергії в розмірі 15-20 % у порівнянні з використанням радіатора.

На подаючій лінії перед нагрівальним приладом встановлений насос марки Wilo-Star-RS 25/4.

Перемичка в місцевій системі опалювання служить для підмішування води із зворотного трубопроводу і створення циркуляції в опалювальній системі при відключенні подачі мережевої води регулювальником опалювання.

Регулювальник опалювання ST-1 з програмним керуванням працює за принципом гідравлічного електромагнітного привода з використанням коробки сильфону. Він призначений для економії теплоти за рахунок автоматичної підтримки температури повітря в приміщеннях  $T$  залежно від температури зовнішнього повітря  $T_a$  і температури зворотної води  $T_w$ .

Програмне керування забезпечує процесор, який керує виконавчим механізмом, аналізуючи температури  $T$ ,  $T_a$  і  $T_w$ .

Команди на закривання-відкриття універсального електромагнітного клапана 8 виробляє контролер залежно від показників датчиків температур.

У разі спрацьовування електромагнітного клапана імпульс поступає на регулювальники витрати води 9, які повністю перекривають прохід мережевої води. Циркуляція води в опалювальному приладі здійснюється лише за допомогою насоса 11. Циркуляційний насос Wilo-Star-RS 25/4 може працювати в трьох режимах: економічному, середньому і максимальному.

Економічний («есо») режим здійснюється при числі обертів  $n = 1200 \text{ хв}^{-1}$ ; середній –  $n = 1650 \text{ хв}^{-1}$  і максимальний («max») –  $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ .

Блок автоматичного регулювання температури у складі ST-1 забезпечує:



- одночасне зберігання в пам'яті до 8 програм;
- програмування температурного режиму по годиннику доби;
- програмування температурного режиму по днях тижня;
- індикацію  $T_a$  від  $-45$  до  $+50$  °С;
- індикацію  $T_w$  від  $20$  до  $90$  °С;
- програмування трьох температурних режимів: комфортної температури, чергової температури і температури не замерзання системи ( $+7$  °С);
- програмування температурного режиму для 10 святкових днів в році;
- рахунок і індикацію поточного часу (години, хвилини), календаря (день тижня, рік, місяць, число).

На індикаторі регулювальника висвічуються значення вимірюваних і програмованих величин.

Автоматизований тепловий пункт обладнаний теплолічильником 10 марки Supercal, на індикаторі якого висвічуються: теплова потужність (кВт); витрата теплоти (Мвт·год.); витрата теплоносія ( $m^3$ /год); температури в подаючому і зворотному трубопроводах (°С); різниці температур (°С); витрата води (л/год.) і час роботи лічильника (год).

#### 4.2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з лабораторною установкою і ввімкнути її. Підготувати таблицю форми (таблиця 4.1), що рекомендується, для запису результатів вимірів. Налаштувати регулювальник опалювання. При виході установки на стаціонарний режим роботи (температури теплоносія і витрата не повинні змінюватися) почати вимірювання з ввімкненим регулювальником опалювання ST-1, знімаючи свідчення водоміра, теплолічильника, термометрів.

2. Покази приладів знімати кожні 10 хв.

3. Вимірювати температуру поверхні конвектора і доквіллія на відстані 0,5 м від поверхні конвектора за допомогою приладу Testo-635. Точки виміру температури поверхні конвектора приведені на рис. 4.2

Результати вимірювань

Таблиця 4.1

Час, год.	Режим	Показники водо- міру $V$ , л	Виміри																	
			За лічильником		За термометрами				За приладом Testo-635											
			Об'єм теплоно- сія $V^1$ , $\text{м}^3/\text{год.}$	Теплова потуж- ність $\Phi$ , кВт	Температура, °С						Поверхні МІФ-200									
					Зовні- шнього повітря $T_a$	Зворот- ньої води $T_w$	$t_r$	$t_o$	Навко- лиш- нього повітря $t_{вн}$	1	2	3	4	5	6					
	З ввімкненим регуля- тором ST-1																			
	З вимкненим регулятором ST-1																			
	З вимкненим регуля- тором ST-1, насос «есо»																			
	З вимкненим регулятором ST-1, насос середній																			
	З вимкненим регуля- тором ST-1, насос «мах»																			



4. Знявши три виміри, по вказівці викладача вимкнути регулювальник опалювання ST-1 і провести три виміри аналогічно п. 1-3. Результати занести в таблицю 4.1.

5. На пульті управління ПУ, натиснути ліву кнопку, увімкнути в роботу насос в режимі «есо», перемкнути насос на режим середній, а потім в режим «max». У кожному режимі провести по три виміри всіх величин. Виміри ведуться при вимкненому регулювальнику опалювання.

6. Після закінчення роботи вимкнути установку. Результати вимірів показати викладачу.

7. Приймати задану температуру в приміщенні  $T = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

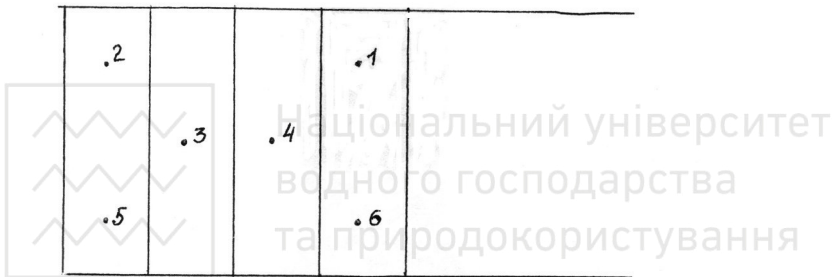


Рис. 4.2 Точки вимірювання температури на поверхні конвектора

### 4.3. Обробка експериментальних даних

Обробка експериментальних даних зводиться до визначення витрати теплоти для всіх режимів роботи установки і виявлення економії теплоти за рахунок використання регулювальника ST-1 і різних режимів роботи насоса.

Середня масова витрата мережевої води, кг/с, через тепловий пункт

$$G = \frac{V \cdot \rho \cdot 10^{-3}}{\Delta\tau}, \quad (4.1)$$

де  $V$  – об'єм мережевої води, що пройшла через установку за час її роботи у відповідному режимі, л;

$\Delta\tau$  – час роботи, с;

$\rho$  – густина води.



Розрахункова витрата теплоти на опалювання за час роботи у відповідних режимах, кВт

$$\Phi_o = c_p \cdot G \cdot \Delta t, \quad (4.2)$$

де  $c_p$  – ізобарна питома теплоємність води, кДж/(кг·К);

$\Delta t$  – середня різниця температур, °С.

При вимкненні регулювальника ST-1 система опалювання працює за рахунок циркуляції тієї води, яка заповнювала конвектор, трубопроводи і перемичку, і часткового доповнення з теплообмінника.

Економія теплоти за час роботи  $\Phi$  установки при використанні регулювальника ST-1

$$\Phi = \frac{\Phi_o - \Phi_p}{\Phi_o} \cdot 100, \quad (4.3)$$

де  $\Phi_p$  – витрата теплоти на опалювання за час роботи установки з вимкненим регулювальником при різних режимах роботи насосів.

Тепловий потік конвектора системи опалювання для різних режимів роботи системи і насоса, кВт

$$\Phi_p = 0,0043 \cdot \Delta t_{cp}^{1,2} \cdot G_{np}^{0,03}, \quad (4.4)$$

де  $G_{np}$  – масова витрата теплоносія, кг/год,  $G_{np} = 3600 \cdot G$ .

Всі отримані розрахункові дані вписуємо в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2

Результати обробки експериментальних даних

Режим		$G$ , кг/с	$\Delta t$ , °С	$\Phi_o$ , кВт	$\Delta t_{cp}$ , °С	$G_{np}$ , кг/год	$\Phi_p$ , кВт	$\Phi$ , кВт
з включеним регулювальником опалювання								
з вимкненим регулювальником опалювання								
режим роботи насоса з вимкненим регулювальником	«есо»							
	середній							
	«max»							



Порівнюємо отримані результати і будуємо графіки  $\Phi_p = f(\Delta t)$ ,

$\Phi = f(\Delta t)$ .

Зробити висновок про ефективність використання циркуляційного насоса.

### ***Контрольні питання***

1. Призначення автоматизованого індивідуального теплового пункту.
2. Яким чином здійснюється автоматичне регулювання відпуску теплової енергії?
3. Призначення установки циркуляційного насоса і перемички.
4. Який з наявних режимів роботи насоса дає велику економію теплової енергії?





## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5 ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛОВІДДАЧІ НАГРІВАЛЬНОГО ПРИЛАДУ

**Мета роботи:** визначення теплових потоків системи опалювання при різних режимах роботи і обдуванні нагрівального приладу за допомогою вентилятора.

### **5.1 Опис лабораторної установки**

Лабораторна робота проводиться на моделі автоматизованого теплового пункту з імітацією системи опалювання.

Для інтенсифікації процесу тепловіддачі від конвектора МІФ-200 в довкілля встановлений осьовий вентилятор, який обдуває повітрям всю поверхню приладу. Включення вентилятора здійснюється за допомогою правої кнопки на пульті управління ПУ.

### **5.2 Порядок виконання лабораторної роботи**

1. Ознайомитися з лабораторною установкою і приладами вимірювання температури поверхні конвектора і швидкості повітряного потоку.

Для вимірювання температур поверхні конвектора і довкілля використовується прилад Testo-635.

Для вимірювання швидкості потоку повітря навколо конвектора використовується прилад Testo-425, принцип роботи якого аналогічний приладу Testo-635.

Ввімкнути установку. Підготувати таблицю форми (таблиця 5.1), що рекомендується, для запису результатів вимірів.

2. При виході установки на стаціонарний режим роботи (температура теплоносія і витрата мають бути постійними) зняти покази по водоміру і теплолічильнику при включеному регулювальнику опалювання ST-1 (базовий режим). Провести через 15 хвилин не менше трьох вимірів. Одночасно вимірювати температуру на поверхні конвектора і довкілля.

3. Ввімкнути вентилятор і зробити відповідні виміри швидкості потоку повітря в тих же точках, де визначалася температура поверхні приладу.



4. Вимкнути вентилятор, а в системі вимкнути регулювальник опалювання ST-1 і провести виміри аналогічно пунктам 2-4. Результати внести в таблицю 5.1.

5. Ввімкнути вентилятор і провести відповідні виміри із заповненням таблиці 5.1.

6. Після закінчення роботи вимкнути установку. Результати показати викладачу.

### 5.3 Обробка експериментальних даних

Обробка експериментальних даних ведеться по залежностях (4.1) – (4.3), методиці, приведені в лабораторній роботі № 4. Тепловий потік конвектора системи опалювання, кВт, при роботі вентилятора визначається за залежністю:

$$\Phi_{\text{вент}} = \alpha \cdot A \cdot \Delta t_{\text{cp}}, \quad (5.1)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі приладу при швидкості напірного потоку повітря, Вт/(м<sup>2</sup>·К) і визначається за виразом:

$$\alpha = 11,6 + 7\sqrt{v_{\text{cp}}}, \quad (5.2)$$

де  $A$  – площа поверхні нагріву приладу, м<sup>2</sup>; для конвектора МІФ-200, який складається з 4 секцій  $A = 4 \cdot 0,4 = 1,6$  м<sup>2</sup>;

$\Delta t_{\text{cp}}$  – середня різниця температур поверхні приладу і довкілля

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^{n=6} t_i}{n} - t_{\text{вн}}. \quad (5.3)$$

Середня швидкість потоку повітря, м/с

$$v_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n}. \quad (5.4)$$

Всі розрахункові величини внести в таблицю 5.1.



Таблиця 5.1

Результати обробки експериментальних даних

Режим	$G$ , кг/с	$\Delta t$ , °C	$\Phi_o$ , кВт	$\Delta t_{cp}$ , °C	$\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	$v$ , м/с	$\Phi_{vent}$ , кВт
з ввімкненим регулювальником опалювання					–	–	–
з ввімкненим регулювальником опалювання і вентилятором							
з вимкненим регулювальником опалювання							
з вимкненими регулювальником опалювання і вентилятором							

Порівняти отримані результати і зробити висновок про ефективність обдування нагрівального приладу повітрям.

**Контрольні питання**

1. Для яких цілей встановлюється вентилятор?
2. Від яких величин залежать інтенсивність теплообміну і тепловий потік від конвектора?
3. Яким приладом визначалася температура на поверхні конвектора?
4. За допомогою якого приладу визначалася швидкість повітряного потоку?