

ЛІТЕРАТУРА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

Кафедра електричної інженерії



Методичні вказівки для виконання
лабораторної роботи № 1

**«Побудова балансів потужності й
енергії дослідної установки
автономної системи опалення»**

З КУРСУ

**"Енергетичні системи забезпечення
життєдіяльності людини"**

для здобувачів вищої освіти
за ОПІ Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка
другого рівня вищої освіти

ID 1974

Тернопіль 2023

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНА

Методичні вказівки для виконання лабораторної роботи №1 «Побудова балансів потужності й енергії дослідної установки автономної системи опалення» з курсу «Енергетичні системи забезпечення життєдіяльності людини» для здобувачів другого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Уклад.: М.М. Зінь. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2023. – 18 с.

Укладач: Зінь М.М.

Рецензент: Коваль В.П.

Методичні вказівки розглянуто і затверджено на засіданні кафедри електричної інженерії.

Протокол № 1 від 25.08.2023 р.

Схвалено методичною радою ФПТ Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Протокол № 1 від 30.08.2023 р.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ТЕМА: Побудова балансів потужності й енергії дослідної установки автономної системи опалення.

МЕТА РОБОТИ: Навчитися будувати баланси потужності й енергії теплової установки на прикладі дослідної установки автономної системи опалення з комп'ютеризованим вимірюванням температур у її вузлових точках.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Основні завдання сучасних систем опалення

Сучасна система опалення – це комплекс високотехнологічних інженерних пристроїв, які на сьогодні покликані виконувати насамперед два основні завдання:

1. Забезпечувати споживача теплом необхідної кількості та якості, з можливістю роботи за гнучким графіком, який задає насамперед споживач залежно від погодних умов та інших чинників;
2. Споживати мінімально необхідну кількість енергоресурсів (палива, тепла, електроенергії).

Будова і опис дослідної установки

Невід'ємною складовою сучасних систем опалення є пристрої якісного та кількісного регулювання потоків теплової енергії і відповідно теплової потужності. Розглянемо ці та інші елементи системи на прикладі дослідної установки, схему якої зображено на рис. 1.

На рис. 1 прийняті наступні позначення:

- 1 — нагрівач (електричний котел, у якому в якості внутрішнього джерела тепла використовується трубчастий електронагрівач (ТЕН));
- 2 — опалювальний прилад (алюмінієвий секційний радіатор Alice 500);
- 3 — терморегулятор RTL Heimeier;
- 4 — циркуляційна помпа WILO Star RS 25/4 (де 25 — внутрішній діаметр трубних патрубків, мм; 4 — максимальний тиск, м. вод. ст.);
- 5 — манометр (максимальний тиск 4 бар);
- 6 — лічильник гарячої води СК-15Г-01 (максимальна температура води 90 °С; максимальний тиск 1 МПа; номінальна витрата води 1,5 м³/год);
- 7 — лічильник холодної води СК-15Х-01 (максимальна температура води 30 °С; максимальний тиск 1 МПа; номінальна витрата води 1,5 м³/год);

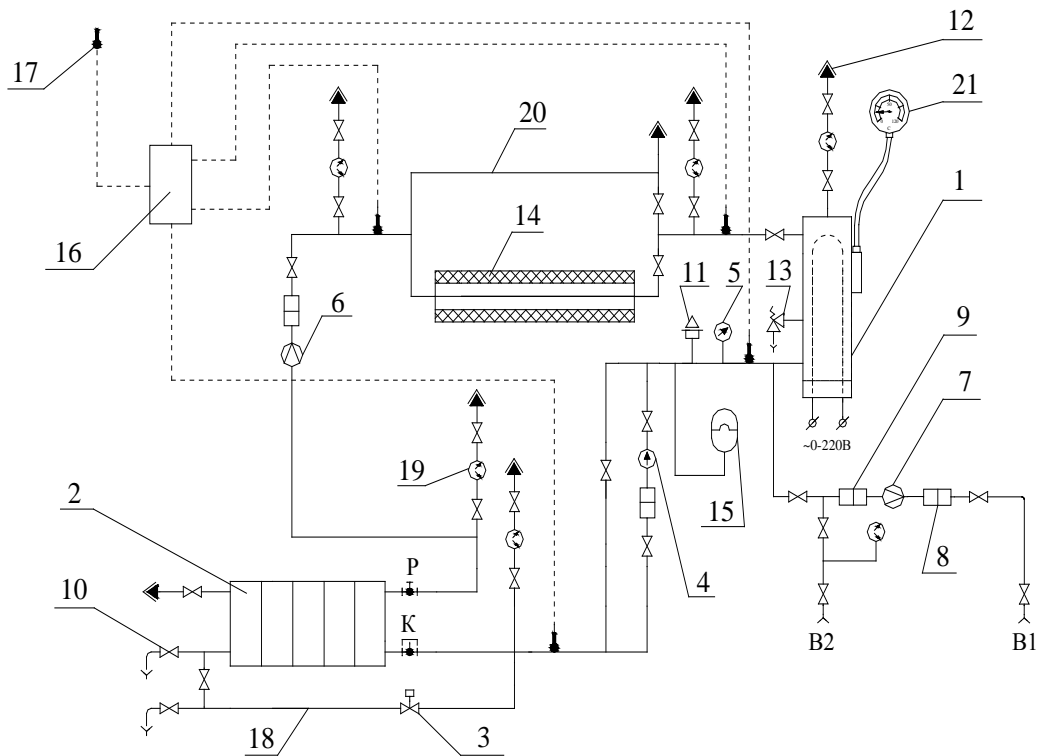


Рис. 1. Схема дослідної установки

- 8 — дротяний сітковий механічний фільтр (для грубого очищення води);
- 9 — волокнистий фільтр (для тонкого очищення води);
- 10 — кулькові крани;
- 11 — автоматичний розповітрявач (максимальна температура повітря 120 °С; максимальний тиск 14 бар);
- 12 — ручний розповітрявач (кран Маєвського);
- 13 — запобіжний клапан (на максимальний тиск води 3 бар);
- 14 — теплоізоляція — поліізол 22/6 (де 22 — внутрішній діаметр ізоляції, мм; 6 — товщина ізоляції, мм);
- 15 — мембранний розширювальний бак марки PED 97/23/ЕС, фірми Elbi, об'ємом 2 л (попередній тиск (установлений виробником) – 1,5 бар; максимальний тиск – 8 бар; допустима температура теплоносія від «-10» до «+110» °С);
- 16 — ЕОМ;
- 17 — цифрові датчі температури DS18B20;
- 18 — металопластикова труба PEX-AL-PEX 16/2 (де 16 — внутрішній діаметр труби, мм; 2 — товщина стінки труби, мм);
- 19 — термоманометр, тобто прилад, який вимірює як тиск теплоносія (води), так і його температуру (максимальний тиск води – 4 бар; максимальна температура води – 120 °С);

- 20 — мідяні трубопроводи 15/1 (де 15 — зовнішній діаметр трубопроводів, мм; 1 — товщина стінки трубопроводів, мм);
- 21 — манометричний термометр типу ТКП-160Сг-М1-УХЛ2;
- В1 — трубопровід для підживлення системи водопровідною водою;
- В2 — трубопровід для підживлення системи водою під тиском автоматично або вручну за допомогою помпи;
- Р — верхнє радіаторне підключення з ручкою для кількісного регулювання;
- К — нижнє радіаторне підключення (кількісне регулювання здійснюється за допомогою шестигранного ключа, яким виставляється певне осьове положення штоку пробкового крана).

Принцип дії дослідної установки

Теплоносій нагрівається в електричному котлі 1 і під дією циркуляційної помпи 4 подається до опалювального приладу (алюмінієвого секційного радіатора) 2. Зворотній охолоджений теплоносій повертається з опалювального приладу до котла для подальшого нагрівання. Безпеку цієї системи опалення забезпечують у першу чергу запобіжний клапан 13, який автоматично буде випускати теплоносій, якщо котел «закипить», а також мембранний розширювальний бак 15, який компенсує зміну об'єму теплоносія внаслідок зміни його температури. Окрім цього, випускання повітря з системи опалення здійснюється за допомогою автоматичного розповітрявача 11 (який, виходячи з його назви, працює у автоматичному режимі), а також за допомогою ручних розповітрявачів (кранів Маєвського) 12, які встановлені у кожній верхній точці системи опалення, де може нагромаджуватися повітря. На всіх вузлових ділянках системи встановлені термоманометри 19, тобто прилади, які вимірюють одночасно як тиск теплоносія (води), так і його температуру. Підживлення системи здійснюється водопровідною водою за допомогою трубопроводу В1 або дистильованою водою за допомогою помпи, яка приєднується до трубопроводу В2 (станом на час підготовки цих методичних вказівок у якості теплоносія використовується дистильована вода). Витрата гарячої та холодної води вимірюється відповідно лічильниками 6 і 7. Дротяні сіткові механічні фільтри 8, які призначені для грубого очищення води, запобігають попаданню механічних частинок розміром понад 1 мм у внутрішні канали помпи 4 та лічильників 6 і 7, що могло б їх «заштопорити», і, отже, вивести з ладу. На підживлювальному трубопроводі В1 встановлено також волокнистий фільтр 9 для тонкого очищення води.

На базі цієї дослідної установки можна досліджувати енергетичну ефективність теплоізоляції: для цього служить роздвоєна гілка трубопроводів,

одна з частин якої є звичайним трубопроводом, а інша – теплоізованим трубопроводом (матеріал теплової ізоляції – поліізол 14). Пропускання теплоносія через ту чи іншу гілку здійснюється за рахунок вибору відповідних положень кулькових кранів 10. Металопластикова труба 18 використовується для дослідження роботи терморегулятора: якщо кран *K* відкритий, то здійснюється ручне кількісне регулювання (без участі терморегулятора); якщо ж кран *K* закритий, то теплоносій буде проходити через терморегулятор і за його допомогою буде здійснюватися автоматичне кількісне регулювання подачі теплоносія. Кулькові крани 10 здійснюють ручне відкривання або перекривання певних ділянок системи. Окрім того, у цій системі встановлені цифрові давачі температури 17, за допомогою яких вимірюється температура теплоносія на вході і виході котла, а також на вході і виході опалювального приладу. Ще один аналогічний давач вимірює температуру повітря у приміщенні.

На сьогоднішній день точний теоретичний розрахунок певної опалювальної системи є практично неможливим з причини великої кількості чинників, які важко оцінити у чисельному вигляді. До них відносять різні режими експлуатації системи, відсутність точних даних про теплоізоляційні властивості багатьох матеріалів, коливання температури зовнішнього повітря тощо. Часто розрахунки ведуться з наближенням, а фактичний режим роботи установки визначається експериментально, тобто дослідним шляхом. Відтак постає необхідність контролю температури у багатьох точках системи одночасно, тобто моніторингу системи опалення у режимі реального часу.

Головним завданням інженера-енергетика, який виконує температурні вимірювання, є забезпечення надійної, раціональної та енергоефективної експлуатації установки – об'єкту дослідження. Успішне вирішення цього завдання, а також організація технічного обліку роботи устаткування неможливі без енергетичного контролю, який здійснюють за допомогою вимірювальних приладів різного призначення, що дозволяє забезпечити:

- надійну та безпечну експлуатацію енергетичних установок;
- економічно найвигідніший режим роботи устаткування;
- організацію технічного обліку роботи агрегатів у цілому.

Відомо багато різних приладів для вимірювання температури. Їх розділяють залежно від того, які фізичні властивості речовин вони використовують, на наступні групи з діапазонами показань:

Термометри розширення (-190...+6500°C) засновані на властивості тіл змінювати під дією температури свій об'єм.

Манометричні термометри (-160...+6000°C) працюють за принципом зміни тиску рідини, газу або пари з рідиною у замкнутому об'ємі під час нагрівання або охолодження цих речовин.

Термоелектричні термометри (-50...+18000°C) побудовані на властивості різнорідних металів і сплавів утворювати у парі (спаї) термоелектрорушійну силу, яка залежить від температури місця з'єднання (спаю) кінців двох різнорідних провідників (термоелектродів), що утворюють чутливий елемент термометра — **термопару**.

Пірометри (-30...+60000°C) працюють за принципом вимірювання енергії, яку випромінюють нагріті тіла і яка залежить від температури цих тіл.

Термометри опору (-200...+6500°C) засновані на властивості металевих провідників змінювати електричний опір залежно від міри їх нагрівання. Саме завдяки давчачам температури, які побудовані на термоопорах, і будуть виконуватися вимірювання температурних параметрів у системі опалення, яка розглядається в означеній лабораторній роботі.

Давчачі DS18B20 та мережа 1-Wire

На рис. 1 зображено схему цифрового давчача температури DS18B20.

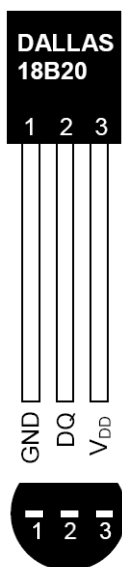


Рис. 2. Загальний вигляд цифрового давчача температури Dallas DS18B20

Dallas DS18B20 – це цифровий термометр з програмованим розширенням від 9 до 12 біт. На рис. 2 наведено зовнішній вигляд давчача, який використовується у цій роботі (можливі й інші варіанти будови давчача, детальніше – у додатковій літературі). Давчач виконано у корпусі TO-92 з трьома виводами: GND – загальний, DQ – вивід даних введення/виведення, V_{DD} – живлення.

Діапазон вимірювань – від « $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ » до « $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ ». Кожен давач має унікальний 64-бітний послідовний код, який дозволяє співпрацювати з іншими давачами, що розміщені на одній шині, та ідентифікуватися у мережі. Всі процеси на шині керуються центральним мікропроцесором.

Давачі DS18B20 обмінюються даними за допомогою 1-Wire шини, при цьому на лінії може бути як один сенсор, так і будь яка довільна їх кількість. 1-Wire-net – інформаційна мережа, яка використовує для здійснення цифрового зв'язку одну лінію даних (DQ) та один загальний провід (GND). Відтак для реалізації середовища обміну даними можуть бути застосовані такі доступні кабелі як вита пара (може бути неекранована) тощо, довжиною до приблизно 300 м. У цій роботі використано звичайний телефонний кабель. Швидкість передавання даних зазвичай сягає 16,4 кбіт/с (максимум – 125 кбіт/с), чого цілком достатньо для організації мережі з довільною кількістю давачів. Така мережа зі зв'язаним основним пристроєм називається “MicroLan”. Топологія мережі (спосіб описання конфігурації мережі) – загальна шина.

У цій лабораторній роботі для побудови мережі 1-Wire використано 6 давачів температури DS18B20, які розміщені у контрольних точках системи опалення (рис. 2).

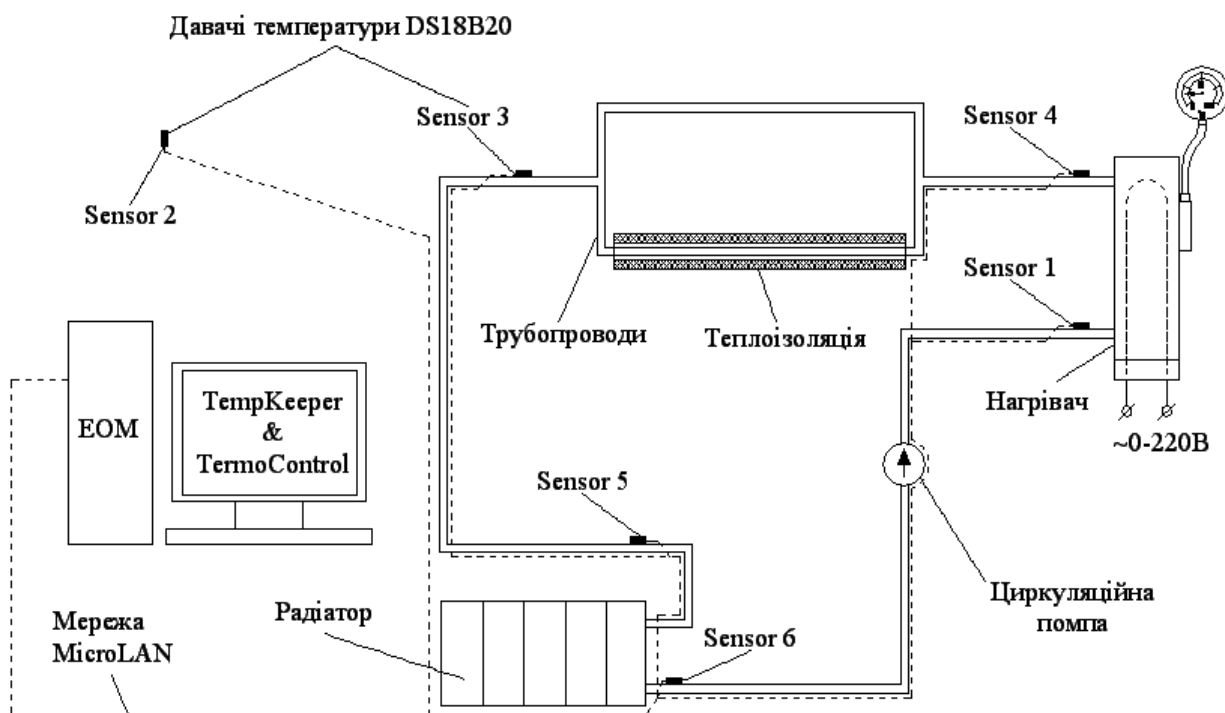


Рис. 2. Схема системи опалення з зображенням комп'ютеризованої системи вимірювання температур на базі давачів Dallas DS18B20

Для прив'язки шини до ЕОМ використовується проста схема підключення через СОМ-порт, рисунок якої наведений нижче (рис. 3).

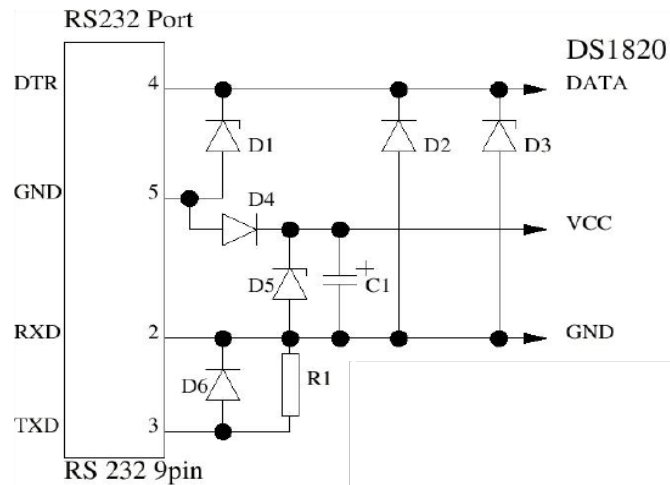


Рис. 3. Схема підключення 1-Wire шини до ЕОМ через СОМ-порт RS232 9 pin

У якості елементів D1, D3, D5 використано стабілітрони на 3,9 В, 6,2 В та 5,6 В відповідно; D2, D6 – діоди Шоттки 1N5818; D4 – діод 1N4148, R1 – резистор 1,5 кОм, C1 – конденсатор на 10 мкФ, 16 В. Усі елементи підбирались на мінімальну потужність з огляду на їх малі розміри з метою поміщення у корпус СОМ-роз'єму стандарту RS 232 на 9 контактів.

Давачі прикріплені до труб у місцях з однаковим діаметром та товщиною поперечного перерізу. Для максимального теплового контакту DS18B20 з трубою використана термопаста «Pasta Siliconowa -H-». Коефіцієнт її теплопровідності – 0,78 Вт/м·К (додаткову інформацію про цю термопасту можна знайти у додатковій літературі).

З метою теплової ізоляції та мінімізації впливу зовнішнього середовища давач закритий пористою плівкою товщиною близько 2 мм, з однієї сторони якої нанесена тонка алюмінієва фольга. Ізолятор складений у 2 шари так, щоб фольга залишилась усередині та зовні – для відбиття теплового випромінювання від труби до давача та для зменшення температурного впливу навколишнього середовища на давач відповідно.

Перед тим, як приступити до встановлення давачів температури на трубопроводи системи опалення, було проведено їх калібрування. Сенсори були закріплені на тонкій металевій пластині за допомогою термопаста. Зверху обкручені та затиснені тією ж металевією стрічкою та високоомним провідником, який слугував нагрівачем під час проходження через нього електричного струму.

Все це було поміщено у блок з пінопласту розмірами приблизно $20 \times 8 \times 7$ см для забезпечення доброї теплової ізоляції.

Проведено декілька дослідів, під час яких термодавачі нагрівались до різних температур у межах від 29 до 77 °С. Зважаючи на те, що всі давачі перебували практично в однакових умовах, було виявлено, що сенсори 1 та 4 показували однакові значення за вищих температур, тому обидва було взято у якості еталонних. Відштовхуючись від них, було побудовано таблицю відхилень значень температури для чотирьох інших давачів.

Програмне забезпечення

У мережі Internet можна знайти готові програми для отримання даних температури від давачів як для ОС Windows, так і для Linux. Одними з найпотужніших програм на базі Windows є TempKeeper та TempControl. Обидві володіють зручним та інтуїтивно-зрозумілим інтерфейсом. У лабораторії використовується програма TempKeeper версії 2.14. Програма виявляє давачі в мережі MicroLan та виводить результати температури у вигляді графіку, що змінюється в часі, в формі таблиці, а також записує log-файл зі всіма подіями на жорсткий диск комп'ютера. У програмі можна задати мінімальні чи максимальні межі значення температури, перетнувши які відтворюється звуковий сигнал тривоги чи запускається на виконання та чи інша програма (у тому числі і для регулювання температури системи опалення, якщо така можливість передбачена).

З метою якнайкращого моніторингу температури системи опалення створено прикладну програму TermoControl, яка виступає у якості інформаційного додатку до програми TempKeeper. Програма TermoControl звертається до її log-файлу програми TempKeeper, бере звідти кожні декілька секунд температурні дані та виводить їх у вікно, де розміщена схема системи опалення, причому саме у тих місцях схеми, де насправді розміщені давачі DS18B20.

ХІД РОБОТИ

Виконання дослідів

1. Увімкнути комп'ютер і запустити програми TempKeeper і TermoControl.
2. Увімкнути систему опалення, виставити задане викладачем значення струму I_2 через нагрівач та потужність W_1 помпи і дочекатися усталеного режиму роботи, керуючись даними давачів температури.

3. Визначити об'ємну витрату води. Для цього необхідно засікти час між двома показами лічильника гарячої води.

4. Зафіксувати дані температур від кожного давача. Для зручності можна відкрити на комп'ютері log-файл, який знаходиться у папці C:\Program Files\TermoControl\ , та переписати зі стрічки значення температур у потрібний для нас моменту часу.

5. Вимкнути систему опалення та комп'ютер.

Усі дані, які було отримано під час виконання роботи, заносимо у табл. 1.

Таблиця 1

Таблиця для занесення результатів вимірювань

№ з/п	Час	Покази лічильника гарячої води	Покази давачів температури, °С						Циркуляційна помпа			Нагрівник	
	τ , хв:сс	V , м ³	t_4	t_3	t_5	t_6	t_1	t_2	U_1 , В	I_1 , А	W_1 , Вт	U_2 , В	I_2 , А

Опрацювання дослідних даних

Визначити:

- 1) Електричну потужність, яку споживає система опалення.
- 2) Теплову потужність на виході з електричного котла.
- 3) Теплову потужність радіатора.
- 4) Теплові потужності, які виділяються іншими ділянками системи опалення.
- 5) Коефіцієнт корисної дії котла.

Скласти:

- 6) Баланс потужності системи опалення.

Необхідно знати:

Електрична потужність, яка споживається системою опалення, складається з потужностей, які споживає нагрівач та циркуляційна помпа:

$$N_{e.сист} = N_{e.помпи} + N_{e.нагр} \quad [Вт]$$

Теплова потужність, яка виділяється нагрівачем, радіатором чи іншими ділянками системи, визначається за формулою

$$N_{\text{тепл}} = G_m \cdot c \cdot (t_{\kappa} - t_{\text{поч}}) \text{ [Вт]},$$

де G_m – масова витрата теплоносія (води), $\text{кг} / \text{с}$; вона визначається як добуток об'ємної витрати і густини рідини у системі за середньої температури на ділянці, яка обчислюється (залежність питомого об'єму від температури зображена у дод. А, а, як відомо, густина – це величина, що обернено пропорційна до питомого об'єму): $G_m = G_v \cdot \rho$; у цій формулі $G_v = \frac{V_2 - V_1}{\tau}$, (де G_v – об'ємна витрата, $\text{м}^3 / \text{с}$; $V_2 - V_1$ – об'єм теплоносія, який визначається за показами лічильника гарячої води через певний проміжок часу τ);

c – питома теплоємність води за середньої температури води на ділянці (дод. Б).

t_{κ} та $t_{\text{поч}}$ – значення температур на виході та на вході нагрівача.

Інші ділянки – це ділянки між давачами t_4 та t_3 , t_3 та t_5 , а також t_6 і t_1 (рис. 3). Відмінність в обчисленнях буде полягати в тому, що на цих ділянках треба буде від $t_{\text{поч}}$ віднімати t_{κ} .

Коефіцієнт корисної дії нагрівача – відношення виробленої теплової енергії до використаної електричної: $\eta = \frac{N_{\text{тепл.нагр}}}{N_{\text{е.нагр}}} \cdot 100\%$.

Рівняння теплового балансу показує, що все тепло, яке вироблене у нагрівачі, виділяється на радіаторі та на інших ділянках системи опалення:

$$N_{\text{тепл.нагр}} = N_{\text{радіатора}} + N_{\text{ін.ділянок}}$$

Приклад

Таблиця 2

Таблиця для занесення результатів вимірювань (приклад)

№ з/п	Час	Покази лічильника гарячої води $V, \text{ м}^3$	Покази датчиків температури, °С						Циркуляційна помпа			Нагрівник	
			t_4	t_3	t_5	t_6	t_1	t_2	$U_1, \text{ В}$	$I_1, \text{ А}$	$W_1, \text{ Вт}$	$U_2, \text{ В}$	$I_2, \text{ А}$
1	04:36	139,763 – 139,766	37,3125	37,0625	36,6250	33,6875	33,3125	28,2500	209	134	27	125	2,45
2	04:55	139,879 – 139,881	52,9375	52,6250	51,8750	45,6875	44,8125	28,6875	209	134	27	154	3,05
3	00:59	140,853 – 140,860	50,8125	50,5625	50,5000	50,0000	50,0000	26,8125	205	250	54	142	2,75
4	00:59	(подача не змінювалася)	64,2500	64,0000	63,7500	62,9375	62,7500	27,3750	205	250	54	192	3,75

Дослід 1 (приклад)

$$1) N_{e.сист} = N_{e.помпи} + N_{e.нагр} = W_1 + U_2 \cdot I_2 = 27 + 125 \cdot 2,45 = 333,25 \text{ Вт}.$$

2) Середня температура теплоносія у нагрівачі

$$t_{середнє} = \frac{37,3125 + 33,3125}{2} = 35,3125 \text{ °С}.$$

$$N_{тепл.нагр} = G_m \cdot c \cdot (t_4 - t_1) = G_v \cdot \rho \cdot c \cdot (t_4 - t_1) = \frac{V_2 - V_1}{\tau} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_4 - t_1) =$$

$$= \frac{139,766 - 139,763}{4 \cdot 60 + 36} \cdot 994,035 \cdot 4177 \cdot (37,3125 - 33,3125) = 186,63 \text{ Вт}.$$

3) Середня температура теплоносія у радіаторі

$$t_{\text{середнє}} = \frac{36,625 + 33,6875}{2} = 35,15625 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$N_{\text{рад}} = 1,1235 \cdot 10^{-5} \cdot 994,036 \cdot 4177 \cdot (36,625 - 33,6875) = 137,05 \text{ Вт}.$$

4) Знайдемо теплову потужність, яка виділяється на інших ділянках системи, та підсумуємо її. Спочатку знайдемо середні значення температур теплоносія на кожній з цих ділянок:

$$t_{c,4-3} = 37,1875 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad t_{c,3-5} = 36,84375 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad t_{c,6-1} = 33,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$N_{4-3} = 1,1235 \cdot 10^{-5} \cdot 993,345 \cdot 4178 \cdot 0,25 = 11,657 \text{ Вт},$$

$$N_{3-5} = 1,1235 \cdot 10^{-5} \cdot 993,542 \cdot 4178 \cdot 0,4375 = 20,4 \text{ Вт},$$

$$N_{6-1} = 1,1235 \cdot 10^{-5} \cdot 994,629 \cdot 4178 \cdot 0,375 = 17,51 \text{ Вт},$$

$$N_{\text{ін.ділянок}} = 11,657 + 20,4 + 17,51 = 49,567 \text{ Вт}.$$

$$5) \quad \eta = \frac{N_{\text{тепл.нагр}}}{N_{\text{е.нагр}}} \cdot 100\% = \frac{186,63}{306,25} \cdot 100\% = 61\%.$$

$$6) \quad N_{\text{тепл.нагр}} = N_{\text{радіатора}} + N_{\text{ін.ділянок}},$$

186 = 137 + 49 – рівняння теплового балансу виконується.

Дослід 2 (приклад)

$$1) \quad N_{\text{е.сист}} = N_{\text{е.помпи}} + N_{\text{е.нагр}} = W_1 + U_2 \cdot I_2 = 27 + 154 \cdot 3,05 = 496,7 \text{ Вт}.$$

2) Середня температура у нагрівачі $t_{\text{середнє}} = 48,875 \text{ } ^\circ\text{C}$.

$$N_{\text{тепл.нагр}} = 6,779 \cdot 10^{-6} \cdot 988,53 \cdot 4179,9 \cdot 8,125 = 227,586 \text{ Вт}.$$

3) Середня температура у радіаторі $t_{\text{середнє}} = 48,78125 \text{ } ^\circ\text{C}$.

$$N_{\text{рад}} = 6,779 \cdot 10^{-6} \cdot 988,53 \cdot 4179,9 \cdot 6,1875 = 173,315 \text{ Вт}.$$

4) Середні температури на інших ділянках:

$$t_{c,4-3} = 52,78 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad t_{c,3-5} = 52,25 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad t_{c,6-1} = 45,25 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$N_{4-3} = 6,779 \cdot 10^{-6} \cdot 986,582 \cdot 4181,4 \cdot 0,3125 = 8,739 \text{ Вт},$$

$$N_{3-5} = 6,779 \cdot 10^{-6} \cdot 987,069 \cdot 4181,1 \cdot 0,75 = 20,982 \text{ Вт},$$

$$N_{6-1} = 6,779 \cdot 10^{-6} \cdot 990,197 \cdot 4179,2 \cdot 0,875 = 24,546 \text{ Вт},$$

$$N_{\text{ін.ділянок}} = 8,739 + 20,982 + 24,546 = 54,267 \text{ Вт}.$$

$$5) \eta = \frac{227,586}{469,7} \cdot 100\% = 48\% .$$

$$6) N_{\text{тепл.нагр}} = N_{\text{радіатора}} + N_{\text{ін.ділянок}} ,$$

227 = 173 + 54 – рівняння теплового балансу виконується.

ЛІТЕРАТУРА

1. Єнін П.М., Швачко Н.А. Теплопостачання (частина 1 «Теплові мережі та споруди»): навч. посіб. – К.: Кондор, 2007. – 244 с.
2. Пирков В.В. Особливості проектування сучасних систем водяного опалення. – К.: П ДП «Такі справи», 2003. – 176 с.
3. Драганов Б.Х. та ін. Теплотехніка: підруч. – К.: Інкос, 2005. – 504 с.
4. Джеджула В. В. Вентиляція та кондиціонування громадських об'єктів: навч. посіб. / В. В. Джеджула. – Вінниця: ВНТУ, 2021. – 71 с.
5. Системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря будівель [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спец. 144 «Теплоенергетика» / М.Ф. Боженко; НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – Електронні текстові дані (1 файл: 36,087 Мбайт). – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2019. – 380 с.
6. Братута Е.Г. та ін. Кондиціонування та вентиляція повітря: текст лекцій / Е.Г. Братута, А.М. Ганжа, О.В. Круглякова, В.В. Чубарова. – Харків: НТУ «ХПІ», 2009. – 128 с.
7. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – К.: Мінрегіон України, 2013. – 147 с.
8. ДБН В.2.6-31:2006 зі Зміною №1 від 1 липня 2013 р. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. – К.: Мінбуд України, 2006. – 27 с.
9. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. – К.: Мінрегіон України, 2022. – 40 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Залежність густини води від її температури

$t, ^\circ\text{C}$	T, K	$p, \text{Па}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	T, K	$p, \text{Па}$	$\rho, \text{кг/м}^3$
0	273,15	$6,108 \cdot 10^2$	999,80004	40	313,15	$7,3749 \cdot 10^3$	992,260369
0,01	273,16	$6,112 \cdot 10^2$	999,780048	41	314,15	$7,7772 \cdot 10^3$	991,866693
1	274,15	$6,566 \cdot 10^2$	999,90001	42	315,15	$8,1983 \cdot 10^3$	991,473329
2	275,15	$7,054 \cdot 10^2$	999,90001	43	316,15	$8,6390 \cdot 10^3$	991,080278
3	276,15	$7,575 \cdot 10^2$	1000	44	317,15	$9,0998 \cdot 10^3$	990,687537
4	277,15	$8,129 \cdot 10^2$	1000	45	318,15	$9,5817 \cdot 10^3$	990,197049
5	278,15	$8,718 \cdot 10^2$	1000	46	319,15	$1,0085 \cdot 10^4$	989,805008
6	279,15	$9,346 \cdot 10^2$	1000	47	320,16	$1,0612 \cdot 10^4$	989,413278
7	280,15	$1,0012 \cdot 10^3$	999,90001	48	321,16	$1,1161 \cdot 10^4$	988,924051
8	281,15	$1,0721 \cdot 10^3$	999,90001	49	322,16	$1,1735 \cdot 10^4$	988,533017
9	282,15	$1,1473 \cdot 10^3$	999,80004	50	323,15	$1,2335 \cdot 10^4$	988,04466
10	283,15	$1,2271 \cdot 10^3$	999,70009	51	324,16	$1,2960 \cdot 10^4$	987,556785
11	284,16	$1,3118 \cdot 10^3$	999,70009	52	326,15	$1,3612 \cdot 10^4$	987,069391
12	285,15	$1,4015 \cdot 10^3$	999,60016	53	326,15	$1,4292 \cdot 10^4$	986,582478
13	286,15	$1,4967 \cdot 10^3$	999,40036	54	327,15	$1,5001 \cdot 10^4$	986,193294
14	287,15	$1,5974 \cdot 10^3$	999,30049	55	328,15	$1,5740 \cdot 10^4$	985,707245
15	288,15	$1,7041 \cdot 10^3$	999,200639	56	329,15	$1,6510 \cdot 10^4$	985,221675
16,6	288,65	$1,7598 \cdot 10^3$	999,100809	57	330,15	$1,7312 \cdot 10^4$	984,639622
16	289,15	$1,8170 \cdot 10^3$	999,000999	58	331,15	$1,8146 \cdot 10^4$	984,155103
16,5	289,65	$1,8769 \cdot 10^3$	998,901209	59	332,15	$1,9015 \cdot 10^4$	983,671106
17	290,15	$1,9364 \cdot 10^3$	998,801438	60	333,15	$1,9919 \cdot 10^4$	983,187494
17,6	290,65	$1,9986 \cdot 10^3$	998,801438	61	334,15	$2,0859 \cdot 10^4$	982,607841
18	291,15	$2,0626 \cdot 10^3$	998,701688	62	335,15	$2,1837 \cdot 10^4$	924,214418
18,6	291,65	$2,1284 \cdot 10^3$	998,601957	63	336,15	$2,2854 \cdot 10^4$	981,546918
19	292,15	$2,1960 \cdot 10^3$	998,402556	64	337,15	$2,3910 \cdot 10^4$	981,065437
19,5	292,66	$2,2654 \cdot 10^3$	998,402556	65	338,15	$2,5008 \cdot 10^4$	980,488283
20	293,16	$2,3368 \cdot 10^3$	998,302885	66	339,15	$2,6148 \cdot 10^4$	979,911808
20,5	293,65	$2,4102 \cdot 10^3$	998,203234	67	340,15	$2,7332 \cdot 10^4$	979,33601
21	294,15	$2,4855 \cdot 10^3$	998,103603	68	341,15	$2,8561 \cdot 10^4$	978,760889
21,5	294,65	$2,5629 \cdot 10^3$	998,003992	69	342,15	$2,9837 \cdot 10^4$	978,282137
22	296,16	$2,6424 \cdot 10^3$	997,804829	70	343,15	$3,1161 \cdot 10^4$	977,708252
22,5	295,65	$2,7241 \cdot 10^3$	997,705278	71	344,15	$3,2533 \cdot 10^4$	977,03957
23	296,15	$2,8079 \cdot 10^3$	997,605746	72	345,15	$3,3957 \cdot 10^4$	976,467142
23,6	296,66	$2,8940 \cdot 10^3$	997,506234	73	346,15	$3,5433 \cdot 10^4$	975,895384
24	297,16	$2,9824 \cdot 10^3$	997,406742	74	347,15	$3,6963 \cdot 10^4$	975,324295
24,5	297,66	$3,0731 \cdot 10^3$	997,207818	75	348,15	$3,8548 \cdot 10^4$	974,753875
25	298,16	$3,1663 \cdot 10^3$	997,108386	76	349,15	$4,0190 \cdot 10^4$	974,089227
25,5	298,66	$3,2619 \cdot 10^3$	997,008973	77	350,15	$4,1890 \cdot 10^4$	973,520249
26	299,16	$3,3600 \cdot 10^3$	996,810207	78	351,15	$4,3650 \cdot 10^4$	972,857282
26,5	299,65	$3,4606 \cdot 10^3$	996,710854	79	362,15	$4,5473 \cdot 10^4$	972,289742
27	300,15	$3,5639 \cdot 10^3$	996,611521	80	353,15	$4,7359 \cdot 10^4$	971,628449
27,6	300,66	$3,6698 \cdot 10^3$	996,412914	81	354,15	$4,9310 \cdot 10^4$	970,968055
28	301,15	$3,7785 \cdot 10^3$	996,31364	82	355,15	$5,1328 \cdot 10^4$	970,402717
28,5	301,66	$3,8900 \cdot 10^3$	996,115151	83	356,15	$5,3415 \cdot 10^4$	969,743988
29	302,16	$4,0043 \cdot 10^3$	996,015936	84	357,15	$5,5572 \cdot 10^4$	969,086152
29,5	302,66	$4,1215 \cdot 10^3$	995,817566	85	358,15	$5,7803 \cdot 10^4$	968,429208
30	303,16	$4,2417 \cdot 10^3$	995,718411	86	359,15	$6,0107 \cdot 10^4$	967,773154
30,5	303,66	$4,3650 \cdot 10^3$	995,520159	87	360,15	$6,2488 \cdot 10^4$	967,117988
31	304,16	$4,4913 \cdot 10^3$	995,4221063	88	361,15	$6,4947 \cdot 10^4$	966,463709
31,6	304,66	$4,6208 \cdot 10^3$	995,22293	89	362,15	$6,7486 \cdot 10^4$	965,810315
32	305,15	$4,7536 \cdot 10^3$	995,123893	90	363,15	$7,0108 \cdot 10^4$	965,157803
32,6	306,65	$4,8896 \cdot 10^3$	994,925878	91	364,15	$7,2814 \cdot 10^4$	964,413155
33	306,16	$6,0290 \cdot 10^3$	994,727942	92	365,15	$7,5607 \cdot 10^4$	963,762529
33,6	306,66	$5,1718 \cdot 10^3$	994,629003	93	366,15	$7,8488 \cdot 10^4$	963,020031
34	307,16	$6,3182 \cdot 10^3$	994,431185	94	367,15	$8,1460 \cdot 10^4$	962,371283
34,6	307,65	$5,4681 \cdot 10^3$	994,233446	95	368,15	$8,4525 \cdot 10^4$	961,723408

35	308,15	$6,6217 \cdot 10^3$	994,035785	96	369,15	$8,7685 \cdot 10^4$	960,984048
36	309,15	$6,9401 \cdot 10^3$	993,739442	97	370,15	$9,0943 \cdot 10^4$	960,245823
37	310,15	$6,2740 \cdot 10^3$	993,344591	98	371,15	$9,4301 \cdot 10^4$	959,600806
38	311,15	$6,6240 \cdot 10^3$	993,048659	99	372,15	$9,7760 \cdot 10^4$	958,864704
39	312,15	$6,9907 \cdot 10^3$	992,654358	100	373,15	$1,01325 \cdot 10^5$	958,129731

Додаток Б

Питома теплоємність води за атмосферного тиску, кДж/(кг·К), (ккал/(кг·°С))

<i>t, °C</i>	<i>Температура, °C</i>									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	4,2174 (1,00731)	4,2138 (1,00645)	4,2104 (1,00564)	4,2074 (1,00492)	4,2045 (1,00423)	4,2019 (1,00361)	4,1996 (1,00306)	4,1974 (1,00253)	4,1954 (1,00205)	4,1936 (1,00162)
10	4,1919 (1,00122)	4,1904 (1,00086)	4,1890 (1,00053)	4,1877 (1,00021)	4,1866 (0,99995)	4,1855 (0,99969)	4,1846 (0,99947)	4,1837 (0,99926)	4,1829 (0,99907)	4,1822 (0,99890)
20	4,1816 (0,99876)	4,1810 (0,99861)	4,1805 (0,99850)	4,1801 (0,99840)	4,1797 (0,99830)	4,1793 (0,99821)	4,1790 (0,99814)	4,1787 (0,99807)	4,1785 (0,99802)	4,1783 (0,99797)
30	4,1782 (0,99795)	4,1781 (0,99792)	4,1780 (0,99790)	4,1780 (0,99790)	4,1779 (0,99787)	4,1779 (0,99787)	4,1780 (0,99790)	4,1780 (0,99790)	4,1781 (0,99792)	4,1782 (0,99795)
40	4,1783 (0,99797)	4,1784 (0,99799)	4,1786 (0,99804)	4,1788 (0,99809)	4,1789 (0,99811)	4,1792 (0,99818)	4,1794 (0,99823)	4,1796 (0,99828)	1,1799 (0,99835)	4,1801 (0,99840)
50	4,1804 (0,99847)	4,1807 (0,99854)	4,1811 (0,99864)	4,1814 (0,99871)	4,1817 (0,99878)	4,1821 (0,99888)	4,1825 (0,99897)	4,1829 (0,99907)	4,1833 (0,99910)	4,1837 (0,99926)
60	4,1841 (0,88836)	4,1840 (0,99947)	4,1850 (0,99957)	4,1855 (0,99969)	4,1860 (0,99981)	4,1865 (0,99993)	4,1871 (1,00007)	4,1876 (1,00019)	4,1882 (1,00033)	4,1887 (1,000345)
70	4,1893 (0,00060)	4,1899 (1,00074)	4,1905 (1,00088)	4,1912 (1,00105)	4,1918 (1,00119)	4,1925 (1,00136)	4,1932 (1,00153)	4,1939 (1,00170)	4,1946 (1,00186)	4,1954 (1,00205)
80	4,1961 (1,00222)	4,1969 (1,00241)	4,1977 (1,00260)	4,1985 (1,00279)	4,1994 (1,00301)	4/2002 (1,00320)	4,2011 (1,00342)	4,2020 (1,00363)	4,2029 (1,00385)	4,2039 (1,00408)
90	4,2048 (1,00430)	4,2058 (1,00454)	4,2068 (1,00478)	4,2078 (1,00502)	4,2089 (1,00528)	4,2100 (1,00554)	4,2111 (1,00580)	4,2122 (1,00607)	4,2133 (1,00633)	4,2145 (1,00662)
100	4,2156 (1,00688)	–	–	–	–	–	–	–	–	–