

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

Кафедра електричної інженерії



Методичні вказівки для виконання
лабораторної роботи №2

**«Визначення термічного опору
теплопередачі світлопрозорих
огороджувальних конструкцій
(склопакетів) за допомогою
комп'ютеризованої дослідної
лабораторної установки»**

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

Методичні вказівки для виконання лабораторної роботи №2 «Визначення термічного опору теплопередачі світлопрозорих огороджувальних конструкцій (склопакетів) за допомогою комп'ютеризованої дослідної лабораторної установки» 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. – 25 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 № 2

ТЕМА: Визначення термічного опору теплопередачі світлопрозорих огороджувальних конструкцій (склопакетів) за допомогою комп'ютеризованої дослідної лабораторної установки.

МЕТА РОБОТИ: Навчитися визначати експериментальним шляхом термічний опір теплопередачі склопакету – сучасної світлопрозорої зовнішньої огороджувальної конструкції (ЗОК) будинку; термічний опір теплопередачі – одна з найголовніших технічних характеристик склопакету, на основі числового значення якої можна робити висновок про клас енергетичної ефективності зазначеної віконної конструкції.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Схема й опис експериментальної установки

Експериментальна установка складається з:

- збірної конструкції з металопластикових вікон (рис.1, 2), яка являє собою чотири металопластикових вікна з різними склопакетами: одинарне застелення (4M1) 6; однокамерний звичайний склопакет (4M1–16–4M1) 14; однокамерний енергозберігаючий склопакет (4i–16–4M1) 9; двокамерний енергозберігаючий склопакет (4i–10–4M1–10–4M1) 16; віконні конструкції скріплені за допомогою металопластикових з'єднувальних кутових елементів 17; конструкція з металопластикових вікон утворює прямокутний паралелепіпед, який усередині за допомогою перегородок з пінополіпропілену розділений на чотири окремі ідентичні камери;
- електровимірювальних приладів для вимірювання струмів і напруг (вольтметрів на змінну та постійну напругу, міліамперметрів на постійний струм);
- плати електроживлення та керування вимірюваннями;
- поворотної підставки, яка складається з нерухомої та рухомої частин (остання закріплена на поворотному підшипнику) і кришки;
- блоку живлення, за допомогою якого на установку подається постійна напруга з можливістю регулювання її величини;
- ЕОМ, за допомогою якої зчитуються інформація з датчиків температури (значення температури виводиться на екран) і будуються графіки зміни температури у часі.

Експериментальна установка (рис. 1, 2) складається з чотирьох камер, у

кожній з яких розміщено рідинний термометр 1, сенсор для вимірювання температури 2, поличку для сенсора 3, джерело тепла 4. Поличка 3 займає таке положення, щоб сенсор, який закріплений посередині її верхньої частини, знаходився у центрі камери. Нагрівач (джерело тепла 4) являє собою лампочку розжарення, яка накрита металеву колбою.

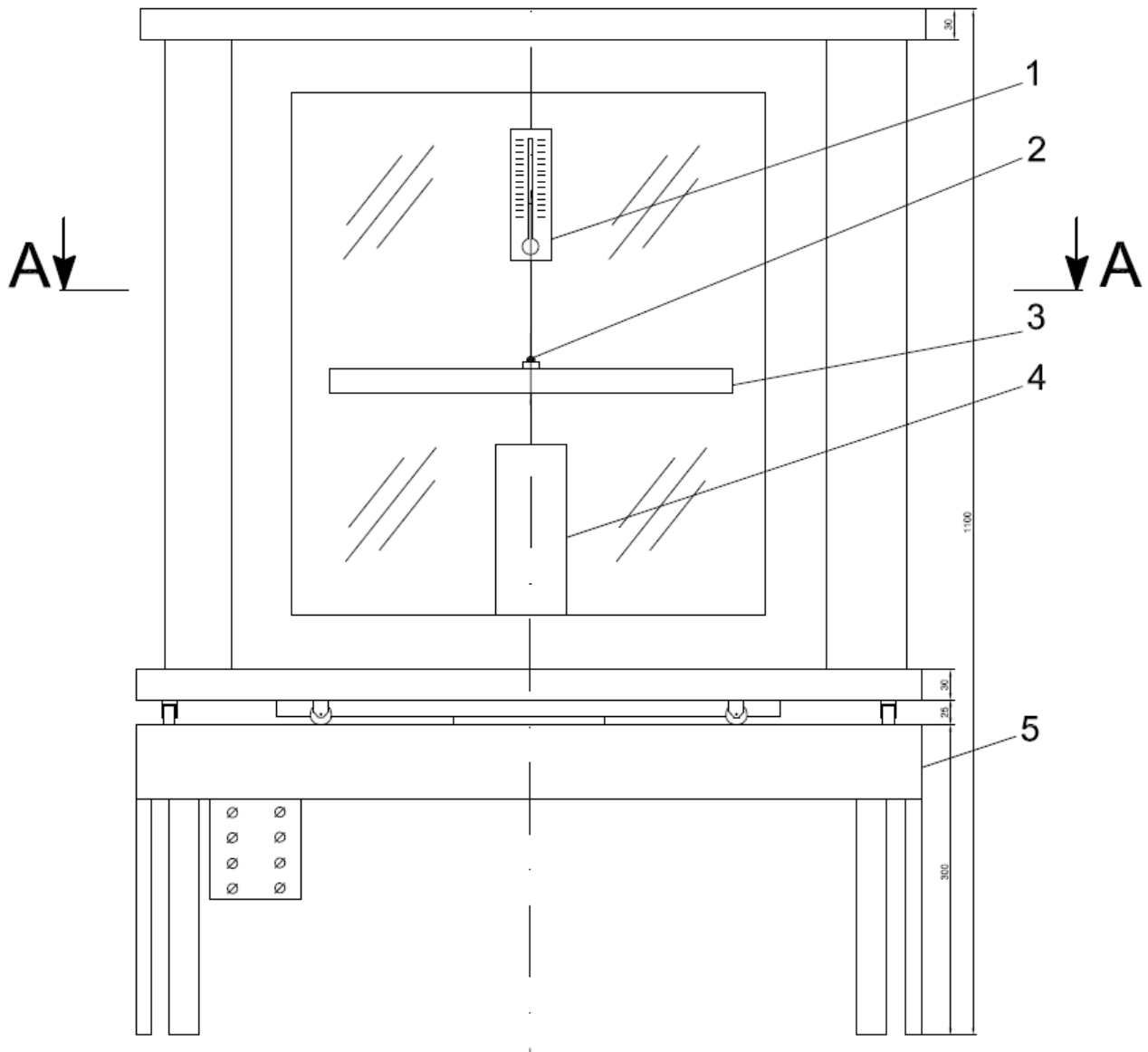


Рис. 1. Схема експериментальної установки (вигляд спереду)

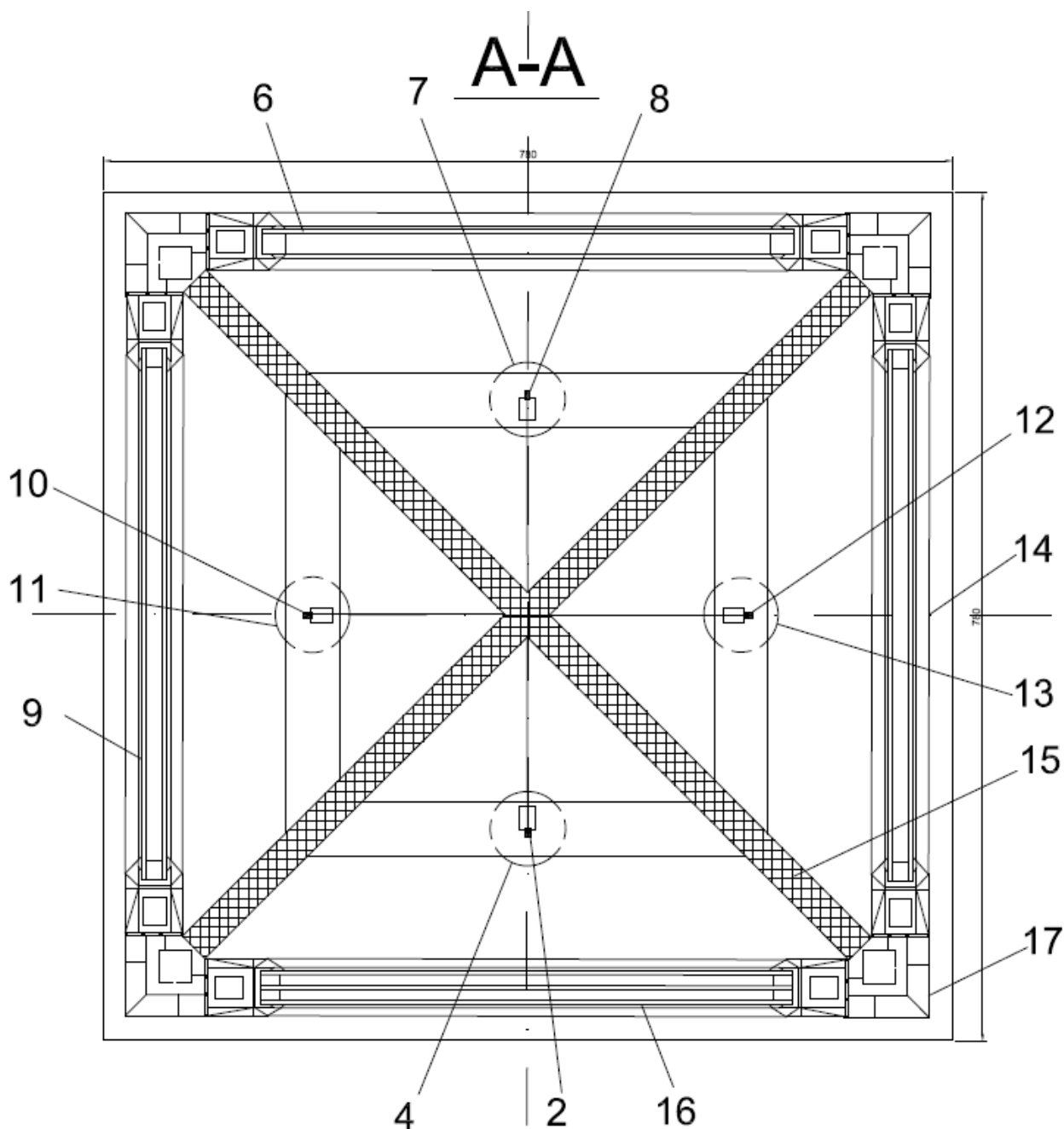


Рис. 2. Схема експериментальної установки (поперечний переріз)

На рис. 1 і 2 прийняті наступні умовні позначення: 1 – рідинний термометр; 2, 8, 10, 12 – цифрові давачі температури типу DS18B20; 3 – полочка з пінополістиролу товщиною 30 мм для фіксації давача температури; 4 – екрановані джерела тепла (лампи розжарення); 5 – підставка для віконного блоку; 6 – одинарне скло товщиною 4 мм ($4M_1$); 9 – однокамерний енергозберігаючий склопакет ($4i-16-4M_1$); 14 – однокамерний звичайний склопакет ($4M_1-16-4M_1$); 15 – перегородка з пінополістиролу товщиною 30 мм для утворення окремих камер; 16 – двокамерний енергозберігаючий склопакет ($4i-10-4M_1-10-4M_1$); 17 – з'єднувальний елемент кутовий металопластиковий.

Склопакети встановлені у рами з трикамерного металопластикового профілю товщиною 60 мм. Дно і кришка віконного блоку утворені з теплоізоляційного матеріалу – пінополістиролу товщиною 50 мм та обшиті дерев'яно-стружковими плитами товщиною 16 мм.

Давачі DS18B20 та мережа 1-Wire

DS18B20 – це цифровий давач температури з програмованим розширенням від 9 до 12 біт. На рис. 3 наведено схему цього давача. Він виготовлений у корпусі TO-92 з трьома виводами: GND – загальний, DQ – вивід даних введення/виведення, V_{DD} – живлення.

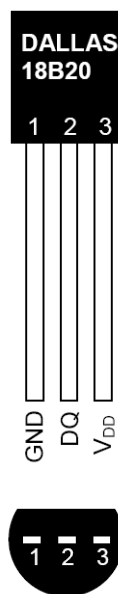


Рис. 3. Схема давача DS18B20

Діапазон вимірювань давача DS18B20 – від $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Кожен окремий давач має унікальний 64-бітний послідовний код, який дозволяє співпрацювати з іншими давачами, які розміщені на одній шині, та ідентифікуватися у мережі. Всі процеси на шині керуються центральним мікропроцесором.

DS18B20 обмінюється даними через 1-Wire шину, при цьому він може бути як єдиним сенсором на лінії, так і у сукупності з іншими. 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 біля 300 м. У цій роботі в якості середовища обміну даними використано звичайний телефонний кабель. Швидкість передачі даних, зазвичай, сягає 16,4 кбіт/с (максимум – 125 кбіт/с),

чого цілком достатньо для організації мережі з довільною кількістю датчиків. Така мережа зі зв'язаним основним пристроєм називається "MicroLan". Топологією мережі (спосіб описання конфігурації мережі), звичайно, є загальна шина.

Вимірювання температур у камерах та температури зовнішнього середовища (повітря у приміщенні, де знаходиться дослідна установка) виконується за допомогою сенсорів DS18B20. Для прив'язки шини 1-Wire-net до ЕОМ використовується проста схема підключення через COM-порт, яку наведено нижче (рис.4).

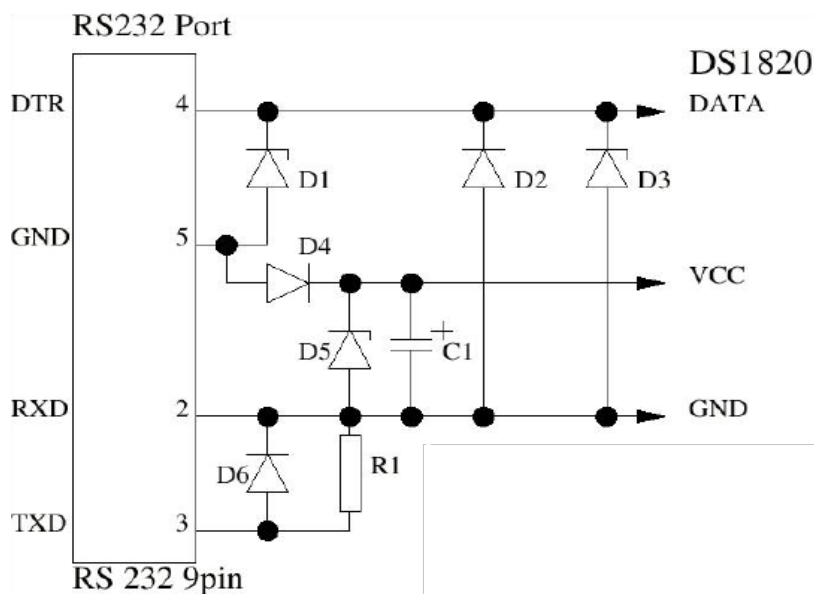


Рис. 4. Схема підключення датчиків температури DS18B20 до ЕОМ через COM-порт

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

Перед тим, як приступити до встановлення датчиків температури на лабораторну установку, було проведено їх калібрування. Сенсори було закріплено на тонкій металевій пластині (фользі) за допомогою термопасти. Зверху тісно обмотано тією ж металевією стрічкою та високоомним провідником, який слугував нагрівачем під час проходження через нього електричного струму. Все це поміщалося у блок з пінопласту розмірами приблизно 20×8×7 см для забезпечення доброї теплової ізоляції.

Проведено декілька дослідів, під час яких термодавачі нагрівалися 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 (з вказаного діапазону), тому обидва були взято у якості еталонних.

Вимірювання температур за допомогою ЕОМ

На рис. 5 зображено схему вимірювання температур.

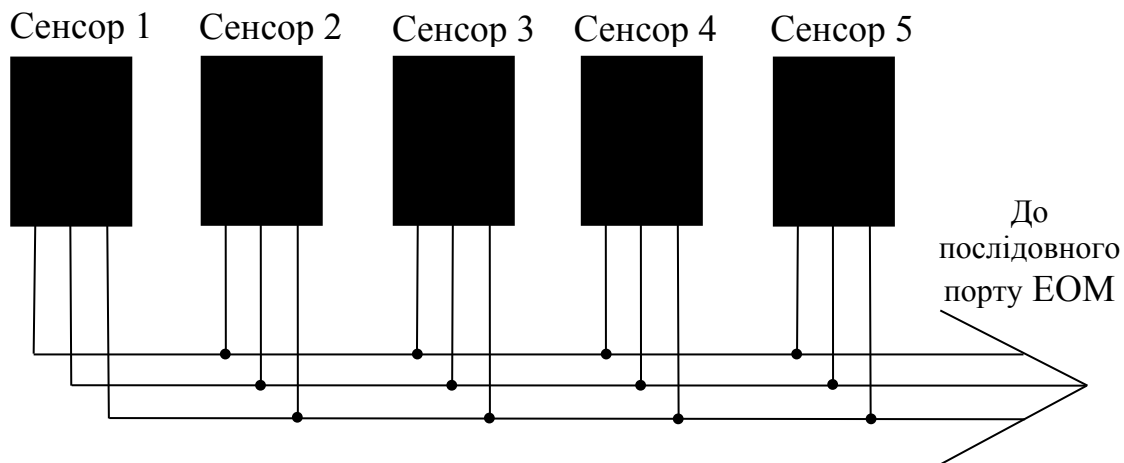


Рис. 5. Схема вимірювання температур: Сенсор 1 – вимір. темп. у камері 1 з одинарним заскленням (4М1); Сенсор 2 – вимір. темп. у камері 2 зі звичайним склопакетом 4М1–16–4М1; Сенсор 3 – вимір. темп. у камері 3 з енергозберігаючим склопакетом 4i–16–4М1; Сенсор 4 – вимір. темп. у камері 4 з двокамерним енергозберігаючим склопакетом 4i–10–4М1–10–4М1; Сенсор 5 – вимір. темп. навколишнього середовища

Особливість цієї схеми полягає у тому, що всі 5 давачів температури DS18B20 приєднуються паралельно до одного трижильного вимірювального кабелю, який підходить до послідовного порту ЕОМ.

Програмне забезпечення

У мережі Internet можна знайти готові програми для отримання даних температури від давачів DS18B20 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 лабораторній установці використовується програма TempKeeper версії 2.14. Програма виявляє давачі у мережі MicroLan та виводить результати вимірювань температур у вигляді графіку, що змінюється в часі, у 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.

З метою якнайкращого моніторингу температур у цій установці на кафедрі електричної інженерії ТНТУ ім. І. Пулюя створено програму TermoControl, яка звертається до log-файлу програми TempKeeper, бере звідти кожні декілька секунд температурні дані та виводить їх у вікні, де розміщена схема цієї лабораторної установки, причому саме у тих місцях схеми, де насправді розміщені давачі DS18B20. Відтак програма TermoControl виступає у якості інформаційного додатку до програми TempKeeper.

Електрична схема живлення установки

Живлення на установку подається від блоку живлення змінної напруги з автотрансформатором. Змінна напруга перетворюється на постійну за допомогою діодного моста: у платі електроживлення та керування вимірюваннями вмонтовано випрямляч напруги та струму.

Стабілізований блок живлення

Розроблено стабілізований блок живлення, який під час коливань вхідної змінної напруги мережі у межах $220 \pm 10\%$ В 50 Гц дає на виході постійну напругу 65 В з похибкою у межах $\pm 0,1$ В.

Після подавання на випрямляч змінної (50 Гц) напруги живлення від 74 до 80 В вона випрямляється (стає постійною), потім направляється до стабілізатора напруги і на виході з нього становить $65 \pm 0,1$ В.

Електричну схему стабілізатора напруги наведено на рис. 6.

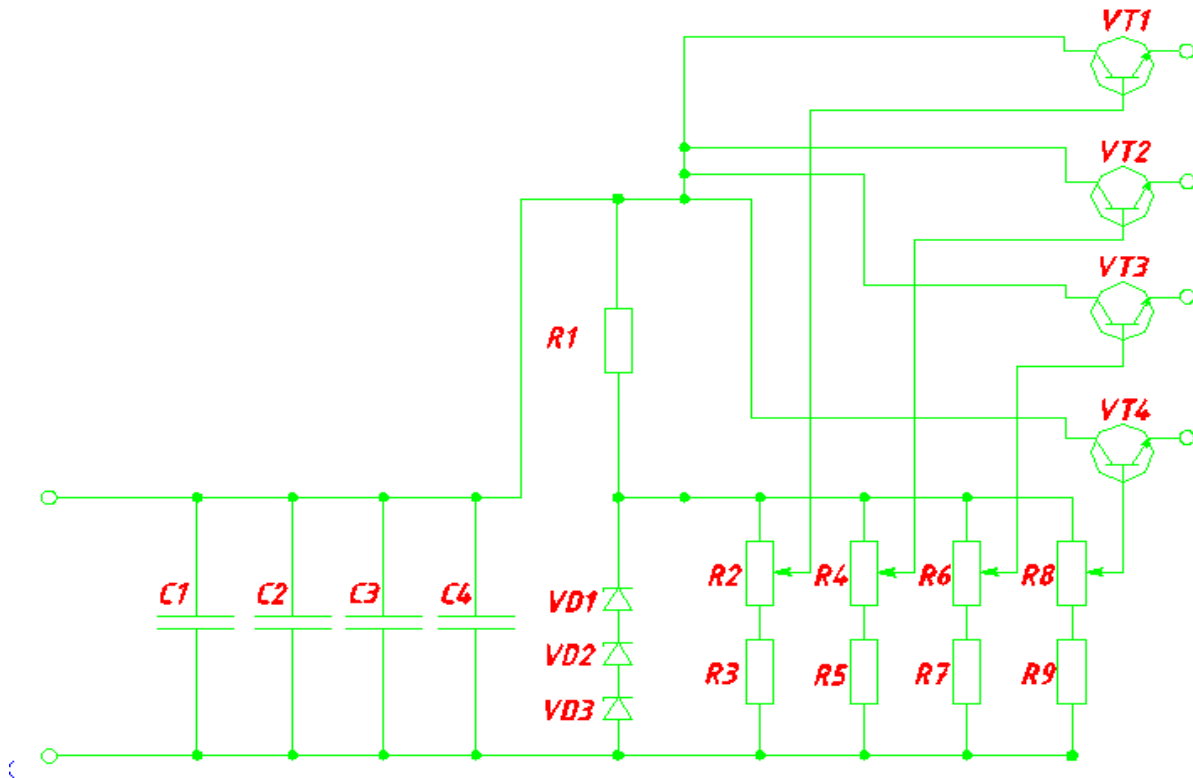


Рис. 6. Електрична схема стабілізатора напруги:

$C1, C2, C3, C4$ – конденсатори; $VD1, VD2, VD3$ – стабілітрони; $VT1, VT2, VT3, VT4$ – транзистори; $R1, R3, R5, R7, R9$ – постійні резистори; $R2, R4, R6, R8$ – змінні резистори

Стабілізатор струму

На рис. 7 зображена електрична схема стабілізатора струму, який призначений для підвищення точності стабілізації напруги. Стабілізатор струму встановлюється замість резистора $R1$ у схемі стабілізації напруги (рис. 6).

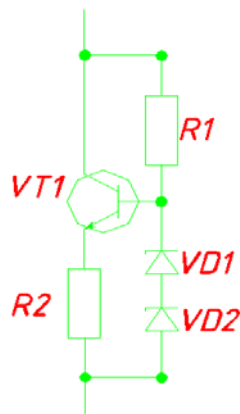


Рис. 7. Електрична схема стабілізатора струму: $VT1$ – транзистор; $R1, R2$ – постійні резистори; $VD1, VD2$ – стабілітрони

На рис. 8 наведено криву стабілізації струму.

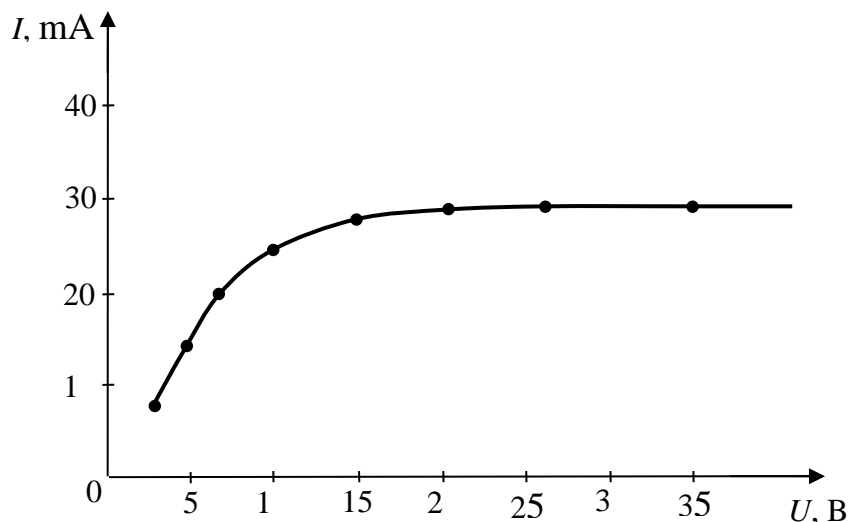


Рис. 8. Крива стабілізації струму

На завершення опису було б варто підсумувати, що описана експериментальна установка забезпечує можливість одночасного дослідження чотирьох різних конструкцій склопакетів. Вона складається з віконного блоку, плати керування, суміщеної зі стабілізованим блоком живлення, лабораторного автотрансформатора, вимірювальних приладів та ЕОМ. Вимірювання температур здійснюється за допомогою високоточних цифрових датчиків температури, які приєднані до ЕОМ (є також можливість менш точного вимірювання температур рідинними термометрами). Особливість установки полягає у тому, що вона забезпечує високу точність вимірювань з використанням простих і оригінальних технічних рішень.

Хід роботи та опрацювання одержаних даних

У кожній з чотирьох секцій установки (рис. 1, 2) за допомогою нагрівачів 4 встановлюється однакова температура, яка вища від температури повітря зовні установки на 15 – 25 °С. Вимірюються струми і напруги, які подаються на кожний з чотирьох нагрівачів. Обчислюється електрична і відповідно теплова потужність кожного з зазначених нагрівачів. Отримані результати використовуються для визначення термічного опору теплопередачі кожної з чотирьох світлопрозорих огорожувальних конструкцій.

Дослідження енергетичної ефективності сучасних віконних конструкцій з використанням чотирьохкамерної експериментальної установки

На сучасному етапі розвитку людство витрачає колосальну кількість енергоресурсів на підтримання комфортних умов у приміщеннях різного призначення (житлових, громадських, адміністративних та ін.) у холодний і спекотний періоди року. Дуже часто ці ресурси мають викопне походження (природний газ, нафта, кам'яне вугілля та ін.) і тому під час спалювання забруднюють довкілля парниковими газами та іншими шкідливими речовинами, які спричинюють глобальну загрозу. Енерговитрати житлово-комунального та інших секторів економіки можна суттєво скоротити завдяки застосуванню у будівлях, що оснащені системами опалення і/або кондиціонування, зовнішніх огорожувальних конструкцій, які мають високі значення термічного опору теплопередачі.

Одним з видів зовнішніх огорожувальних конструкцій будинків є світлопрозорі огороження (вікна, вітражі тощо). У порівнянні з іншими огороженнями вони характеризуються найнижчими значеннями термічного опору теплопередачі. Відтак питомі втрати тепла крізь вікна є максимальними. Тому промисловість випускає все нові і нові конструкції вікон, які характеризуються покращеними теплоізоляційними властивостями.

Основним елементом сучасної віконної конструкції є склопакет – герметичний пустотілий збірний модуль, який в умовах України складається переважно з однієї або двох камер, що заповнені сухим повітрям або інертним газом. Стінки камер виконані з двох (якщо склопакет однокамерний) або трьох (якщо склопакет двокамерний) скляних шиб товщиною щонайменше 4 мм. З метою зменшення передавання тепла шляхом випромінювання одна або дві шибки (в однокамерному склопакеті – лише одна шибка) склопакету можуть мати селективне покриття, яке не пропускає інфрачервоні промені.

Ця лабораторна робота присвячена визначенню термічного опору теплопередачі сучасних склопакетів. Актуальність зазначеного завдання пояснюється тим, що у довідковій літературі не завжди можна знайти цей параметр для склопакету нової конструкції. Виробники склопакетів також дуже рідко вказують його значення. Якщо навіть величину термічного опору теплопередачі того чи іншого склопакету нової конструкції яке небудь джерело інформації зазначає, її (величини) достовірність небезпідставно викликає сумніви.

Термічний опір теплопередачі сучасних склопакетів буде визначатися експериментально-аналітичним методом. Для виконання експериментальних досліджень створено чотирикамерну дослідну установку (рис. 9).

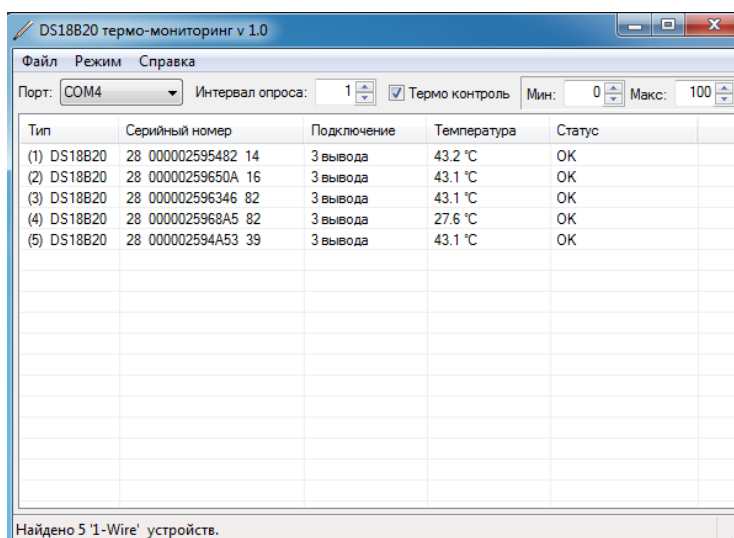


Рис. 9. Загальний вигляд чотирикамерної дослідної віконної установки

Основним елементом дослідної установки є паралелепіпедоподібний віконний блок, який складається з чотирьох окремих камер з різними світлопрозорими огороженнями (переважно склопакетами) (рис. 1, 2). Загальна площа одного склопакету – $0,25 \text{ м}^2$, а та її частина, яка у віконній конструкції пропускає світло – $F=0,219 \text{ м}^2$.

Суть експерименту полягає у наступному. До електричних джерел тепла 4 (рис. 1, 2) подається постійна стабілізована напруга, значення якої для джерела тепла у кожній окремій камері можна змінювати за допомогою регулювальних резисторів. Значення напруги і струму, які подаються до кожного джерела тепла, вимірюються за допомогою комбінованих цифрових вимірювальних приладів відповідно UT33D і UT33A. Значення температур повітря усередині кожної камери паралелепіпедоподібного віконного блоку і зовні вимірюються за допомогою цифрових давачів температури типу DS18B20, які приєднані за допомогою трижильного проводу до послідовного порту сучасної ЕОМ. На ЕОМ потрібно запуснути програму «DS18B20 термомоніторинг V1.0», яка відображає покази давачів типу DS18B20 у градусах Цельсія з роздільною здатністю $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$

(рис. 10) (також можна взяти будь яку іншу програму, яка працює з датчиками цього типу, напр. TempKeeper (див. вище)).



Тип	Серийный номер	Подключение	Температура	Статус
(1) DS18B20	28 000002595482 14	3 вывода	43.2 °C	OK
(2) DS18B20	28 00000259650A 16	3 вывода	43.1 °C	OK
(3) DS18B20	28 000002596346 82	3 вывода	43.1 °C	OK
(4) DS18B20	28 0000025968A5 82	3 вывода	27.6 °C	OK
(5) DS18B20	28 000002594A53 39	3 вывода	43.1 °C	OK

Рис. 10. Вікно програми «DS18B20 термомоніторинг V1.0»

У вікні програми «DS18B20 термомоніторинг V1.0» під номером (1) відображається показ датчика температури усередині камери зі склопакетом 14 (однокамерний звичайний 4M₁–16–4M₁) (рис.1, 2), під номером (2) – усередині камери з одинарним заскленням за допомогою листового скла 6 товщиною 4 мм (4M₁), під номером (3) – усередині камери зі склопакетом 9 (однокамерний енергозберігаючий 4i–16–4M₁), під номером (4) – зовні камери (у приміщенні лабораторії), під номером (5) – усередині камери зі склопакетом 16 (двокамерний енергозберігаючий 4i–10–4M₁–10–4M₁).

ВИКОНАННЯ ДОСЛІДІВ ТА ОПРАЦЮВАННЯ ЇХ РЕЗУЛЬТАТІВ (приклад)

У випадку подавання постійного струму на екрановані електричні джерела тепла 4 (лампи розжарення, які повністю накриті металевими ковпаками) електрична енергія перетворюється на теплову й завдяки цьому усередині камер встановлюється температура повітря, яка вища від температури повітря навколишнього середовища (у лабораторії) (рис. 1, 2). Задля зведення до мінімуму (практично до нуля) перетікання тепла крізь перегородки 15 від однієї камери до іншої усередині камер встановлюємо однакову температуру. Для цього використовуємо регулятори напруги і відповідно електричної та теплової потужності, яка подається до електричного джерела тепла 4 кожної окремої камери дослідної установки.

Дослід тривав приблизно 4 години. За цей час температура повітря усередині камер, наскільки це було можливо, вирівнялася і стабілізувалася. Температура навколишнього середовища (повітря у лабораторії) також не зазнала суттєвих змін. Крайні покази програми «DS18B20 термомоніторинг V1.0» наступні (див. табл. на рис. 4).

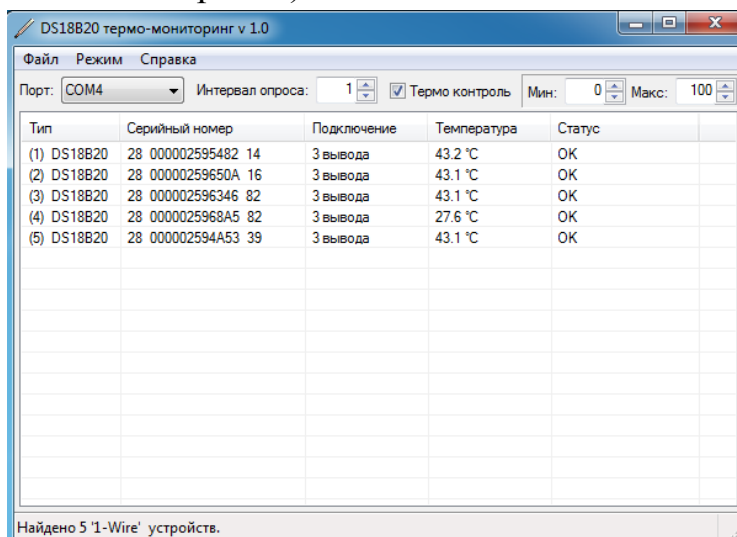


Рис. 4. Крайні покази програми «DS18B20 термомоніторинг V1.0»

У кожній камері дослідної установки та у приміщенні лабораторії, де проводився дослід, мали місце конвективні потоки повітря, які спричинювали коливання температур повітря у межах декількох десятих градуса Цельсія. Відтак було зафіксовано 10 вимірів температур повітря за останні 30 хв досліді і знайдені їхні середньоарифметичні значення. Завдяки високій точності стабілізації напруг живлення дослідної установки зміни значень напруг і струмів, які подавалися на електричні джерела тепла, за останні 30 хв досліді зафіксовано не було. Результати вимірювань і обчислень заносимо у табл. 1.

Таблиця 1

Результати вимірювань температур, струмів і напруг та обчислення теплових потужностей, які подаються у камери дослідної установки

№ з/п	Тип світлопрозорого огороження, яке встановлене у камері	t_m , °C	Δt , °C	U , В	I , мА	P , Вт	
1	Скло	4M ₁	43,07	15,58	65,1	223,8	14,569
2	Склопакет	4M ₁ -16-4M ₁	43,04	15,45	52,0	202,9	10,551
3		4i-16-4M ₁	43,11	15,52	48,1	189,4	9,110
4		4i-10-4M ₁ -10-4M ₁	43,10	15,51	47,9	189,1	9,058
	Температура повітря у лабораторії		27,59				

У табл. 1 прийняті наступні умовні позначення:

t_m – середньоарифметичні значення крайніх 10 показів давачів температури, °C;

Δt – різниця температури повітря у відповідній камері і навколишнього середовища (лабораторії), °С;

U – постійна напруга, яка подається до джерела тепла у камері, В;

I – постійний струм, який подається до джерела тепла у камері, мА;

P – електрична потужність джерела тепла у камері, Вт.

У цій роботі ми приймаємо, що електрична потужність джерела тепла $P=U \cdot I$ повністю перетворюється у теплову потужність цього джерела тепла Q , тобто $Q=P$. У свою чергу, теплова потужність джерела тепла Q дорівнює тепловій потужності Q_1 , яка втрачається крізь зовнішні огорожувальні конструкції камери дослідної установки ($Q_1=Q=P$). Останнє твердження є справедливим для випадку встановлення стабільності температур повітря як усередині камер установки, так і зовні.

Втрати тепла крізь зовнішнє огородження прямо пропорційні різниці температур повітря з обох сторін цього огородження ($Q_1=k \cdot F \cdot \Delta t$, Вт, де k – коефіцієнт теплопередачі зовнішнього огородження, Вт/(м²·°С), F – площа зовнішнього огородження, м²). Використовуючи це твердження і дані табл. 1, зведемо величину Δt для різних камер (різниця температур повітря у відповідній камері і навколишнього середовища (лабораторії), °С) до середньоарифметичного значення Δt^* (табл. 2).

Таблиця 2

Зведена таблиця результатів вимірювань і обчислень

№ з/п	Тип світлопрозорого огородження, яке встановлене у камері	t_m , °С	Δt , °С	Δt^* , °С	Q_1 , Вт	Q_1^* , Вт
1	Скло	4М ₁	43,07	15,58	14,569	14,508
2	Склопакет	4М ₁ -16-4М ₁	43,04	15,45	10,551	10,595
3		4i-16-4М ₁	43,11	15,52	9,110	9,107
4		4i-10-4М ₁ -10-4М ₁	43,10	15,51	9,058	9,061
	Температура повітря у лабораторії		27,59			

У табл. 2 прийняті наступні умовні позначення:

Δt^* – середнє значення різниці температур повітря усередині камери дослідної установки і навколишнього середовища, °С;

Q_1^* – втрати тепла крізь зовнішні огорожувальні конструкції відповідної камери дослідної установки, які одержані експериментальним шляхом і приведені до середнього значення різниці температур Δt^* .

З урахуванням того, що будь яка камера установки відрізняється від іншої лише видом світлопрозорого огородження, за даними крайньої правої графі табл. 2 можна зробити висновок про енергоефективність того чи іншого огородження. Найвищу енергетичну ефективність має двокамерний

енергозберігаючий склопакет 4i-10-4M₁-10-4M₁ ($Q_1^*=Q_{1\min}^*=9,061$ Вт). Найнижчий показник з огляду енергоефективності має одинарне скло товщиною 4 мм (4M₁) ($Q_1^*=Q_{1\max}^*=14,508$ Вт). Інші два склопакети займають проміжні позиції, причому за цим критерієм однокамерний енергозберігаючий склопакет 4i-16-4M₁ ($Q_1^*=9,107$ Вт) є кращим від звичайного однокамерного 4M₁-16-4M₁ ($Q_1^*=10,595$ Вт).

У цій роботі ми приймаємо термічні опори теплопередачі перших двох світлопрозорих конструкцій з табл. 2 такими, які є відомими і їх можна знайти у довідковій літературі (табл. 3).

Таблиця 3

Термічний опір теплопередачі світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій, які досліджуються, згідно з [8] (ДБН В.2.6-31:2006 «Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель»)

№ з/п	Тип світлопрозорого огородження	Формула світлопрозорого огородження	$R_{\alpha in},$ (м ² ·°C)/Вт	$R_{gu},$ (м ² ·°C)/Вт	$R_{\alpha out},$ (м ² ·°C)/Вт	$R_o,$ (м ² ·°C)/Вт
1	Одинарне застклення	4M ₁	0,125	0,00526	0,0435	0,17
2	Звичайний однокамерний склопакет	4M ₁ -16-4M ₁	0,125	0,1515	0,0435	0,32

У табл. 2 прийняті наступні умовні позначення:

$R_{\alpha in}$ – термічний опір тепловіддачі від повітря усередині приміщення до внутрішньої поверхні світлопрозорої конструкції, (м²·°C)/Вт;

R_{gu} – термічний опір склопакету як монолітної конструкції (у випадку одинарного застклення – термічний опір теплопровідності скляної шиби), (м²·°C)/Вт;

$R_{\alpha out}$ – термічний опір тепловіддачі від зовнішньої поверхні світлопрозорої конструкції до зовнішнього повітря, (м²·°C)/Вт;

R_o – термічний опір теплопередачі світлопрозорої конструкції, (м²·°C)/Вт.

Для такого виду теплообміну як теплопередача є справедливою наступна аналітична залежність:

$$R_o = R_{\alpha in} + R_{gu} + R_{\alpha out}. \quad (1)$$

З урахуванням того, що опрацювання даних експерименту є досить складним, розіб'ємо його на декілька етапів:

1. Визначення теоретичних втрат тепла Q_{lt} крізь світлопрозорі частини віконних конструкцій, дані про які наведено у табл. 3, для різниці температур $\Delta t^*=15,515$ °C (табл. 2).

Світлопрозору частину віконної конструкції приймаємо такою самою, як у дослідної установки ($F=0,219$ м²). Наприклад, для одинарного застклення 4М₁

$$Q_{lt1}=(1/R_{o1})\cdot F\cdot\Delta t^*=(1/0,17)\cdot 0,219\cdot 15,515 =19,987 \text{ Вт.} \quad (2)$$

Результати розрахунків заносимо у табл. 4.

Таблиця 4

Теоретичні втрати тепла Q_{lt} крізь світлопрозорі частини двох видів віконних конструкцій та їх різниця

№ з/п	Формула світлопрозорого огороження	$R_{\alpha in},$ (м ² ·°C)/Вт	$R_{gu},$ (м ² ·°C)/Вт	$R_{\alpha out},$ (м ² ·°C)/Вт	$R_o,$ (м ² ·°C)/Вт	$Q_{lt},$ Вт для $\Delta t^*=15,515$ °C, $F=0,219$ м ²	$Q_{lt1}-Q_{lti},$ Вт
1	4М ₁	0,125	0,00526	0,0435	0,17	19,987	0
2	4М ₁ -16-4М ₁		0,1515		0,32	10,618	9,369

Примітка: індекс «i» у виразі « Q_{lti} » означає порядковий номер світлопрозорого огороження у таблиці

Під час проведення експерименту також було зафіксовано відмінність втрат тепла крізь зовнішні огорожувальні конструкції кожної з чотирьох камер (табл. 2). Якщо знехтувати неточністю виготовлення установки, то різниця втрат тепла камерами зумовлена виключно відмінністю конструкцій світлопрозорих огорожень.

Лабораторні умови роботи світлопрозорих огорожень дослідної установки відрізняються від реальних умов їх роботи. Насамперед мова йде про коефіцієнти тепловіддачі $\alpha_{in}, \alpha_{out}$ і термічні опори тепловіддачі $R_{\alpha in}$ і $R_{\alpha out}$ ($R_{\alpha in}=1/\alpha_{in}, R_{\alpha out}=1/\alpha_{out}$). Використовуючи результати експерименту і дані довідкової літератури (див. вище), знайдемо суму термічних опорів тепловіддачі ($R_{\alpha in}+R_{\alpha out}$) для випадку лабораторних умов роботи світлопрозорих огорожувальних конструкцій.

2. Визначення суми термічних опорів тепловіддачі ($R_{\alpha in}+R_{\alpha out}$) для випадку лабораторних умов роботи світлопрозорих огорожувальних конструкцій.

Напишемо рівняння теплового балансу для камер дослідної установки з одинарним склом 4М₁ і склопакетом 4М₁-16-4М₁ та виконаємо з ними необхідні перетворення:

$$Q_{11}^*=(1/R_{o1})\cdot F\cdot\Delta t^*+\Sigma Q_h; \quad (3)$$

$$Q_{12}^*=(1/R_{o2})\cdot F\cdot\Delta t^*+\Sigma Q_h; \quad (4)$$

$$Q_{11}^*-Q_{12}^*=14,508-10,595=3,913 \text{ Вт}; \quad (5)$$

$$Q_{11}^*-Q_{12}^*=(1/R_{o1})\cdot F\cdot\Delta t^*+\Sigma Q_h-((1/R_{o2})\cdot F\cdot\Delta t^*+\Sigma Q_h)=3,913 \text{ Вт}; \quad (6)$$

$$F \cdot \Delta t^* \cdot (1/R_{o1} - 1/R_{o2}) = 3,913 \text{ Вт}; \quad (7)$$

$$F \cdot \Delta t^* \cdot (1/(R_{gu1} + R_{ain} + R_{aout}) - 1/(R_{gu2} + R_{ain} + R_{aout})) = 3,913 \text{ Вт}; \quad (8)$$

$$0,219 \cdot 15,515 \cdot (1/(0,00526 + R_{ain} + R_{aout}) - 1/(0,1515 + R_{ain} + R_{aout})) = 3,913 \text{ Вт}; \quad (9)$$

В аналітичних виразах (3) і (4) ΣQ_h – сумарні втрати теплової потужності крізь усі непрозорі зовнішні огороження камери дослідної установки (дно, кришку, непрозору частину віконного блоку (трикамерний металопластиковий віконний профіль Viknaroff)). У виразі (5) числові значення запозичено з табл. 2. У виразі (9) числові значення запозичено з табл. 4.

У результаті розв’язування рівняння (9) цифровим методом одержуємо: $R_{ain} + R_{aout} = 0,285 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$.

3. Визначення експериментальних значень термічного опору теплопередачі R_o світлопрозорих конструктивних елементів, які мають формули $4M_1$ і $4M_1-16-4M_1$.

Для знаходження експериментальних значень термічного опору теплопередачі R_o світлопрозорих конструктивних елементів, які мають формули $4M_1$ та $4M_1-16-4M_1$, використовуємо аналітичну залежність (1). Суму термічних опорів тепловіддачі ($R_{ain} + R_{aout}$) беремо з попереднього пункту 2 (її було визначено у результаті розв’язування рівняння (9)). Термічний опір склопакету R_{gu} як монолітної конструкції (у випадку одинарного застосування – термічний опір теплопровідності скляної шиби) беремо з табл. 3. Наприклад, для одинарного застосування $4M_1$

$$R_{o1} = R_{ain} + R_{gu1} + R_{aout} = (R_{ain} + R_{aout}) + R_{gu1} = 0,285 + 0,00526 = 0,2903 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}. \quad (10)$$

Результати розрахунків заносимо у табл. 5.

Таблиця 5

Значення термічних опорів теплопередачі та суми термічних опорів тепловіддачі, які одержані з використанням експериментальних даних (для двох видів світлопрозорих огорожень)

№ з/п	Формула світлопрозорого огороження	$R_{ain} + R_{aout}$, ($\text{м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$	R_{gu} , ($\text{м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$	R_o , ($\text{м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$
1	$4M_1$	0,285	0,00526	0,2903
2	$4M_1-16-4M_1$		0,1515	0,4365

4. Визначення експериментальних значень термічних опорів теплопередачі R_o світлопрозорих конструктивних елементів, які мають формули $4i-16-4M_1$ та $4i-10-4M_1-10-4M_1$.

Для знаходження термічних опорів теплопередачі склопакетів з формулами $4i-16-4M_1$ та $4i-10-4M_1-10-4M_1$ використаємо різницю втрат тепла камерами дослідної установки $Q_{11}^* - Q_{i1}^*$ (спочатку першої і третьої, а потім

першої і четвертої) (табл. 2) і експериментально отримане значення термічного опору теплопередачі R_{o1} одинарного застклення $4M_1$ (табл. 5). Для визначення термічних опорів склопакетів як монолітних конструкцій R_{gu} використаємо формулу (1). Суму термічних опорів тепловіддачі ($R_{ain}+R_{aout}$) беремо з пункту 2 (її було визначено у результаті розв'язування рівняння (9)). Наприклад, для камер дослідної установки з одинарним склом товщиною 4 мм і однокамерним енергозберігаючим склопакетом з формулою $4i-16-4M_1$ рівняння теплового балансу наберуть наступного вигляду:

$$\begin{aligned} Q_{11}^* &= (1/R_{o1}) \cdot F \cdot \Delta t^* + \Sigma Q_h; \\ Q_{13}^* &= (1/R_{o3}) \cdot F \cdot \Delta t^* + \Sigma Q_h; \\ Q_{11}^* - Q_{13}^* &= F \cdot \Delta t^* \cdot (1/R_{o1} - 1/R_{o3}); \\ R_{o3} &= 1 / (1/R_{o1} - (Q_{11}^* - Q_{13}^*) / (F \cdot \Delta t^*)) = \\ &= 1 / (1/0,2903 - (14,508 - 9,107) / (0,219 \cdot 15,515)) = 0,539 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C) / Вт}; \\ R_{gu3} &= R_{o3} - (R_{ain} + R_{aout}) = 0,539 - 0,285 = 0,254 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C) / Вт}. \end{aligned} \quad (11)$$

$$(12)$$

Результати розрахунків заносимо у табл. 6.

Таблиця 6

Значення термічних опорів теплопередачі R_o та термічних опорів склопакетів як монолітних конструкцій (термічного опору теплопровідності одинарного застклення) R_{gu} , що одержані з використанням експериментальних даних (для чотирьох видів світлопрозорих огорожень)

№ з/п	Формула світлопрозорого огороження	Q_1^* , Вт для $\Delta t^* = 15,515$ °C, $F = 0,219$ м ²	$Q_{11}^* - Q_{13}^*$, Вт	$R_{ain} + R_{aout}$, (м ² ·°C)/Вт	R_{gu} , (м ² ·°C)/Вт	R_o , (м ² ·°C)/Вт
1	$4M_1$	14,508	0	0,285	0,00526	0,2903
2	$4M_1-16-4M_1$	10,595	3,913		0,1515	0,4365
3	$4i-16-4M_1$	9,107	5,401		0,2540	0,5390
4	$4i-10-4M_1-10-4M_1$	9,061	5,447		0,2580	0,5430

5. Визначення експериментальних втрат тепла Q_{le} крізь світлопрозорі частини зовнішніх огорожень камер дослідної установки.

Експериментальні втрати тепла Q_{le} крізь світлопрозорі частини зовнішніх огорожень камер дослідної установки (для $R_{ain} + R_{aout} = 0,285$ (м²·°C)/Вт) визначаємо з використанням даних табл. 6 за формулою

$$Q_{le} = (1/R_o) \cdot F \cdot \Delta t^* \quad (13)$$

Наприклад, для склопакету з формулою $4M_1$

$$Q_{le} = (1/R_o) \cdot F \cdot \Delta t^* = (1/0,2903) \cdot 0,219 \cdot 15,515 \approx 11,704 \text{ Вт.}$$

Сумарні втрати теплової потужності ΣQ_h крізь усі непрозорі зовнішні огороження камер дослідної установки (дно, кришку, непрозору частину

віконного блоку (трикамерний металопластиковий віконний профіль Viknaroff)) визначаємо як різницю загальних втрат тепла Q_1^* відповідною камерою установки і втрат тепла Q_{le} крізь світлопрозору частину цієї ж камери:

$$\Sigma Q_h = Q_1^* - Q_{le}. \quad (14)$$

Наприклад, для склопакету з формулою $4M_1$

$$\Sigma Q_h = Q_1^* - Q_{le} = 14,508 - 11,704 = 2,804 \text{ Вт.}$$

Результати розрахунків заносимо у табл. 7. Незначна розбіжність числових значень у крайній правій колонці цієї таблиці зумовлена похибкою розрахунків. Сумарні втрати тепла крізь непрозорі частини камер дослідної установки ΣQ_h є однаковими і становлять у середньому $\Sigma Q_{hm} \approx 2,806$ Вт для кожної окремої камери.

Таблиця 7

Експериментальні втрати тепла Q_{le} крізь світлопрозорі частини зовнішніх огорожень дослідної установки для $R_{ain} + R_{aout} = 0,285$ ($m^2 \cdot ^\circ C$)/Вт

№ з/п	Формула світлопрозорого огороження	R_o , ($m^2 \cdot ^\circ C$)/Вт	Q_1^* , Вт для $\Delta t^* = 15,515$ $^\circ C$, $F = 0,219$ m^2	Q_{le} , Вт для $\Delta t^* = 15,515$ $^\circ C$, $F = 0,219$ m^2	ΣQ_h , Вт
1	$4M_1$	0,2903	14,508	11,704	2,804
2	$4M_1-16-4M_1$	0,4365	10,595	7,784	2,811
3	$4i-16-4M_1$	0,5390	9,107	6,304	2,803
4	$4i-10-4M_1-10-4M_1$	0,5430	9,061	6,257	2,804
					$\Sigma Q_{hm} \approx 2,806$ Вт

6. Зведення експериментальних значень термічних опорів теплопередачі склопакетів $4i-16-4M_1$ та $4i-10-4M_1-10-4M_1$ до стандартних (нормативних) умов, тобто до випадку, коли коефіцієнти тепловіддачі дорівнюють $\alpha_{in} = 8,0$ Вт/($m^2 \cdot ^\circ C$) і $\alpha_{out} = 23$ Вт/($m^2 \cdot ^\circ C$), а термічні опори тепловіддачі – відповідно $R_{ain} = 1/\alpha_{in} = 1/8,0 = 0,125$ ($m^2 \cdot ^\circ C$)/Вт і $R_{aout} = 1/\alpha_{out} = 1/23 \approx 0,0435$ ($m^2 \cdot ^\circ C$)/Вт.

Зведемо визначені нами значення термічних опорів теплопередачі склопакетів $4i-16-4M_1$ та $4i-10-4M_1-10-4M_1$ до стандартних умов, тобто до коефіцієнтів тепловіддачі $\alpha_{in} = 8,0$ Вт/($m^2 \cdot ^\circ C$) і $\alpha_{out} = 23$ Вт/($m^2 \cdot ^\circ C$) ($R_{ain} = 1/\alpha_{in}$, $R_{aout} = 1/\alpha_{out}$). Наприклад, термічний опір теплопередачі склопакету $4i-16-4M_1$, який перерахований до стандартних (нормалізованих) умов, буде дорівнювати

$$R_{o3} = R_{ain} + R_{aout} + R_{gu3} = 1/\alpha_{in} + 1/\alpha_{out} + R_{gu3} = 1/8 + 1/23 + 0,254 \approx 0,422 \text{ (} m^2 \cdot ^\circ C \text{)/Вт,} \quad (15)$$

а склопакету $4i-10-4M_1-10-4M_1$ –

$$R_{o4} = R_{ain} + R_{aout} + R_{gu4} = 1/\alpha_{in} + 1/\alpha_{out} + R_{gu4} = 1/8 + 1/23 + 0,258 \approx 0,426 \text{ (} m^2 \cdot ^\circ C \text{)/Вт.} \quad (16)$$

Результати розрахунків заносимо у табл. 8.

Таблиця 8

Значення термічних опорів теплопередачі R_0 світлопрозорих огорожень, які визначені на основі результатів експерименту і перераховані для коефіцієнтів тепловіддачі $\alpha_{in}=8,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ і $\alpha_{out}=23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ($R_{\alpha in}=1/\alpha_{in}$, $R_{\alpha out}=1/\alpha_{out}$), та їхні аналоги з довідника

№ з/п	Формула світлопрозорого огороження	$R_{\alpha in}$, ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)/ Вт	$R_{\alpha out}$, ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)/ Вт	$R_{\alpha in}+R_{\alpha out}$, ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)/ Вт	R_{gu} , ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)/Вт		R_0 , ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)/Вт	
		Довідникові значення цих величин використані для перерахунку експериментальних значень R_{gu} і R_0 у нормалізовані			З довідника	За результатами експерименту	З довідника	За результатами експерименту
1	$4M_1$	0,125*	0,0435*	0,1685*	0,0053*		0,17*	
2	$4M_1-16-4M_1$				0,1515*		0,32*	
3	$4i-16-4M_1$				0,4215*	0,2540	0,59*	0,422
4	$4i-10-4M_1-10-4M_1$				0,4715*	0,2580	0,64*	0,426

Примітка: *Ці значення R_0 та інших величин запозичені з ДБН В.2.6-31:2006 «Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель».

Як показують дані табл. 8, значення R_0 для розглянутих вище двох склопакетів, згідно з результатами виконаних нами експериментів, є нижчими від тих, які наведені у довіднику. Для склопакету $4i-16-4M_1$ – меншими на 29% ($(1-0,422/0,59) \cdot 100\%=29\%$), а для склопакету $4i-10-4M_1-10-4M_1$ – меншими на 33% ($(1-0,426/0,64) \cdot 100\%=33\%$).

ВИСНОВКИ

1. Представлено оригінальний експериментальний метод визначення енергетичної ефективності сучасних віконних конструкцій. У якості параметру, за яким оцінюється енергоефективність, прийнято термічний опір теплопередачі. Для проведення експерименту потрібно мати у розпорядженні не менш ніж три різні світлопрозорі огорожувальні конструкції однакових розмірів (у нашій дослідній установці їх кількість становить чотири штуки), причому термічні опори теплопередачі двох з них повинні бути заздалегідь відомими.

2. У дослідній установці експериментальним шляхом визначено втрати тепла крізь зовнішні огороження чотирьох ідентичних камер, які мають лише одну відмінність – різні види вертикальних світлопрозорих огорожувальних конструкцій. Усі чотири світлопрозорі конструкції мають однакову довжину і висоту (468 мм). Під час експерименту за допомогою пристроїв керування встановлено також однакову різницю температур повітря з обох боків (зсередини і ззовні) зазначених конструкцій (15,515 °С). Для підтримування вказаної різниці температур у кожену камеру безперервно подавалася певна кількість теплової енергії (теплова потужність), значення якої фіксувалося.

3. З використанням експериментальних і довідникових даних визначено суму термічних опорів тепловіддачі (внутрішнього $R_{\alpha in}$ і зовнішнього $R_{\alpha out}$) для випадку лабораторних умов роботи світлопрозорих огорожувальних конструкцій – $R_{\alpha in} + R_{\alpha out} = 0,285$ (м²·°С)/Вт. При цьому враховано довідникові дані лише тих двох світлопрозорих конструкцій, енергоефективність яких вважається відомою (одинарне скло товщиною 4 мм (4М₁) і звичайний однокамерний склопакет 4М₁–16–4М₁).

4. Визначено експериментальні значення термічних опорів теплопередачі тих двох світлопрозорих огорожувальних конструкцій, енергоефективність яких вважається відомою. Для одинарного скла товщиною 4 мм (4М₁) $R_0 = 0,2903$ (м²·°С)/Вт, для звичайного однокамерного склопакету 4М₁–16–4М₁ $R_0 = 0,4365$ (м²·°С)/Вт.

5. Визначено експериментальні значення термічних опорів теплопередачі тих двох світлопрозорих огорожувальних конструкцій, енергоефективність яких невідома. Для енергозберігаючого однокамерного склопакету 4і–16–4М₁ $R_0 = 0,5390$ (м²·°С)/Вт, а для енергозберігаючого двокамерного склопакету 4і–10–4М₁–10–4М₁ $R_0 = 0,5430$ (м²·°С)/Вт.

6. Визначено експериментальні значення втрат тепла крізь світлопрозорі частини зовнішніх огорожень усіх чотирьох камер дослідної установки (площа світлопрозорої частини огороження однієї камери становить 0,219 м², а різниця температур повітря, яке знаходиться з обох боків світлопрозорого огороження –

15,515 °C). За таких умов крізь одинарне скло товщиною 4 мм (4M₁) втрачається тепла потужність 11,704 Вт, звичайний однокамерний склопакет 4M₁-16-4M₁ – 7,784 Вт, енергозберігаючий однокамерний склопакет 4i-16-4M₁ – 6,304 Вт, енергозберігаючий двокамерний склопакет 4i-10-4M₁-10-4M₁ – 6,257 Вт.

7. Експериментальні значення термічних опорів теплопередачі тих двох склопакетів, енергоефективність яких ми визначаємо, зведено до стандартних (нормативних) умов, тобто до випадку, коли коефіцієнти тепловіддачі дорівнюють $\alpha_{in}=8,0$ Вт/(м²·°C) і $\alpha_{out}=23$ Вт/(м²·°C), а термічні опори тепловіддачі – відповідно $R_{\alpha in}=1/\alpha_{in}=1/8,0=0,125$ (м²·°C)/Вт і $R_{\alpha out}=1/\alpha_{out}=1/23\approx 0,0435$ (м²·°C)/Вт. Відтак згідно з даними наших експериментів і розрахунків нормалізоване значення термічного опору теплопередачі склопакету 4i-16-4M₁ становить $R_0=0,422$ (м²·°C)/Вт, а склопакету 4i-10-4M₁-10-4M₁ – $R_0=0,426$ (м²·°C)/Вт.

8. Якщо за початок відліку енергоефективності E прийняти термічний опір теплопередачі одинарного застосування товщиною 4 мм (4M₁) ($R_0=0,17$ (м²·°C)/Вт, $E=100$ %), то згідно з даними наших експериментів і розрахунків енергоефективність енергозберігаючого однокамерного склопакету 4i-16-4M₁ ($R_0=0,422$ (м²·°C)/Вт) становить $E=248$ %, а енергозберігаючого двокамерного склопакету 4i-10-4M₁-10-4M₁ ($R_0=0,426$ (м²·°C)/Вт) – $E=251$ %. Для порівняння, згідно з довідниковими даними енергоефективність звичайного однокамерного склопакету 4M₁-16-4M₁ ($R_0=0,32$ (м²·°C)/Вт) становить $E=188$ %.

9. Запропонований метод визначення енергетичної ефективності світлопрозорих вертикальних огорожувальних конструкцій може бути узагальнений і на будь які інші типи огорожувальних конструкцій.

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.