

У статті наведені результати експериментальних досліджень низькотемпературного електронагрівного карбонового полотна, яке застосовується для опалення приміщень. Знайдені вольт-амперні характеристики, залежність температури нагріву полотна та спектра випромінювання від напруги живлення. За допомогою тепловізора досліджено розподіл температури по полотну при номінальних значеннях напруги. Запропоновано і реалізовано спосіб експериментальної оцінки променистої і конвекційної складової тепловіддачі КП

Ключові слова: карбонове полотно, опалення приміщень, конвекційне опалення, інфрачервоне опалення, співвідношення складових тепловіддачі

В статье приведены результаты экспериментальных исследований низкотемпературного электронагревательного карбонового полотна, применяемого для отопления помещений. Найденны вольт-амперные характеристики, зависимость температуры нагрева полотна и спектра излучения от напряжения питания. Исследовано распределение температуры по полотну при номинальных значениях напряжения с помощью тепловизора. Предложен и реализован способ экспериментальной оценки лучистой и конвекционной составляющей теплоотдачи КП

Ключевые слова: карбоновое полотно, отопление помещений, конвекционное отопление, инфракрасное отопление, соотношение составляющих теплоотдачи

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОНАГРІ- ВАЛЬНОГО КАРБОНОВОГО ПОЛОТНА ДЛЯ СИСТЕМ ІНФРАЧЕРВОНОГО ОПАЛЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ

Д. В. Філін

Кандидат фізико-математичних наук,
старший викладач*

E-mail: dvf@bigmir.net

В. В. Іванова

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: vivanova_ukr@mail.ru

*Кафедра прикладної фізики

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

1. Вступ

Останнім часом проблема автономного опалення приміщень стала надзвичайно актуальною. Дійсно, при централізованому опаленні цілих районів або населених пунктів втрати тепла в тепломережах є дуже суттєвими. Автономне опалення дозволяє обмежити втрати локальними витокami, які регулюються вдосконаленням теплоізоляції будинку або приміщення. Крім того, такий тип опалення дозволяє гнучко реагувати на природні коливання температури зовні і регулювати кількість тепла, яке виробляється.

Існує велика кількість різноманітних видів автономного опалення цілих будинків і приміщень, зокрема обігрівачі, які відносять до класу інфрачервоних (ІЧ) випромінювачів. Актуальним є розгляд питання щодо обігріву приміщення за допомогою гнучкого карбонового полотна, що живиться від електромережі або електрогенератора. Таке електронагрівальне полотно застосовують для створення так званих «теплих» підлог, «теплих» стель або «теплих» стін. Використання електронагрівального полотна набуває все більшої популярності у населення завдяки ряду безсумнівних переваг, серед яких можна перелічити компактність

(саме покриття тонке, а необхідні для їх роботи понижуючі трансформатори – малогабаритні), швидкий нагрів до необхідної температури, зручність і легкість монтажу, безпечність експлуатації та адекватна вартість. Однак серед потенційних споживачів подібних електронагрівальних полотен є як прихильники, так і противники ІЧ систем обігріву, які ставлять під сумнів заявлені виробниками властивості і характеристики таких систем. Крім того, відомі теоретичні розрахунки співвідношення променистої (радіаційної) та конвективної складової тепловіддачі ІЧ нагрівачів справедливі для високотемпературних систем обігріву і не підтверджуються експериментальними дослідженнями для низькотемпературних нагрівачів. Тому дослідження характеристик гнучких електронагрівальних полотен повинне дати відповіді на всі нез'ясовані питання.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Відомі роботи, присвячені вдосконаленню обігрівачів променистої дії (ІЧ обігрівачів) [1], роботи, які пропонують методи розрахунків потужностей нагрівачів

вальних приладів для обігріву робочих приміщень [2–4]. В [5] наведено методику теоретичного розрахунку співвідношення променистої (радіаційної) та конвективної складової тепловіддачі. Згідно з [5] частка радіаційної складової при споживаній потужності близько 200 Вт становить 58 % і нелінійно збільшується при більш високих потужностях. Але такі оцінки були зроблені для УФО обігрівачів, основним джерелом тепла яких є високотемпературний нагрівний елемент (ТВЕЛ).

Для низькотемпературних джерел дослідження не проводились і експериментально не підтверджувались. Тому на нашу думку було важливо дослідити та перевірити характеристики низькотемпературних джерел обігріву приміщень, які активно з'являються на сучасному ринку. Серед таких джерел останнім часом набирають популярність так звані карбонові полотна [6, 7]. Виробники представляють їх в якості базового елемента променевого опалення, що є згідно [8] «порівняно новий вид опалення, принцип дії якого базується на обігріві предметів потоком променистої енергії – хвилі інфрачервоного діапазону».

Визначення частки такої «променистої енергії» до повної теплової енергії, яка йде на нагрівання предметів у приміщенні, є на нашу думку однією з перших спроб дослідити сучасні низькотемпературні системи опалення.

3. Мета і завдання дослідження

Метою даної роботи є аналіз тепловипромінюючих та електричних характеристик гнучкого електронагрівального карбонового полотна (КП).

Для досягнення поставленої мети були поставлені завдання дослідити:

- випромінювання карбонового полотна та його здатність нагрівати приміщення та предмети в ньому;
- співвідношення променистої та конвективної складової тепловіддачі КП, що йде на нагрів приміщення;
- споживану потужність та електромагнітні поля, створювані КП;
- залежність тепловипромінюючих властивостей КП від виду покриття;
- безпечність та стійкість КП до пошкоджень.

4. Дослідження випромінювання карбонового полотна та його здатність нагрівати приміщення та предмети в ньому

Об'єктом досліджень є перфороване карбонове полотно на Carbontec® з ворсистією нетканою поверхнею, яке виробляється в Німеччині [1]. Заявлена виробником потужність складає 251 Вт на 1 м² полотна для напруги 36 В.

4. 1. Визначення температурної залежності полотна при різних джерелах живлення

Для дослідження температури нагріву поверхні КП від прикладеної напруги була проведена серія з 20 експериментів з відкритим полотном, закріпленим на плиті пінопласту, товщиною 5 см, та встановлено,

що рівноважної температури КП досягає за 20–25 с. Температура вимірювалась за допомогою термометра та додатково контролювалась тепловізором. Усереднені результати вимірювань подані на рис. 1.

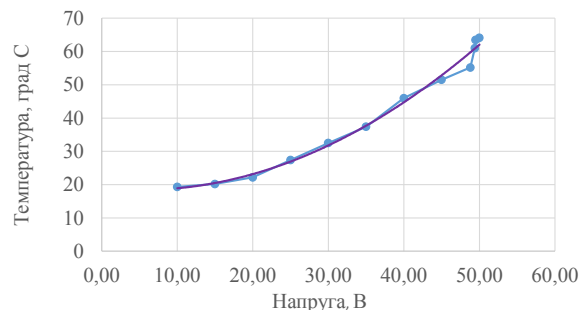


Рис. 1. Залежність температури нагріву полотна від підведеної напруги

4. 2. Визначення спектра випромінювання

Якщо розглядати КП як джерело випромінювання електромагнітних хвиль оптичного діапазону, в т. ч. і ІЧ, то полотно є ламбертівським випромінювачем, тобто його енергетична яскравість L_e не залежить від напрямку:

$$L_e = \frac{M_e}{\pi}, \tag{1}$$

де M_e – енергетична світність полотна, тобто потужність випромінювання (потік) з одиниці площі поверхні, Вт/м².

Якщо полотно і фон (всі предмети за ним) випромінюють за законом Ламберта, то для таких об'єктів і фонів енергетичний параметр зручно задавати температурою поверхні T та спектральним коефіцієнтом випромінювання $\epsilon(\lambda)$. Останній визначає здатність джерела випромінювати як абсолютно чорне тіло на даній довжині хвилі λ . При цьому спектральну енергетичну світність об'єкта визначають функцією Планка $M_\lambda(\lambda, T)$ [9]:

$$M(\lambda, T) = \epsilon(\lambda) M_\lambda(\lambda, T) = \epsilon(\lambda) \frac{c_1}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]}, \frac{Вт}{см^2 \cdot мкм} \tag{2}$$

де $c_1=37415$ Вт·см⁻²·мкм⁴; $c_2=14388$ мкм·К – постійні коефіцієнти; λ – довжина хвилі, мкм.

Графіки залежностей спектральної енергетичної світності полотна при різних температурах його нагріву подано на рис. 2.

Енергетична світність на рис. 2 має розмірність Вт/мм²·мкм, а λ – мкм. Температури нагріву полотна позначені зліва: $T=24$ °С (297 К), $T=32$ °С (305 К), $T=40$ °С (313 К), $T=50$ °С (323 К), $T=60$ °С (333 К). Найнижча крива відповідає фоновому випромінюванню кімнати при 16 °С. Видно, що при збільшенні температури максимуми кривих зсуваються в короткохвильову область.

Основна частка випромінювання припадає на середньо- і довгохвильовий інфрачервоний діапазон, який є абсолютно нешкідливим для людського ор-

ганізму. Синіми вертикальними лініями обмежено діапазон 8–14 мкм, який заявляють виробники КП, як робочий діапазон випромінювання.

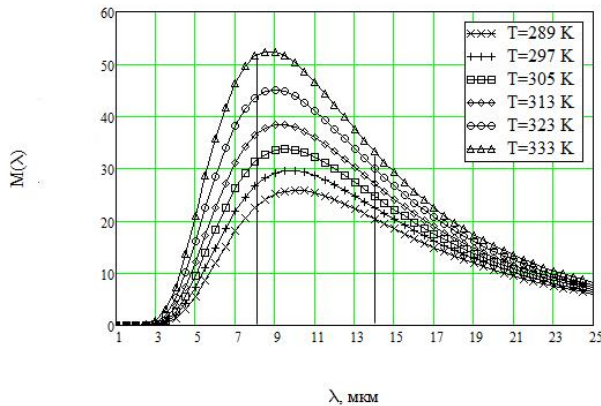


Рис. 2. Спектральна енергетична світлість полотна при різних температурах

Повний потік випромінювання з одиниці площі поверхні полотна при даній температурі визначається різницею площ під відповідній даній температурі кривою і найнижчою кривою на графіку. Якщо в заданому спектральному діапазоні λ_1 – λ_2 , на який припадає найсуттєвіша частка випромінювання, вважати коефіцієнт випромінювання однакою і постійним для полотна і фона, рівним ϵ , то повна потужність випромінювання КП визначиться як [10]:

$$\Phi = S \cdot \epsilon \Delta M_e = S \cdot \Delta T \cdot \epsilon \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\partial M_\lambda(\lambda, T_b)}{\partial T} d\lambda, \quad (3)$$

де S – площа поверхні КП.

З (3) впливає важливий для подальших оцінок висновок про пропорційність потоку випромінювання температурному контрасту ΔT .

Якщо об'єкт та фон перебуває у стані термодинамічної рівноваги, то згідно із законом збереження енергії інтенсивність падаючого на даний об'єкт випромінювання дорівнює інтенсивності, що з нього випромінюється. Спектральний коефіцієнт поглинання у цьому випадку дорівнює спектральному коефіцієнту випромінювання $\alpha(\lambda) = \epsilon(\lambda)$. Крім того, закон збереження енергії для непрозорих тіл дає такий результат:

$$\alpha(\lambda) + \rho(\lambda) = 1, \quad (4)$$

де $\rho(\lambda)$ – коефіцієнт відбивання.

4. 3. Визначення співвідношення теплопередачі за допомогою інфрачервоного випромінювання (ІЧ) і природної конвекції

Так як не відомі способи визначення співвідношення між ІЧ та конвективною складовою в тепловіддачі, було запропоновано новий опосередкований спосіб, який полягає у вимірюванні приросту температури при обмеженні поглинання теплового випромінювання при $\rho(\lambda) = 0$ в порівнянні з повністю відбиваючою поверхнею $\rho(\lambda) = 1$.

Під природною конвекцією мали на увазі рух нагрітого від полотна повітря вгору і постійну зміну його на більш холодне повітря без додаткової вентиляції і протягів. Дослід проводився на відкритому стенді з

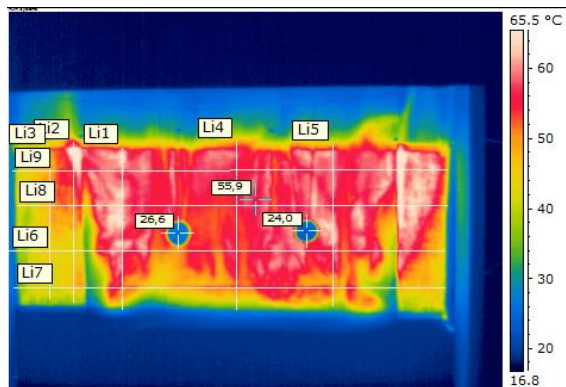
пінопласту, на якому вертикально кріпилося карбонове полотно (рис. 3). На невеликих відстанях від полотна (від 5 до 15 см) кріпилися круглі плоскі мішені однаковою теплоємності і розмірів, але різні за ступенем поглинання теплового випромінювання. Конструктивно, кожна з мішеней являла собою два склеєних між собою кружка однакового розміру, вирізані з фольгового паперу і чорного картону. Відмінність полягала в тому, що в одній мішені фольга виявлялася всередині, а чорна сторона картону – зовні, а в іншій навпаки. Під час експерименту одна з мішеней була звернена до полотна дзеркальної стороною, а друга – чорною. Температура мішеней контролювалася за допомогою тепловізора. Після того, як мішені приходили в теплову рівновагу, за різницею їх температур були зроблені оцінки про конвекційну і радіаційну частки тепловіддачі. На рис. 4 видно, що ліва мішень нагріта до 26,4 °С, а права до 24,0 °С. Оскільки при інших рівних параметрах кількість отриманого тепла буде пропорційна різниці ΔT між кінцевою і початковою температурою, то по відносній різниці цих температур для двох мішеней $(\Delta T_1 - \Delta T_2) / \Delta T$ можна оцінити відносну різницю в отриманій мішенями теплового потоку. Тут ΔT_1 – приріст температури для мішені з нагрівається чорної стороною, а ΔT_2 – приріст температури для мішені з фольгової стороною. Експерименти були проведені для різних положень мішеней на відстанях від 5 см до 15 см від полотна. Мішень з чорною матовою стороною нагрівалася в середньому на $\Delta t = 2,6 \pm 0,4$ °С більше, ніж мішень з відкритою фольговою стороною. З урахуванням того, що приріст температури ΔT для двох мішеней становив від 8 °С до 11 °С, можна зробити висновок, що в умовах експерименту частка теплового потоку, що передається через випромінювання, становила 20–30 %. Таким чином, очевидно наступне: для КП переважним є саме конвекційний спосіб передачі тепла, а не через теплове випромінювання.



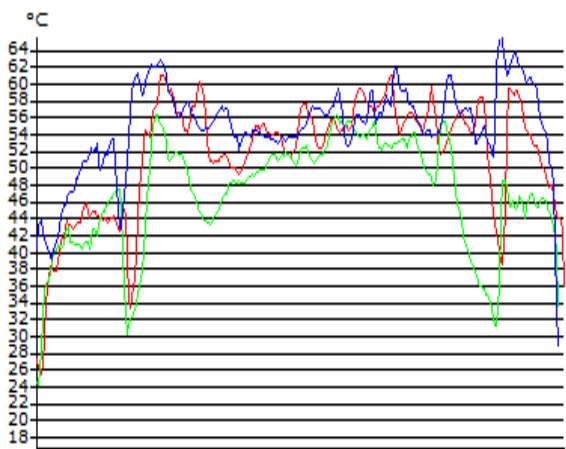
Рис. 3. Експериментальний стенд для дослідження співвідношення променевої та конвективної складової тепловіддачі КП

На рис. 4 наведена фотографія розподілу температури полотна та мішеней отримана тепловізором FLIR E 300. Колірна шкала розподілу температури показана справа. Зафіксовані різні температури на лівій і правій мішенях. На полотні позначені вертикальні і горизонтальні лінії, розподіл температур уздовж яких на рис. 4, а, б.

В частині дослідів центральна частина полотна була закрита чорною плівкою, що чітко видно на рис 4, а, б: різкі локальні мінімуми на краях плівки, що пояснюється повітряним охолодженням за рахунок недостатнього прилягання плівки до КП.



a



б

Рис. 4. Розподіл температури: а – по поверхні полотна; б – уздовж горизонтальних ліній Li6-Li8

Так як конвективне охолодження найсуттєвіше в нижній частині полотна, то піки мінімумів у розподілі температур по горизонталям найглибші для найнижчої лінії Li 7 і майже не помітні на кривій Li 8.

4. Дослідження особливостей нагріву полотна за допомогою тепловізора

Поверхневий розподіл температури за різних умов нагріву та теплопроводу від полотна досліджувався за допомогою тепловізора FLIR E 300.

Полотно кріпилось на плиті теплоізоляційного матеріалу. Тепловідвід обмежувався за допомогою плит пінопласту.

При закріпленні полотна на плиті пінопласту на висоті 25 см від підлоги та при вільній циркуляції повітря знизу вгору для розподілу температури було характерним її збільшення у верхній частині та охолодження полотна в нижній (рис. 5). Середня температура внизу полотна (вздовж лінії Li2) (рис. 5) відрізнялась від температури вздовж середньої лінії Li1 на 7,7 °C. Нагрів плити над полотном (вздовж лінії Li3) досягав 29,7 °C.

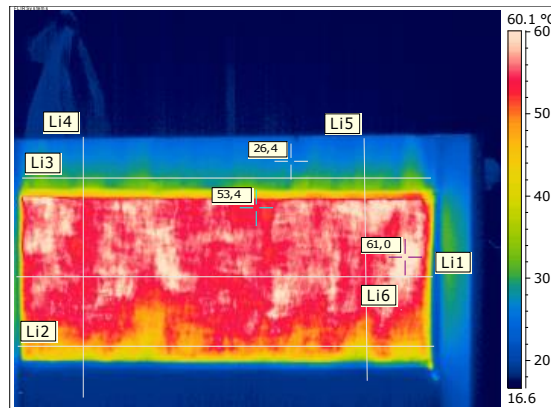
Діаграми розподілу температури вздовж кількох характерних горизонтальних ліній з таблицями значень температури наведені на рис. 5, б.

З рис. 6, а видно, що при закріпленні полотна на стіні його нижня частина буде охолоджуватись висхід-

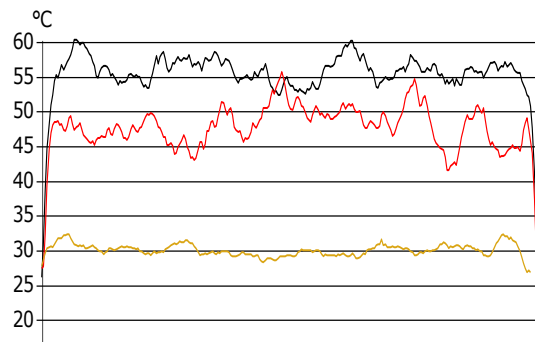
ними потоками повітря (червона лінія горизонтального профіля).

Для аналізу нагрівання підкладки (стіна, підлога, стеля...) за допомогою тепловізора оглядалась тильна сторона пінопластової плити.

Середня температура поверхні зовнішньої сторони пінопласту становила 20,5 °C, що підтверджує необхідність якісної теплоізоляції конструкції (стіни), на яку кріпиться полотно.



a



б

Рис. 5. Розподіл температури: а – по поверхні полотна, закріпленого вертикально на пінопластовій плиті; б – уздовж горизонтальних ліній Li1-Li3, позначених на фото зліва (а)

5. Дослідження КП на споживану потужність та створювані електромагнітні поля

5. 1. Визначення розподілу потенціалів і струмів по полотну при подачі стандартних напруг

На рис. 6 показано КП, до мідних шин по краях якого підведена напруга 48 В.

Різниця потенціалів між будь-якою точкою на полотні і однією з шин залежить тільки від відстані між даною точкою і шиною і лінійно змінюється з відстанню (вертикальна вісь зліва). Точки з рівним потенціалом розташовуються уздовж полотна і на малюнку позначені пунктирними горизонтальними лініями. Власне карбонове полотно, натягнуте між мідними шинами, поводить як набір паралельних опорів, в яких іде однаковий струм I (червоні стрілки на рис. 6).

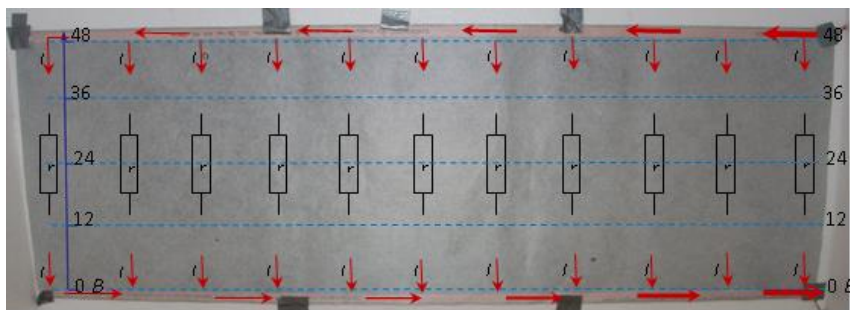


Рис. 6. Розподіл потенціалів і струмів по полотну при подачі стандартних напруг

5. 2. Визначення споживаної потужності КП в залежності від довжини полотна і вибору джерела живлення

Оскільки на полотно подається постійна напруга U (залежно від трансформатора: 48 В, 36 В або 24 В), то споживана потужність P визначиться як:

$$P = \frac{U^2}{R}, \quad (5)$$

де R – де опір полотна.

Опір полотна буде залежати від його довжини (ширина полотна фіксована) і розраховуватися як опір паралельно з'єднаних резисторів, кількість яких зростає з довжиною:

$$R = \frac{R_0}{L}, \quad (6)$$

де за R_0 позначено опір 1 погонного метра полотна. Опір полотна визначався з експериментальної залежності U від I (рис. 7).

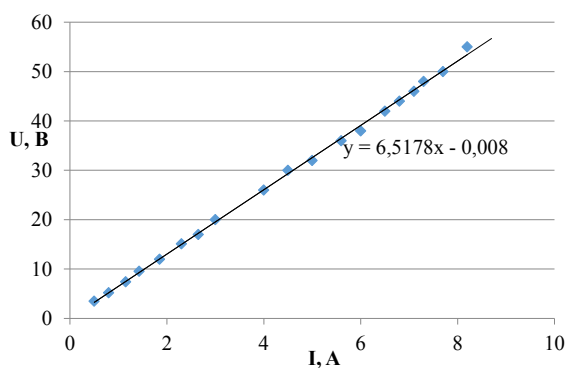


Рис. 7. Вольт-амперна залежність карбонового полотна довжиною 146 см

Значення опору досліджуваного полотна довжиною і шириною робочої поверхні 54 см: $R = 6,52 \pm 0,11$ Ом.

З формули (6) легко отримати значення $R_0 = 9,52 \pm 0,16$ Ом. Опір полотна зменшується з його довжиною. Наприклад, для полотна площею 1 м^2 , що відповідає довжині $L = 185$ см, опір $R_1 = 5,14 \pm 0,09$ Ом.

Відповідно до формули (5) при напрузі на вході 48 В потужність одиниці погонного метра полотна: $P_0(48) = 242 \pm 4$ Вт, а потужність 1 м^2 полотна: $P_1(48) = 448 \pm 8$ Вт.

При напрузі на вході 36 В потужність одиниці погонного метра полотна: $P_0(36) = 136 \pm 2$ Вт, а потужність 1 м^2 полотна: $P_1(36) = 252 \pm 4$ Вт.

Значення $P_1(36)$ можна порівняти з даними виробника (промарковано на полотні: 251 Вт для 1 м^2 полотна під напругою 36 В). Видно, що отримане з експерименту значення в межах помилки збігається з потужністю, вказаною виробником.

5. 3. Визначення електромагнітного поля біля КП

Вимірювання проводились при підключенні джерела змінної напруги 48 В (трансформатор справа на рис. 8, а, б). Вихідний струм, підведений до полотна становив 7,4 А.

Виміри проводилися при підключенні джерела змінної напруги 48 В який працював від міської мережі на частоті 60 Гц. Вихідний струм, що підводиться до полотна, становив 7,4 А. За допомогою теслометра замірялась магнітна складова низькочастотного електромагнітного поля. На рис. 8, а і 8, б показані результати вимірювань, виконані на відстані від поверхні предметів, відповідно. Точки, над якими були проведені вимірювання, позначені білими кружечками (обрані найбільш характерні), напруженість магнітного поля вказана в мілітеслах ($1 \text{ мТ} = 10^{-3} \text{ Т}$). На відстанях понад 10 см поля мають величину порядку 10^{-5} тесла і нижче, що перевищує чутливість реєструючого приладу.

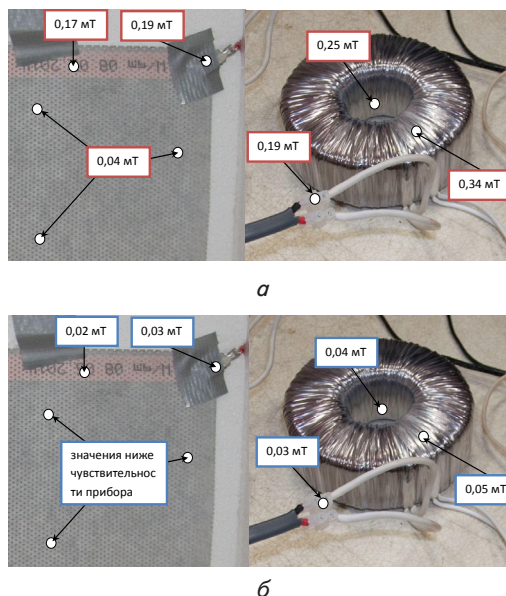


Рис. 8. Вимірювання напруженості змінного низькочастотного (60 Гц) магнітного поля: а – на відстані 10 см від поверхні; б – на відстані 3 см від поверхні

Змінне електромагнітне поле, викликане підведеним до полотна струмом, дуже мале навіть на відстанях декількох сантиметрів від основних джерел (мідні шини, проводи та їх з'єднання, обмотки трансформатора). Тому воно нешкідливе.

6. Дослідження «нагрівальної» здатності полотна в залежності від зовнішнього покриття

6.1. Визначення характеристик ІЧ випромінювання при нанесенні на КП різного роду покриттів (папір, плівка, штукатурка і т. п.)

Інтенсивність і спектральний розподіл випромінювання полотна залежить тільки від температури самого полотна або покриття, яке нагрівається полотном. Експерименти, проведені з двома мішенями у випадках, коли КП було закрито паперовими шпалерами або непрозорою поліетиленовою плівкою, виявили єдину відмінність в порівнянні з відкритим полотном, яка полягала в тому, що закрите полотно набувало температуру на 5–7 °С вищою, що збільшує частку ІК в загальній тепловіддачі, але несуттєво.

6.2. Визначення ефективності нагріву приміщення від розташування ІК (підлога, стеля, стіна)

Як було показано, основний спосіб передачі тепла – це конвекційний, то найменш ефективно вішати полотно на стелі. Кріплення в підлозі найефективніше завдяки руху нагрітого повітря від нагрівача вгору. У цьому випадку найтепліше в приміщенні буде внизу. Проте недоліки розміщення нагрівача в підлозі – це інерційність нагріву повітря в кімнаті, до того ж, частина тепла буде йти під підлогу. Розміщення КП в нижній частині внутрішніх стін будинку – це компромісний варіант, в якому нагріваючий елемент знаходиться в нижній частині кімнати, шпалери або навіть тонкий шар штукатурки, нанесений на КП, швидко прогрівається. Якщо нагрів стін небажаний, то між полотном і стіною необхідно розміщувати теплоізоляційне покриття.

6.3. Визначення нагрівальних особливостей КП залежно від покриття

Для проведення експерименту був побудований короб з пінопласту з одним отвором у стінці, куди вставлявся термометр і проводилися виміри нагрітого всередині повітря. Внутрішні стінки короба були покриті карбоновим полотном під напругою 24 В. Таким чином, вдалося зняти температурну залежність повітря від часу при його нагріванні КП в умовно-замкнутому просторі розміром 40 см×50 см×100 см. Експеримент проводився з фольгою, яка підкладалася під полотно і з покриттям КП паперовими шпалерами. Результати вимірювань представлені нижче на графіку рис. 9.

Як видно з графіка, приблизно до 30-ї хвилини теплові втрати через щілини і корпус порівнювалися з теплом, що надходить від КП, і температура виходила на постійне значення. Потім подача тепла припинялася, і повітря всередині короба охолоджувався. На графіку можна помітити такі особливості:

1) коли полотно знаходилося під шпалерами, зростала інерційність системи по відношенню до нагрівання повітря в коробі: спочатку повітря нагрівалось повільніше, але потім і повільніше охолоджувалось;

2) фольга прискорює процес нагрівання зовсім небагато і тільки в перші 4 хвилини, це підтверджує факт, що

КП не є особливим ІК джерелом, а випромінює тепло як і будь-яке тіло, нагріте до такої ж температури.

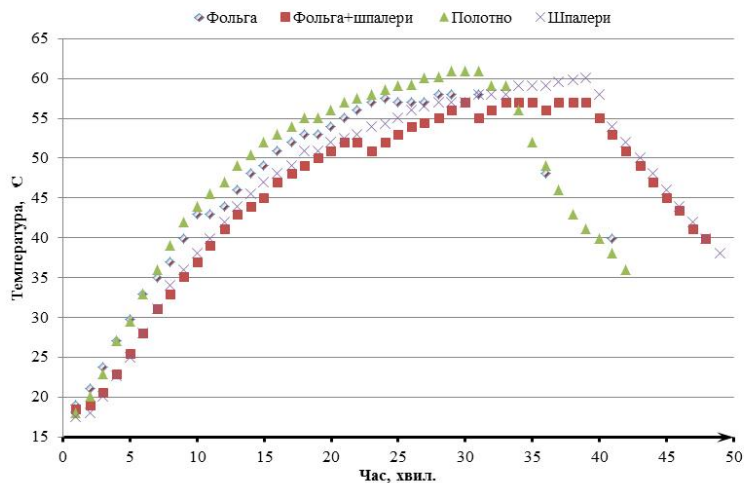


Рис. 9. Залежність температури повітря всередині замкнутого обсягу 0,2 м³ залежно від нагрівання (до 30 хвилини) і охолодження (після 30 хвилини) при відсутності покриття на КП (зелені трикутники); підкладений під КП фользі (сіро-білі ромбики); покритті КП шпалерами (хрестики); підкладений фользі покритті КП шпалерами (червоні квадрати)

7. Дослідження КП на безпеку і стійкість до пошкоджень

Проведені дослідження показали, що КП безпечно в експлуатації. Воно покрито зверху ізолюючим матеріалом. Тому, якщо випадково торкнутися або взяти КП руками, коли воно під напругою, то ви не отримаєте враження струмом. Однак, у випадку механічного пошкодження ізолюючого покриття, або коли КП вологе, то удар струмом можливий. Тому, на полотно рекомендується подавати напругу до 48 В. Також рекомендується ізолювати з'єднання проводів з полотном в області мідних шин. КП стійке до нагрівання і відкритого вогню. Крім того, коли штучно створювалося коротке замикання на деяких ділянках КП, полотно лише плавилось в області контакту з провідником. КП досить міцне на розрив. У випадку невеликих розривів, нечисленних дірок КП практично не змінює своїх властивостей. Був проведений експеримент, коли полотно кріпилося на гіпсокартонову стіну за допомогою гіпсової штукатурки, а потім після висихання відривалося при намочуванні. Потім таке полотно перевірили на провідність (основна характеристика, що впливає на потужність) шляхом зняття вольт-амперної характеристики. Результат представлений на рис. 10.

Як видно з графіка, нахил прямої що проходить через червоні маркери трохи більше, ніж тієї прямої, що проходить через сині. Нахил прямих характеризує опір полотна. До експерименту опір полотна становило: $R_{до} = 6,52 \pm 0,11$ Ом. Після експерименту:

$$R_{после} = 7,07 \pm 0,04 \text{ Ом.}$$

Опір полотна зріс на 8,4 % (5,5 Ом), що є, безсумнівно, наслідком невеликих механічних ушкоджень всередині КП (мікротріщини). Проте зміни опору, а з

ним і потужності, – незначні, що підтверджує якість виробу. Експлуатація полотна у вологому стані може призвести до короткого замикання (згорить обмотка трансформатора) або до окислення мідних шин, що істотно підвищить опір і зменшить теплову потужність полотна.

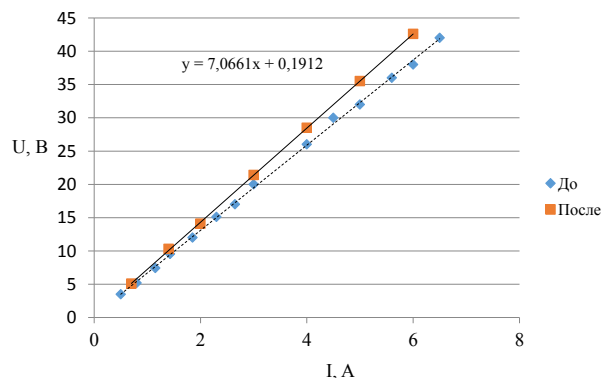


Рис. 10. Вольт-амперна характеристика КП до закріплення на стіні (ромби) та після відриву від стіни (квадрати)

8. Висновки

1. Гнучке карбонове полотно є майже неінерційним електронагрівальним пристроєм, яке споживає потужність 242 Вт з погонного метра при напрузі 48 В. Залежність температури нагріву від напруги в діапазоні 36–48 В є лінійною. Як джерело ІЧ випромінювання в діапазоні довжин хвиль 8–14 мкм полотно

КП можна вважати наближеним до АЧТ. Розподіл температури при подачі робочої напруги по поверхні КП є рівномірним. При вертикальному закріпленні полотна нерівномірність розподілу температури пов'язана з конвективним охолодженням.

2. Запропонований спосіб визначення співвідношення між променистою та конвективною складовою тепловіддачі дозволив оцінити радіаційну складову в тепловому потоці, який йде на нагрівання приміщення, як таку, що не перевищує 30 % при нагріванні полотна до 50–60 °С, що є суттєвим, однак не дозволяє класифікувати такі низькотемпературні нагрівачі як виключно ІЧ нагрівальні елементи. Однак, це не виключає позитивних якостей таких систем як компактність, міцність, можливість розміщувати практично в будь-якому місці, а також зручність монтажу на будь-яку поверхню і під будь-яке покриття.

3. Змінне низькочастотне електромагнітне поле, викликане підведеним до полотна струмом, дуже мале навіть на відстанях декількох сантиметрів від основних джерел (шини, проводи та їх з'єднання, обмотки трансформатора), на відстанях понад 10 см магнітна складова поля має величину порядку 10^{-5} тесла і нижче. Тому воно абсолютно нешкідливе.

4. Монтаж КП під шпалери, ламінат і т. п. дещо збільшує інерційність нагріву, однак не впливає на рівноважну температуру. Можна рекомендувати використовувати теплоізоляційне покриття між стіною і КП, якщо необхідний швидкий нагрів кімнати або нагрів стіни недоцільний (наприклад, призводить до нагрівання нежитлових приміщень).

5. Такі системи при дотриманні правил експлуатації є безпечними як в пожежному та електричному, так і в радіологічному сенсі.

Література

- Косицын, О. А. Совершенствование энергоэкономных инфракрасных электрообогревателей. Ч. 3 [Текст]: тр. межд. науч.-техн. конф. / О. А. Косицын // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. – М., 2004. – С. 272–274.
- Лепеш, Г. В. Разработка экспериментально-методического обеспечения для исследования физических характеристик радиационных электронагревателей [Текст] / Г. В. Лепеш, Г. С. Сухов, Л. В. Карп, М. Ю. Шмельев // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2007. – № 1 (1). – С. 22–33.
- Лепеш, Г. В. К проблеме электрообогрева помещений коммунального и промышленного назначения [Текст] / Г. В. Лепеш, Г. С. Сухов // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2008. – № 1 (3). – С. 57–62.
- Сухов, Г. С. Теоретические основы технологии дифференцированного электрообогрева помещений. Постановка задачи и математическая модель [Текст] / Г. С. Сухов, Г. В. Лепеш // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2010. – № 1 (11). – С. 29–36.
- Лепеш, Г. В. Способ энергоэффективного обогрева вентилируемых помещений [Текст] / Г. В. Лепеш, Т. В. Потемкина // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2014. – № 4 (30). – С. 42–54.
- Carbontec: інновації в опалювальних технологіях [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://carbontec.kiev.ua/>
- Система инфракрасного отопления Carbontec (Карбонтек) [Электронный ресурс] / Режим доступу: <http://carbontec.alma-service.ru/sistema-carbontec/>
- Система отопления Carbontec [Электронный ресурс] / Режим доступу: <http://www.carbontecrus.ru>
- Криксунов, Л. З. Справочник по основам инфракрасной техники [Текст]: довідник / Л. З. Криксунов. – М.: Сов. радио, 1978. – 400 с.
- Колобродов, В. Г. Проектирование тепловизионных и телевизионных систем наблюдения [Текст]: підручник / В. Г. Колобродов, М. І. Лихоліт. – К.: НТУУ “КПІ”, 2007. – 364 с.