

УДК 621.643.533.6

Є.М. ПИСЬМЕННИЙ, В.А. РОГАЧОВ, О.В. БАРАНЮК, Ю.О. ХМЕЛЬОВ, Ю.В. ФРІДРІХСОН

ТЕПЛОВА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОБМІННИХ ПОВЕРХОНЬ З ПЛАСТИНЧАТО-ПРОСІКНИМ ОРЕБРЕННЯМ В УМОВАХ ПРИРОДНОЇ КОНВЕКЦІЇ

Вступ

Розробка та створення сучасних компактних радіоелектронних апаратів (РЕА), електронно-обчислювальних машин (ЕОМ) висуває жорсткі вимоги до підвищення їх надійності. Підвищення питомого теплового навантаження в умовах великої щільності розміщення базових елементів РЕА, ЕОМ, зростання вихідних потужностей при одночасному забезпеченні сприятливого температурного режиму нерозривно пов'язані з вирішенням проблеми ефективного відводу від них надлишкової теплоти.

На практиці широко застосовують розвинуті тепловідвідні ребрені поверхні, різноманітність конструкцій яких зумовлена відмінністю поставлених до них вимог теплового режиму та численними експлуатаційними умовами їх використання [1-3]. При цьому основними критеріями щодо вибору конструкції поверхні є рівні теплових потужностей розсіювання, допустимі температури перегрівання електронного приладу, високі питомі масо-габаритні характеристики тепловідвідної поверхні, що ведуть у цілому до покращення надійності і техніко-економічних показників систем охолодження та термостабілізації.

Ця стаття присвячена дослідженню теплової ефективності нового типу тепловідвідних поверхонь з пластинчато-просікним ребренням, які мають високі теплові показники в умовах повітряної природної конвекції.

Результати досліджень дозволяють проектувати нові і вдосконалювати існуючі системи охолодження та термостабілізації теплонавантажених елементів РЕА, ЕОМ.

Методика досліджень

На рис. 1 показана схема експериментальної установки, призначеної для досліджень теплообміну розвинутих поверхонь в умовах природної конвекції при атмосферному тиску та середніх температурах охолоджуючого повітря $t_c = 25...30^\circ\text{C}$.

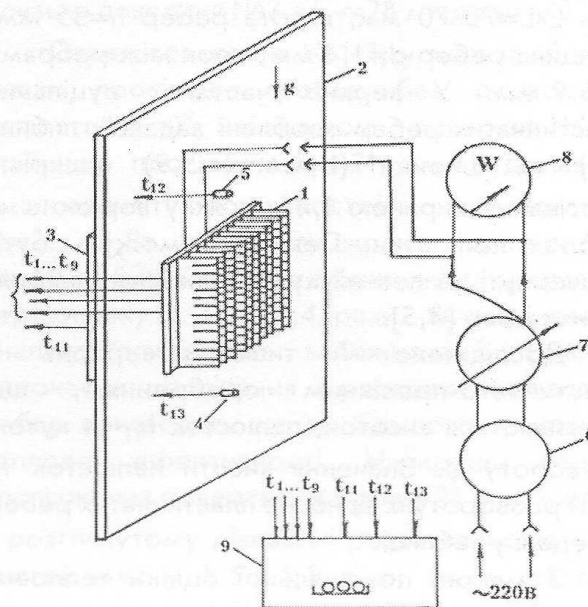


Рис. 1. Схема експериментальної установки:
1-теплообмінна поверхня;
2- вертикальна стінка;
3- теплоізолююче поглиблення для розміщення поверхні;
4,5 - утримувачі термопар;
6 - стабілізатор;
7 - автотрансформатор;
8 - ватметр;
9 - цифровий багатоканальний вимірювальний перетворювач.

Теплообмінна поверхня, що досліджувалась, закріплена на вертикальній стінці розміром $800 \times 300 \times 3$ мм у теплоізолюючому поглибленні. Потужність розсіювання змінювалась у діапазоні $2...15$ Вт та контролювалась ватметром типу Д522.

Температурне поле основи поверхні та температури охолоджуючого повітря на вході і виході при фіксованому значенні потужності розсіювання виконували мідь-константовими термопарами $t_1...t_9$ та t_{12} , t_{13} . Для контролю теплових витрат крізь гладку тильну частину поверхні до навколишнього середовища у поглибленні встановлювалась термопара t_{11} . Температура повітря навколо стінки оцінювалась за допомогою стандартного ртутного лабораторного термометра.

Теплообмінна поверхня з пластинчато-

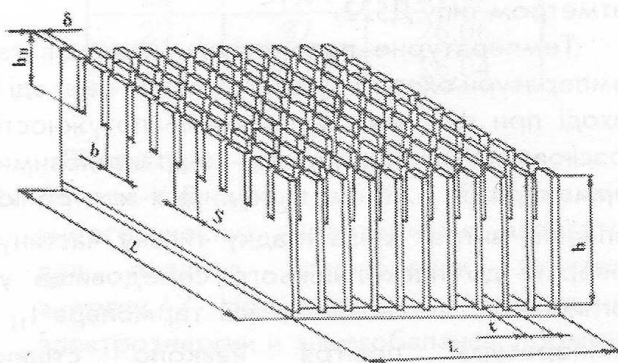
просікним оребренням приведена на рис.2. Вона складається з плоскої мідної основи товщиною 3 мм, до якої перпендикулярно припаяні пластинчато-просікні ребра. До основи по всій її площині за допомогою пластини товщиною 0,5 мм щільно притиснутий тканий електронагрівач, який забезпечує рівномірний підвід теплоти до оребрення.

Лінійні розміри основи поверхонь складають $L \times L = 70 \times 70$ мм, висота ребер $h = 35$ мм, товщина ребер $d = 1,4$ мм, крок між ребрами $t = 6,9$ мм. У верхніх частинах суцільних пластинчатих ребер зроблені заданої глибини (h_p) та ширини ($b = \text{const} = 5,9$) наскрізні просікання шириною 1,4 мм, які утворюють на ребрах пелюстки. Пелюстки можуть бути розвернуті на певний кут φ відносно пластинчатих ребер [4,5].

Досліджено 7 типів поверхонь з пластинчато-просікним оребренням, що відрізняються висотою пелюсток h_p та кутом розвороту φ . Значення висоти пелюсток та кутів розвороту їх відносно пластинчатих ребер наведені у таблиці.

З метою порівняльної оцінки теплових ефективностей поверхонь і з'ясування впливу на них глибини просікання та кута розвороту пелюстки за розрахунковою методикою [6] була виготовлена пластинчато-ребриста поверхня №8 з такими ж габаритними розмірами, що і поверхні з пластинчато-просікним оребренням №1 - №7. Схематичне зображення видів зверху фрагментів оребрення досліджуваних поверхонь наведено на рис.2 а,б,в.

Досліджувані поверхні мають однакові коефіцієнти оребрення та площини тепловіддаючих поверхонь, які становлять відповідно $\psi = 10,61$ та $F \approx 610 \text{ см}^2$. Усі теплообмінні поверхні виготовлені з технічної міді і нечернені.



Середньоповерхнева температура основи при фіксованому значенні потужності розсіювання визначалась за формулою:

$$t_{OCH} = \frac{\sum_{i=1}^k t_i F_i}{\sum_{i=1}^k F_i}, \quad (1)$$

де t_i та F_i - температура та площа прилеглої ділянки поверхні до кожної з вмонтованих термопар;

$$\sum_{i=1}^k F_i = F_{OCH} - \text{повна площа тепловіддаючої поверхні основи;}$$

даючої поверхні основи;

k - кількість вмонтованих термопар.

Середня температура охолодного повітря навколо досліджуваної поверхні визначалась за даними вимірів за допомогою термопар t_{13}, t_{12} вхідної t_{BX} та вихідної $t_{ВИХ}$ температур навколишнього середовища за формулою:

$$t_C = \frac{t_{BX} + t_{ВИХ}}{2}. \quad (2)$$

Температурний напір по відношенню до оточуючої поверхні середи при конвективному теплообміні розраховувався як:

$$\Delta t_i = t_{OCH} - t_C. \quad (3)$$

Розсіювана поверхнею шляхом природної конвекції і випромінюванням тепла потужність Q оцінювалась за прямим вимірюванням електричної потужності, що підводилась до нагрівача з урахуванням теплових втрат в навколишнє середовище, які обчислювались за відомими формулами для вільної конвекції при вертикальному омиванні стінки [7]. В даних дослідженнях теплові витрати не перевищували

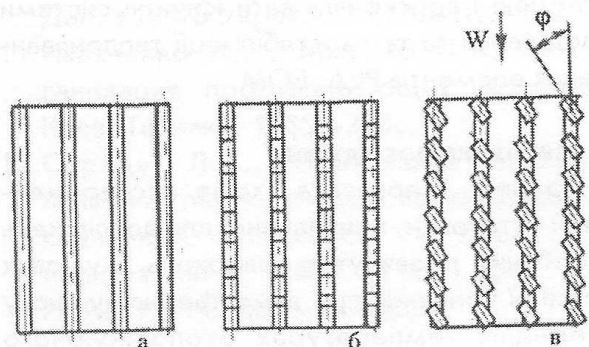


Рис.2 Конструкція теплообмінної поверхні та схема фрагментів оребрення: а-пластинчато-ребриста поверхня №8; б-пластинчато-просікні поверхні №1-№3; в - пластинчато-просікні поверхні з розворотом пелюсток №4-№7, $\varphi > 0^\circ$

Таблиця

Характеристики пелюсток оребрення

Параметр	Номер поверхні						
	1	2	3	4	5	6	7
висота пелюстки $h_{п}$, мм	14	21	28	21	28	21	28
кут повороту пелюстки, φ , град	0	0	0	30	30	45	45

6...10 % від підведеної електричної потужності.

Похибки вимірювань оцінювались виконана згідно з [8, 9]. Максимальна абсолютна похибка вимірювання мідь-константановою термопарою разом з багатоканальним перет-ворювачем Ш711/1 у розглянутому діапазоні температур складає $\pm 0,25$ К. Відносна похибка визначення температурного напору Δt в діапазоні 10...25°C не перевищує $\pm 5\%$.

Результати досліджень теплообміну

Теплова ефективність кожної поверхні оцінювалась за рівнем розсіюваних потужностей Q при заданих температурних напорах Δt шляхом аналізу графічних залежностей $\Delta t=f(Q)$, побудованих за експериментальними даними. Теплові характеристики $\Delta t=f(Q)$ наведені на рис.3,а.

Наведені криві носять монотонно-зростаючий характер за законом степеневій функції, який є типовим при розсіюванні теплоти розвинутими поверхнями в умовах природної конвекції [10]. З порівняння залежностей $\Delta t=f(Q)$ виходить, що за рівнем теплоскидання при фіксованих надлишкових температурах найгіршою виявилася традиційна пластинчато-ребриста поверхня №8, а найкращою - поверхня з пластинчато-просікними ребрами №6 з глибиною просікання $h_{п}=21$ мм та кутом розвороту $\varphi=45^\circ$. Так, при перегріванні поверхонь на $\Delta t=20^\circ\text{C}$, у поверхні №6 розсіювана потужність порівняно з поверхнею №8 більше у 1,68 рази. В розгля-

нутому діапазоні розсіюваних потужностей за тепловою ефективністю до поверхні №6 близька поверхня №7 з $h_{п}=28$ мм та $\varphi=45^\circ$.

Серед поверхонь №1-3, у яких зроблено тільки просікання ребер без розвороту пелюсток $\varphi=0^\circ$, найкращою є поверхня №2 з глибиною просікання $h_{п}=21$ мм. В діапазоні змінювання потужностей розсіювання $Q=2...13$ Вт та надлишкових температур $\Delta t=10...25^\circ\text{C}$ її теплова ефективність зростає у середньому в 1,3...1,4 рази. Як впливає з аналізу графічних залежностей (рис.4) одночасне просікання і розворот пелюсток ребер призводить ще до більшого зростання теплової ефективності. Найкраща серед досліджених поверхня №6 з $h_{п}=21$ мм, $\varphi=45^\circ$ у розглянутому діапазоні розсіюваних потужностей має у 1,5...1,8 рази вищу теплову ефективність, ніж пластинчато-ребриста поверхня №8.

На рис.3,б наведені теплові характеристики поверхонь у вигляді графічних залежностей $\Delta t_i/\Delta t_{пл}=f(Q)$, де безрозмірна координата $\Delta t_i/\Delta t_{пл}$ відкладена по осі ординат.

Величина $\Delta t_i/\Delta t_{пл}$ являє собою відношення надлишкової температури будь-якої поверхні Δt_i до надлишкової температури пластинчато-ребристої поверхні $\Delta t_{пл}$ при однакових розсіюваних потужностях Q . Наприклад, при $Q=10$ Вт перегрівання пластинчато-просікної поверхні №6 у 1,3 рази менше, ніж пластинчато-ребристої поверхні №8.

На рис.4 показані типові графічні

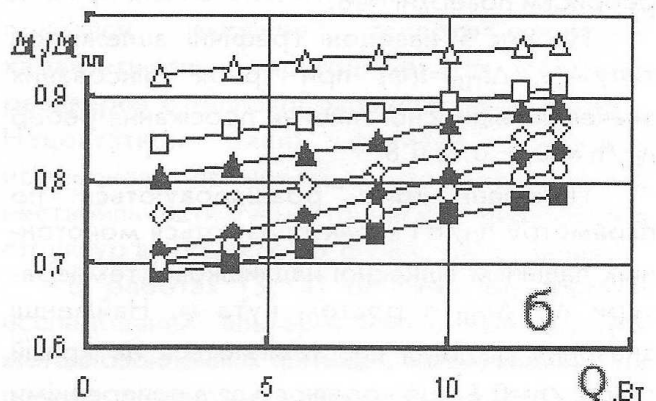
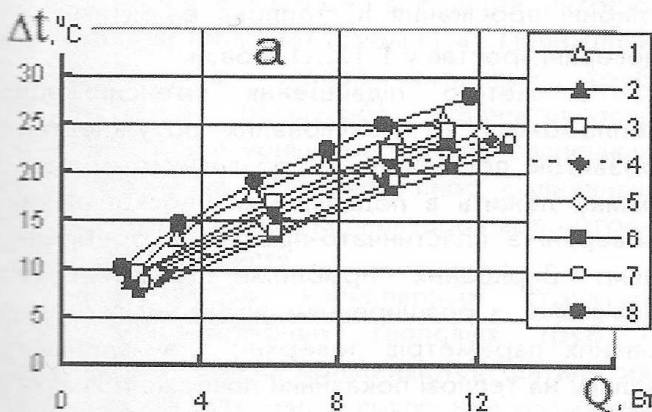


Рис.3 Теплові характеристики поверхонь:
1 - 7 номери поверхонь згідно з таблицею;
8 - пластинчато-ребриста поверхня.

залежності у безрозмірних координатах $\Delta t_i/\Delta t_{пл} = f(h_{пл}/h)$ при незмінному значенні потужності $Q=10$ Вт. Величина $h_{пл}/h$ характеризує відносну глибину просікання ребер.

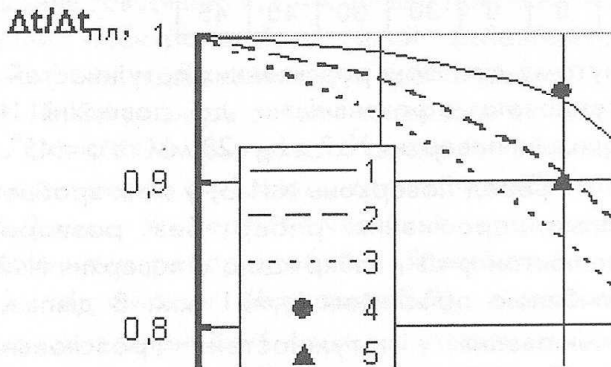


Рис.4. Вплив глибини просікання на ефективність поверхонь:

1 - $\varphi = 0^\circ$; 2 - $\varphi = 30^\circ$; 3 - $\varphi = 45^\circ$;
4,5,6 - дослідні значення

Як видно з рис.4 сімейство кривих розширюється по куту розвороту пелюстки φ . Найбільше зниження відносних надлишкових температур відбувається у поверхонь №6,7 з кутом $\varphi=45^\circ$. На усіх кривих, незалежно від кута φ , спостерігаються області екстремальних значень $\Delta t_i/\Delta t_{пл}$, що відповідають постійному діапазону відносної глибини просікання $h_{пл}/h=0,6...0,65$ і характеризуються найбільшою тепловою ефективністю поверхонь. За зазначеними ознаками до оптимальної величини глибини просікання ребер $h_{пл}$ наближаються поверхні №2, 4, 6, у яких $h_{пл}=21$ мм. Найменші зниження відносних надлишкових температур відбуваються у поверхнях без розвороту пелюсток $\varphi=0^\circ$, це поверхні №1-3, у яких змінюється лише глибина просікання $h_{пл}$. Наприклад, найкраща серед них поверхня №2 при розсіюваній потужності $Q=10$ Вт має надлишкову температуру нижче в 1,17 рази, ніж у пластинчато-ребристій поверхні №8.

На рис.5 наведені графічні залежності типу $\Delta t_i/\Delta t_{пл} = f(\varphi)$ при трьох фіксованих значеннях відносної глибини просікання ребер $h_{пл}/h = 0,4; 0,6; 0,8$.

Показані криві розширюються по параметру $h_{пл}/h$ і характеризуються монотонним падінням відносної надлишкової температури $\Delta t_i/\Delta t_{пл}$ з ростом кута φ . Найменші значення $\Delta t_i/\Delta t_{пл}$ спостерігаються на кривій при $h_{пл}/h=0,6$, що корелюється з попередніми даними на рис.4,а. Як видно з рис.4,б, незалежно від глибини просікання ребер

ефективніше працюють поверхні з кутом розвороту $\varphi=45^\circ$. Очікується, що подальше зростання кута може призвести до різкого зниження ефективності та інтенсифікації теплообміну, тому вказана величина кута близька до оптимальної.

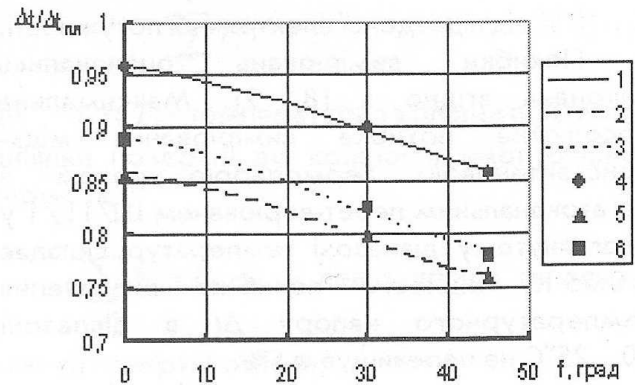


Рис.5. Вплив кута розвороту пелюсток на ефективність поверхонь:

1 - $h_{пл}/h=0,4$; 2 - $h_{пл}/h=0,6$; 3 - $h_{пл}/h=0,8$;
4, 5, 6 - дослідні значення.

Висновки

За результатами досліджень теплообміну нових плоских поверхонь з пластинчато-просікним оребрением в умовах природної конвекції при розсіюваних потужностях $Q=2...15$ Вт та температурах охолодного повітря $25...30^\circ\text{C}$ встановлено, що:

- одночасне просікання пластинчатих ребер та розворот їх пелюсток у діапазоні змінювання $h_{пл}/h=0,...0,8$ та $\varphi=0...45^\circ$ призводить до зростання теплової ефективності поверхні у 1,15...1,8 рази порівняно з відомою пластинчато-ребристою поверхнею;

- оптимальна глибина просікання ребер лежить в інтервалі $h_{пл}=(0,6...0,65)h$ при незмінному куті φ та відповідає спроможності поверхні розсіювати максимальну потужність;

- із зростанням кута розвороту пелюстки у межах $\varphi=0^\circ...45^\circ$ при фіксованій глибині просікання $h_{пл}$ тепла ефективність поверхні зростає у 1,12...1,4 рази.

З метою підвищення інтенсифікації теплообміну та розсіюваних потужностей розвиток досліджень у розглянутому напрямку лежить в подальшому удосконаленні поверхні з пластинчато-просікним оребрением. Вирішення проблеми може бути пов'язане: з розширенням діапазону геометричних параметрів поверхні; з виявленням впливу на теплові показники поверхні розмірів основи, висоти ребра, кроку між ребрами; з пошуком раціональних технологій виготовлення пластинчато-просікного оребрения.

Література

1. Домнич В. И., Зиньковский Н. Н. Конструктивный расчет РЭС. Оценка и обеспечение тепловых режимов. - Киев: УМК ВО.- 1990.- 240 с.
2. Роткоп Л.Л., Спокойный Ю.Е. Обеспечение тепловых режимов при конструировании РЭА.- М.: Советское радио. - 1976.- 232 с.
3. Письменный Е.Н., Рогачев В.А., Босая Н.В. Теплообмен при свободной конвекции на плоской поверхности с сетчато-проволочным оребрением// Пром теплотехника. - 1999. - Т. 21. - №2-3. - с.53-55.
4. Письменный Е.Н., Бурлей В.Д. и др. Влияние разрезки, поворотов и отгибки ребер на тепло-аэродинамические характеристики поверхностей теплообмена// Пром. теплотехника. - 2003. - Т.25. - №1. - с.10-16.
5. Письменный Е.М., Рогачов В.А. і др. Теплообмінна поверхня. Деклараційний патент на винахід Україна. № 57461А. 16.06.2003. Бюл.№6.
6. Радиаторы охлаждения полупроводниковых приборов. Методы расчета. ОСТ 4.012.001. Редакция 1-77.- 68 с.
7. Исаченко В.П. и др. Теплопередача. - М.: Энергоиздат. - 1981. - 416 с.
8. Гутер Р.С. Овчинский Б.В. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта. - М.: Наука. - 1970. - 432 с.
9. ГОСТ 8.207-76. Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. М.: Изд-во стандартов. - 1978.- 68 с.
10. Дульнев Г.Н. Тепло - и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. - М.: Высшая школа. - 1984. - 247 с.

Перелік умовних позначень:

- L - лінійний розмір основи, мм;
- h - висота ребра, глибина просікання, мм;
- d - товщина ребра, мм;
- s - крок між пелюстками, мм;
- b - ширина пелюсток, мм;
- F - площа поверхні, мм²;
- φ - кут розвороту, град.;
- Q - потужність розсіювання;
- t- температура, °С.

Індекси:

- п- пелюстка;
- р - ребро;
- с - середовище;
- осн - основа;
- і - поточна поверхня;
- пл - пластинчатий.