
РЕЗУЛЬТАТИ НАТУРНИХ ВИПРОБУВАНЬ ЗРАЗКА СИСТЕМИ НЕРІВНОМІРНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ПЛАТ

У роботі розглянуто опис дослідного зразка системи нерівномірного охолодження електронних плат, експериментального стенду для проведення його натурних випробувань. Наведено відповідні результати експериментальних досліджень. У результаті натурних випробувань визначено, що нерівномірне охолодження електронних плат має переваги над рівномірним за енергетичними й габаритними показниками. Встановлено, що використанням розробленої системи на практиці потрібна оптимізація між струмом живлення термоелектричних батарей і кількістю використаної робочої речовини.

Ключові слова: дослідний зразок, експериментальний стенд, натурні випробування, електронна плата, термоелектричний модуль, нерівномірний тепловідвід, плавка речовина.

This paper is concerned with a description of a prototype system for non-uniform cooling of electronic boards and a test bench for conducting its full-scale test. The respective results of experimental research are given. Based on the full-scale test it has been determined that non-uniform cooling of electronic boards is superior to uniform one in the energy and mass-dimensional parameters. It has been established that practical use of the elaborated system requires optimizing between thermopile supply current and the amount of working agent used.

Key words: prototype, test bench, full-scale test, electronic board, thermoelectric module, non-uniform heat removal, melting agent.

Одними з найпоширеніших елементів сучасної радіоелектронної апаратури (РЕА) є електронні плати. Серед них залежно від розміщення провідного малюнка виділяються односторонні, двосторонні та багатопланові. Незважаючи на тип електронної плати, основною їх особливістю є розсередження за площею тепловиділяючих елементів. Нині відвід теплоти від тепловиділяючих компонентів зазначених систем здійснюється на основі повітряного, рідинного, випаровувального, термоелектричного охолодження. Перелік деяких фірм – виробників цього устаткування наведено в табл. 1. Аналізуючи випущену ними продукцію стосовно відведення теплоти від електронних плат, що характеризуються нерівномірним по поверхні рівнем тепловиділення, необхідно відзначити, що системи охолодження РЕА на основі повітряного й кондуктивного методів є малоефективними внаслідок низької інтенсивності тепловідведення й точності підтримки температури на необхідному рівні. Рідинні та випарні системи відводу теплоти складні для реалізації, вимагають громіздкого й складного в конструктивному виконанні обладнання. Термоелектричні охолоджувачі в основному реалізують рівномірний відвід теплоти від усіх компонентів електронної плати й також не є ефективними в даному контексті застосування.

Тому, ґрунтуючись на яскраво вираженій нерівномірності температурного поля електронних плат, автори запропонували систему охолодження її компонентів [20], що

враховує цей фактор.

Таблиця 1.

№ п/п	Компанії	Тип виробленої продукції	Посилання на літературу
1	2	3	4
1	AAVID Thermalloy (США)	Рідинні охолоджувачі й повітряні радіатори	[1]
2	Лигра (Росія)	Радіатори голчасті й пластинчасті	[2]
3	Протон-електротекст (Росія)	Радіатори голчасті й пластинчасті	[3]
4	Summit heat sinks metal co. (Тайвань)	Радіатори голчасті й пластинчасті	[4]
5	Alutronik (Німеччина)	Радіатори голчасті й пластинчасті, корпуси для РЕА	[5]
6	Thermoflo (США)	Радіатори всіх типів	[6]
7	Melcor (США)	Термоелектричні системи охолодження	[7]
8	Marlow Inc. (США)	Термоелектричні системи охолодження	[8]
9	Ferro Tec. (США)	Термоелектричні системи охолодження	[9]
10	Fandis (Італія)	Термоелектричні системи охолодження	[10]
11	Komatsu Electronics (Японія)	Термоелектричні системи охолодження	[11]
12	Кріотерм (Росія)	Термоелектричні системи охолодження	[12]
13	Остерм (Росія)	Термоелектричні системи охолодження	[13]
14	РМТ (Росія)	Термоелектричні системи охолодження	[14]
15	Evercool (Тайвань)	Вентиляторні агрегати, рідинні системи	[15]
16	Titan (Тайвань)	Вентиляторні агрегати, рідинні системи	[16]
17	Zalman (Південна Корея)	Вентиляторні агрегати, рідинні системи	[17]
18	Sunon (Тайвань)	Вентиляторні агрегати, рідинні системи	[18]
19	Thermoltake (Тайвань)	Вентиляторні агрегати, рідинні й випарувальні системи	[19]

Схематичне зображення приладу наведено на рис.1, а зовнішній вигляд на рис.2.

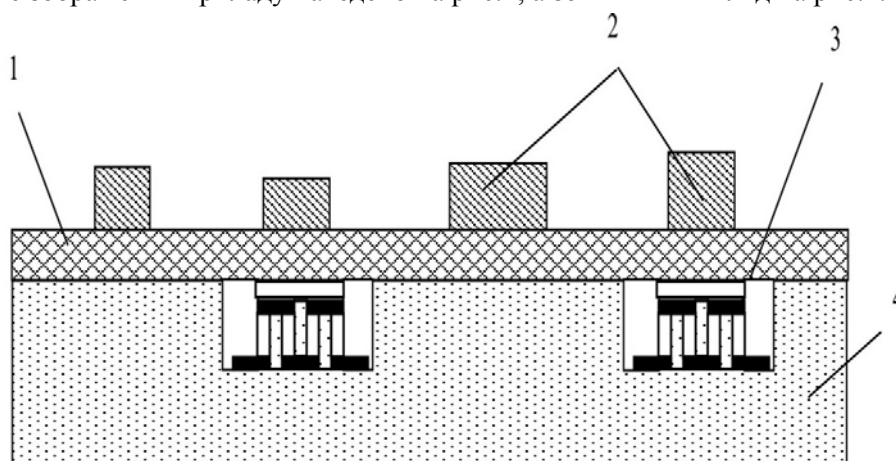


Рис. 1. Схема охолодження електронної плати за спільного використання плавких робочих речовин і термоелектричні батареї (ТЕБ) (1 - електронна плата, 2 - радіоелементи, 3 - ТЕБ, 4 - ємність з плавкою робочою речовиною).

Пристрій містить металеву ємність, заповнену робочою речовиною, що має велике

значення теплоти плавлення і температуру плавлення в діапазоні 35-65⁰С (наприклад, парафін, віск, азотнокислий нікель та ін.). Поверхня ємності, на якій встановлюється електронна плата з відповідними тепловідільними елементами РЕА, виконана профільованою з утворенням поглиблень у місцях розміщення найбільш критичних до температурного режиму функціонування або потребуючих істотного зниження температури елементів РЕА. У зазначених поглибленнях встановлені ТЕБ, заживлені енергією від джерела постійного електричного струму. Розміри поглиблень підбираються таким чином, щоб відповідати розмірам ТЕБ.

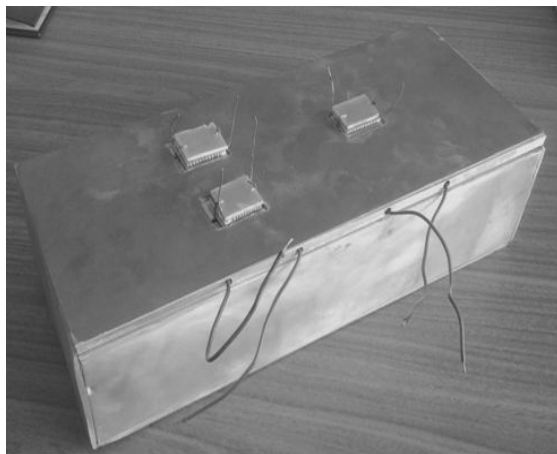


Рис. 2. Зовнішній вигляд пристрою для охолодження електронних плат з імітатором електронної плати.

Під час функціонування приладу тепло, яке надходить від елементів РЕА, встановлених на електронній платі, передається металевій ємності й через поверхню торкання робочій речовині. Далі відбувається прогрів робочої речовини до температури плавлення й процес плавлення, що супроводжується поглинанням теплоти, затраченої на зміну агрегатного стану речовини. Тепловідведення за рахунок зміни агрегатного стану робочої речовини є базовим і може бути використане для забезпечення необхідного температурного режиму функціонування елементів РЕА, що не вимагають істотного зниження температури, або не критичних до істотної величини перегріву відносно до навколишнього середовища. Для охолодження елементів РЕА, особливо критичних до перегрівів або потребуючих істотного зниження температури використовуються ТЕБ, які організують додаткове знімання тепла, причому величина холодопродуктивності кожної ТЕБ визначається відповідно до рівня тепловіділень конкретного елемента РЕА. При цьому відвід теплоти від гарячих спаїв ТЕБ здійснюється також у ємність з робочою речовиною, кількість якої розраховується, виходячи з тривалості функціонування елементів РЕА, потужності їх тепловіділень, теплопродуктивності ТЕБ, а також умов експлуатації. Для зняття характеристик приладу зібраний експериментальний стенд, схематично зображений на рис.3.

Дослідження здійснювалися в теплоізольованій кліматичній камері 1, термостатований робочий об'єм якої становить 120 л. Камера забезпечує підтримання температури в межах від 283 до 343 К з точністю 0.2 ⁰С і відносній вологості від 30% до 98%. Задана температура й відносна вологість у камері регулюється блоком управління 2, пов'язаним з датчиком температури й вологості 3, покази якого реєструються цифровим табло 4.

Об'єктом експериментальних досліджень був дослідний зразок системи охолодження, що являє ємність 5, заповнену робочою речовиною – парафіном. Верхня поверхня ємності виконана профільованою з утворенням двох пазів, у яких розміщені стандартні ТЕМ 6 типу DRIFT-08. Місце знаходження пазів відповідає розміщенню на імітаторі електронної плати 7

тепловіділяючих елементів 8, у якості яких застосовувалися плоскі ніхромові електронагрівачі. Топологію розміщення на імітаторі електронної плати тепловіділяючих елементів показано на рис.4.

Імітатор відповідає проектованій електронній платі високочастотного підсилювача потужності ВАТ «Ізбербашський радіозавод ім. П.С. Плешакова» (Росія, Республіка Дагестан, м. Ізбербаш).

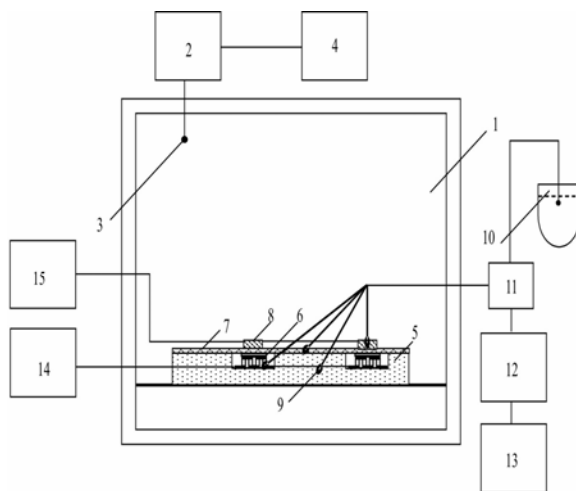


Рис. 3. Принципова схема експериментального стенда.

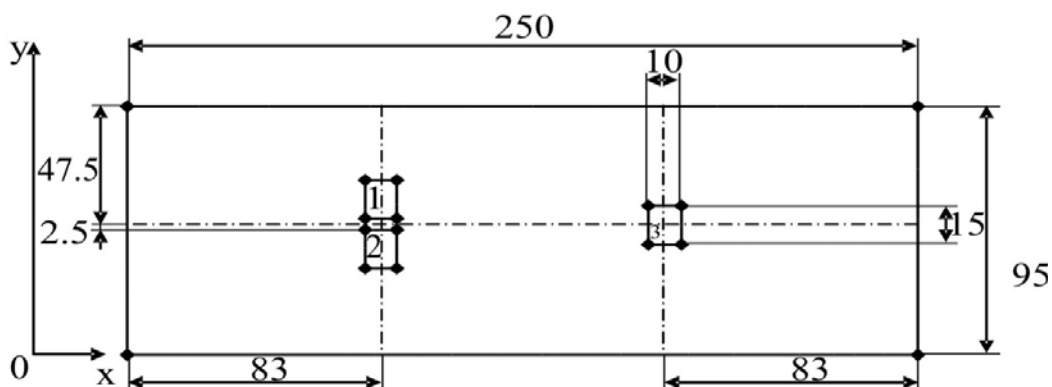


Рис. 4. Топологія імітатора електронної плати.

Для визначення основних параметрів досліджуваного дослідного зразка під час випробувань замірялися такі величини: напруга й струм на ТЕМ; температури на їхніх спаях; напруга й струм на нагрівачах, температури в контрольних точках імітатора електронної плати, включаючи нагрівачі, оболонки ємності з робочою речовиною.

Температури на гарячій і холодній сторонах ТЕМ, а також у контрольних точках імітатора електронної плати вимірялися мідь-константановими термопарами 9, опорні спаї яких перебували в посудині Дьюара 10. Вихідні сигнали з термопар через багатоканальний перемикач 11 надходили на вимірювальний комплекс ИРТМ 12, до виходу якого підключалася персональна ЕОМ 13, що реєструє показання вимірюваних температур через заданий проміжок часу. Живлення ТЕМ здійснювалося регульованим джерелом постійного струму 14.

Струм, що проходить через ТЕМ, і напруга на ньому контролювалися вбудованими в блок живлення приладами. Для живлення імітаторів теплового навантаження (електронагрівників) використовувалося аналогічне джерело постійного струму 15.

Основним завданням, що стояло під час проведення експериментальних досліджень, було визначення температурних залежностей тепловиділяючих елементів імітатора електронної плати за їхнього нерівномірного охолодження від параметрів ТЕМ і робочої речовини, а також зміни в часі температури оболонки ємності з робочим агентом. Важливим було порівняння експериментальних даних з теоретичними.

На рис. 5-6 показано експериментальні залежності зміни температури в контрольних точках імітатора електронної плати в часі без системи охолодження за різних потужностей. Для порівняння там же наведено теоретичні графіки, отримані на основі розробленої математичної моделі [21]. Згідно із показаними даними температура тепловиділяючих елементів значно підвищується. Так, для джерела тепла 1 (див. рис.2) у стаціонарному режимі її значення становить 428 К за потужності тепловиділення 120 Вт і 410 К за потужності тепловиділення 100 Вт (ті ж значення температури й для тепловиділяючого елемента 2), а для джерела теплоти 3 відповідно – 396 К і 382 К. При цьому та ж висока температура в областях імітатора електронної плати, прилеглих до джерел теплоти. На рис. 5-6 її значення становить 415 К і 403 К, що свідчить про наявність значного температурного фону, який може позначитися на роботі елементів електронної плати – бути причиною виходу їх з ладу.

При цьому також знижується температурний фон, створюваний тепловиділяючими елементами в прилегли до них області імітатора електронної плати.

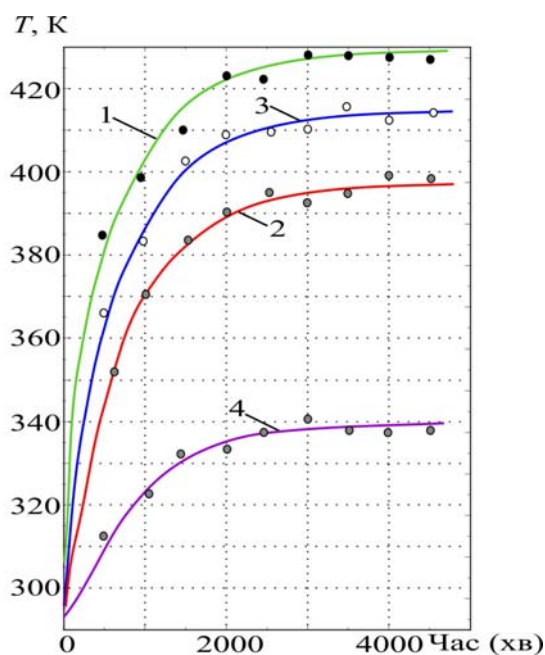


Рис. 5. Зміна температури різних точок електронної плати в часі за потужності тепловиділяючих елементів 120 Вт:
 1 – температура джерела тепла 1
 2 – температура джерела тепла 3
 3 – температура за $x=125$ мм, $y=47.5$ мм
 4 – температура за $x=17$ мм, $y=14$ мм

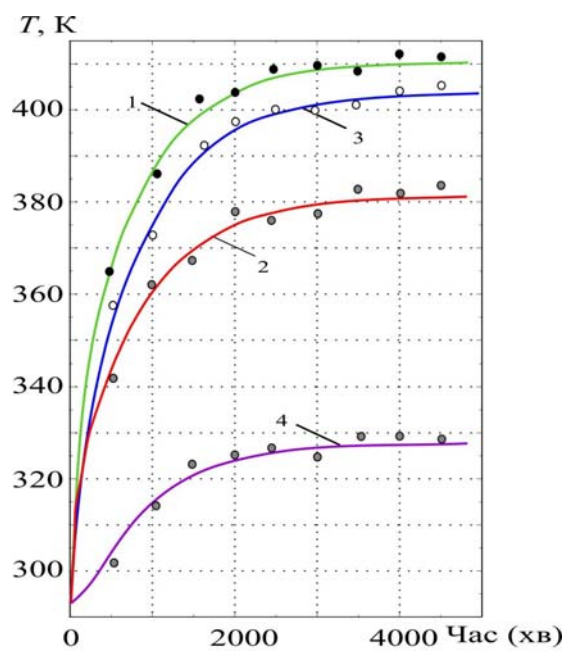


Рис. 6. Зміна температури різних точок електронної плати в часі за потужності тепловиділяючих елементів 100 Вт:
 1 – температура джерела тепла 1
 2 – температура джерела тепла 3
 3 – температура за $x=125$ мм, $y=47.5$ мм
 4 – температура за $x=17$ мм, $y=14$ мм

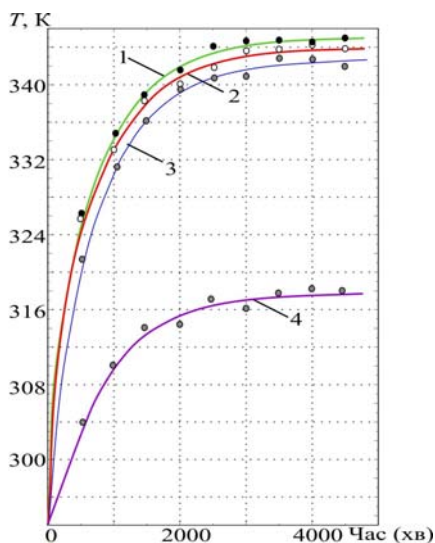


Рис. 7. Зміна температури різних точок електронної плати в часі за потужності тепловиділяючих елементів 120 Вт і струмі живлення 10 А:

- 1 – температура джерела тепла 1,
- 2 – температура джерела тепла 3,
- 3 – температура за $x=125$ мм, $y=47.5$ мм,
- 4 – температура за $x=17$ мм, $y=14$ мм.

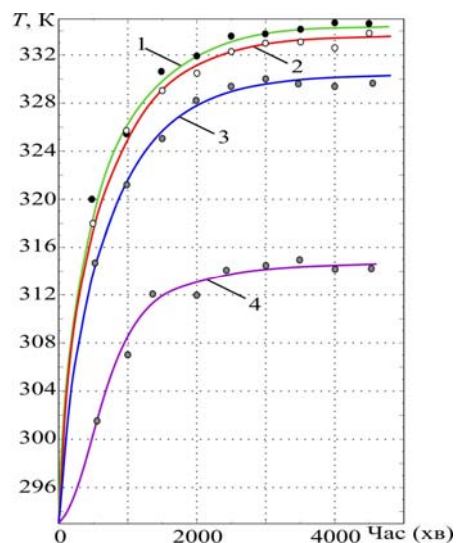


Рис. 8. Зміна температури різних точок електронної плати в часі за потужності тепловиділяючих елементів 100 Вт і струмі 10 А

- 1 – температура джерела тепла 1,
- 2 – температура джерела тепла 3,
- 3 – температура за $x=125$ мм, $y=47.5$ мм,
- 4 – температура за $x=17$ мм, $y=14$ мм

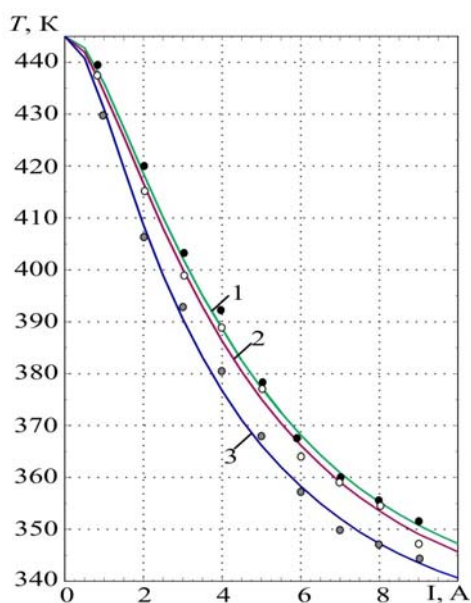


Рис. 9. Зміна температури різних точок електронної плати в стаціонарному режимі від струму живлення за потужності тепловиділяючих елементів 120 Вт:

- 1 – температура джерела тепла 1,
- 2 – температура джерела тепла 3,
- 3 – температура при $x=125$ мм, $y=47.5$ мм.

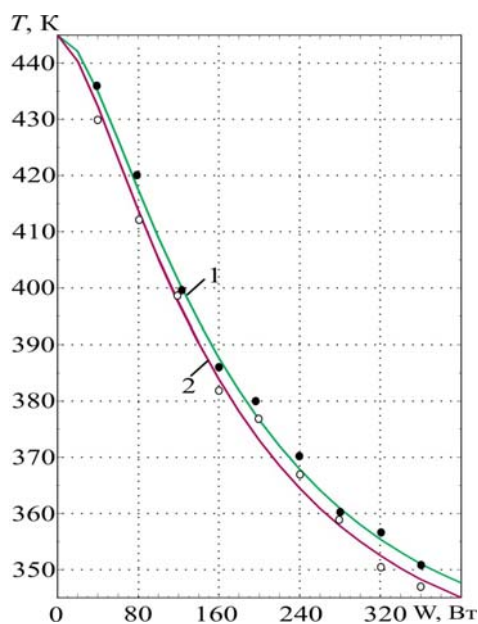


Рис. 10. Зміна температури різних точок електронної плати в стаціонарному режимі від потужності живлення за потужності тепловиділяючих елементів 120 Вт:

- 1 – температура джерела тепла 1,
- 2 – температура джерела тепла 3.

Для аналізу енергетичних характеристик системи охолодження на рис.9-10 показано зміни температури контрольних точок імітатора електронної плати від сили електричного струму живлення ТЕБ й споживаної електричної енергії. Відповідно до отриманих даних зі збільшенням сили струму, що протікає через ТЕБ, температура всіх контрольних точок зменшується. При цьому її найменше значення для даного випадку за потужності джерел теплоти 120 Вт становить 344 К, що відповідає струму живлення ТТБ 9 А. Очевидно, що подальше збільшення електричного струму аж до оптимального для даного типу ТЕМ значення (11,3 А) дасть подальше зниження температури контрольних точок.

Відповідно з ростом струму живлення ТЕБ збільшується споживана нею електрична потужність. Для випадку, наведеного на рис.10, струму 9 А відповідає споживана потужність 360 Вт.

На рис.11 наведено дані про зміну температури контрольних точок імітатора електронної плати з відводом теплоти в робочу речовину без використання ТЕБ. Згідно з наведеними результатами подібне охолодження не забезпечує необхідний температурний режим елементів імітатора електронної плати. Так, температура тепловиділяючих елементів знижується лише до значень 383 К і 385 К, що є недостатнім для забезпечення їх температурного режиму роботи.

На рис. 12 показано експериментальні залежності температури оболонки залежно від часу під час плавлення робочої речовини для різних значень струму живлення ТЕБ. Згідно з наведеними графіками з ростом струму живлення збільшується кількість теплоти, підведеної до поверхні ємності в одиницю часу (теплової потужності), що підвищує температуру оболонки. Так, з використанням парафіну як робочого агента збільшення струму живлення ТЕБ з 3 до 9 А підвищує температуру оболонки приблизно на 40 К через 1.5.

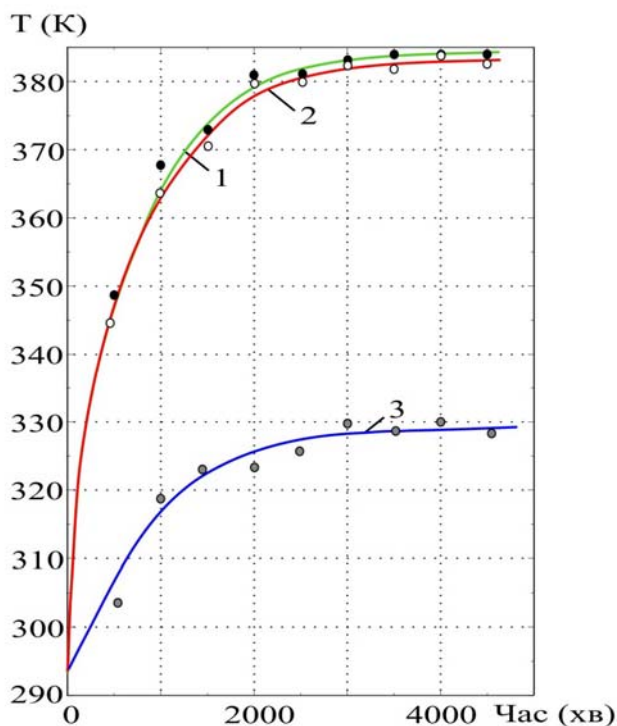


Рис. 11. Зміна температури різних точок електронної плати в часі за потужності тепловиділяючих елементів 120 Вт і відводом тепла в плавку робочу речовину без ТЕБ: 1 – температура джерела тепла 1; 2 – температура джерела тепла 3; 3 – температура при $x=17$ мм, $y=14$ мм.

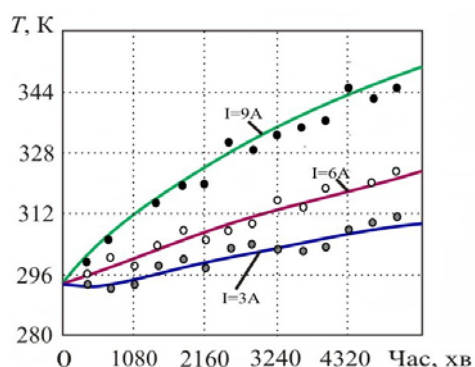


Рис.12. Залежність температури оболонки смноті з робочою речовиною від часу за різних струмів живлення ТЕБ.

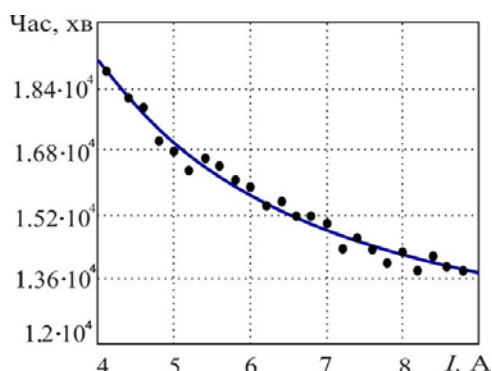


Рис.13. Залежність зміни часу повного проплавлення робочої речовини від струму живлення ТЕБ.

Відповідно підвищується й швидкість плавлення речовини. Згідно рис. 13, де наведено дані про тривалість повного плавлення речовин за різних значень струму живлення ТЕБ, збільшення електричного струму з 4 до 9 А знижує час повного плавлення агентів з 5.1 год. до 3.3 год. На практиці це може призвести до того, що при відповідних теплових навантажень може порушитися нормальний режим роботи елементів електронної плати. Тому зазначену обставину слід ураховувати під час проектування охолоджуючої системи.

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Для ефективного охолодження елементів електронної плати через нерівномірний розподіл теплового потоку по її площі доцільним є застосування відповідного охолодження, що характеризується нерівномірністю теплопроводу по площі електронної плати.
2. Зазначений спосіб охолодження має переваги перед звичайним рівномірним за енергетичними показниками, відповідно проведеним експериментальним дослідженням значення споживаної потужності може бути знижено в 1.35 – 1.5 раза, крім того знижується кількість використовуваних термоелементів, маса радіатора і відповідно маса всього охолоджуючого обладнання.
3. Зі збільшенням потужності елементів РЕА, розміщених на електронній платі росте потужність використовуваних для її охолодження ТЕБ, що позначається на кількості застосовуваної робочої речовини й вимагає врахування при проектуванні системи охолодження.

Література

1. <http://www.aavidthermalloy.com>
2. <http://www.ligra.narod.ru>
3. <http://www.eletex.ru>
4. http://www.heat_sink.com.tw
5. <http://www.alutronic.de>
6. <http://www.thermaflo.com>
7. <http://www.melcor.com>
8. <http://www.marlow.com>
9. <http://www.ferrotec.com>
10. http://www.fandis_tm.com

11. http://www.komatsu_electronics.co.jp
12. <http://www.kryotherm.ru>
13. <http://www.osterm.ru>
14. <http://www.rmtltd.ru>
15. <http://www.evercool.com.tw>
16. http://www.titan_cd.com
17. <http://www.zalman.co.kr>
18. <http://www.sunon.com.tw>
19. <http://www.thermaltake.com>
20. Патент РФ №2365072, 2009, бюл. №23. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Агаев М.У.
21. Исмаилов Т.А. Математическое моделирование системы неравномерного охлаждения электронных плат при совместном использовании плавящихся рабочих веществ и термоэлектрического метода преобразования энергии / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, М.У. Агаев // Известия вузов России. Радиоэлектроника. – СПб. 2010. – №6. – С. 51 – 58.

Надійшла до редакції 12.07.2013