

## МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ НАНОСУПУТНИКУ

*Азарх Л. П., магістрант; Адаменко Ю. Ф., к.т.н. доц.,  
Антипенко Р. В. к.т.н. доц.,  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна*

Розкид температур для космічної галузі охоплює дуже широкий діапазон температур, від криогенного рівня (до  $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) до рівня високих температур (понад  $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). В таких умовах тепловий контроль абсолютно необхідний як для фізичної цілісності супутника, так і для його ефективної роботи [1]. На стадії проектування наносупутника доцільно виконувати температурне моделювання, що передбачає врахування розсіювання енергії для кожного компонента, властивостей окремих матеріалів та вплив компонентів одне на одного [2].

Була поставлена задача змоделювати тепловий режим плати трансивера наносупутника та дослідити можливі варіанти його оптимізації. Плата трансивера включає потужний височастотний підсилювач при роботі якого виникає ряд проблем: теплове випромінювання впливає на роботу інших компонентів наносупутнику; через короткий проміжок часу підсилювач перегрівається.

Моделювання виконувалось в програмному середовищі SolidWorks, оскільки воно дає візуальну характеристику розподілу теплових полів та дозволяє зручно оперувати моделями елементів наносупутника.

Згідно з результатами отриманих з каналу телеметрії PolyITAN-1 в середині наносупутника температура досягає  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$  [3]. Потужність підсилювача складає 4 Вт. Максимальною робочою температурою для мікросхеми підсилювача згідно документації є  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Для друкованої плати обраний матеріал — Rogers 4350 [4], товщиною 0,762 мм, оскільки в документації до підсилювача рекомендується використовувати саме цей матеріал. Мікросхему підсилювача до плати припаяно пастою Sn63.

При моделюванні не зазначалися інші електронні компоненти, оскільки їх потужностями, у порівнянні із підсилювачем, можна знехтувати.

В чистому вигляді, без додаткових засобів розсіювання тепла, температура нагріву підсилювача складає  $664\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Оскільки в умовах космосу передача тепла можлива тільки через два механізми теплообміну (кондуктивний та випромінювання), в якості тепловідводу застосуємо пластина з алюмінію 1060-H12 товщиною 1,5 мм. Пластина за габаритними розмірами збігається з розмірами плати наносупутнику, але має вікно прямокутної форми в зоні розсіювання малих температур для можливості встановлення електронних компонентів з двох сторін друкованої плати. Товщина пластини визначена з умови ефективного розсіювання тепла, шляхом моделювання.

На рисунку 1 представлено розподіл температур для плати з тепловідводом. Як бачимо, нагрів підсилювача складає  $131^{\circ}\text{C}$ , все ще відбувається значний перегрів електронних компонентів.

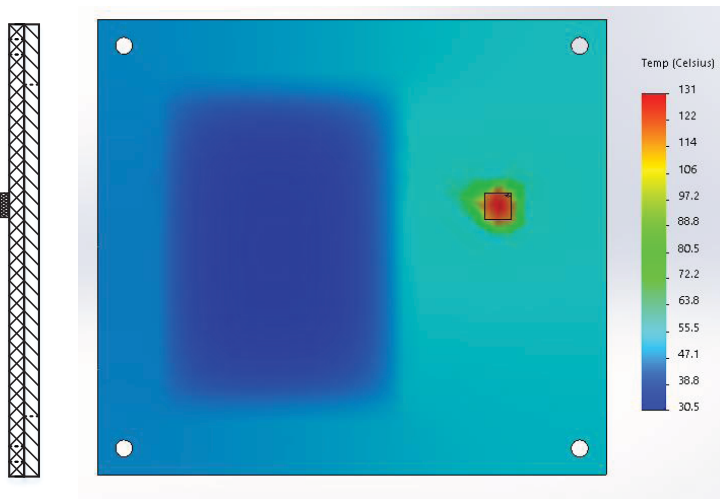


Рисунок 1. Розподіл температур на платі з тепловідводом (зліва показано переріз)

Для підвищення ефективності тепловідводу пропонується зробити металізовані отвори у платі під мікросхемою. Було змодельовані варіанти з одним отвором у платі, матриця отворів  $2 \times 2$  та  $3 \times 3$ . Площа розміщення отворів не перевищує площу теплової підложки мікросхеми [4], що забезпечує більше ефективну передачу тепла. Отвори у платі заповнені міддю.

Результати моделювання зведемо до таблиці.

Варіант виконання	Мінімальна температура, $^{\circ}\text{C}$	Максимальна температура, $^{\circ}\text{C}$	Час роботи без перегріву, с
Без тепловідводу	31,8	664	0,1
З тепловідводом	30,5	131	10
1 отвір	33,1	88,6	770
4 отвори ( $2 \times 2$ )	32,9	91,2	630
9 отворів ( $3 \times 3$ )	33,2	90,2	675

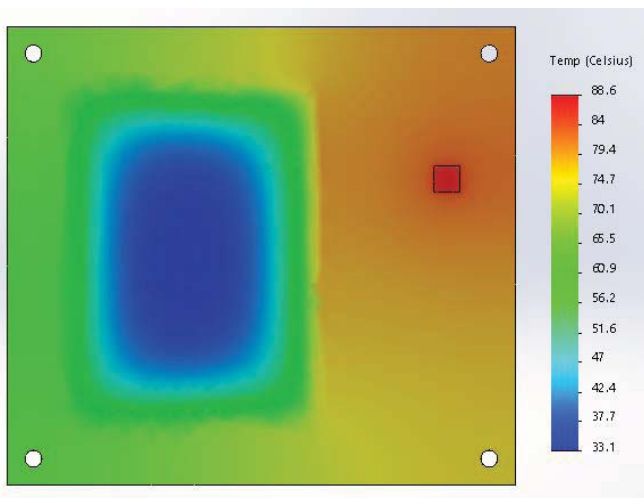


Рисунок 2. Розподіл температур на платі при 1 отворі

При дослідженні залежності температури від часу отримали, що вже на 10 секунд температура мікросхеми перевищує  $85^{\circ}\text{C}$ , тобто максимально допустиму роботу.

Для підвищення ефективності тепловідводу пропонується зробити металізовані отвори у платі під мікросхемою. Було змодельовані варіанти з одним отвором у платі, матриця отворів  $2 \times 2$  та  $3 \times 3$ .

Площа розміщення отворів не перевищує площу теплової підложки мікросхеми [4], що забезпечує більше ефективну передачу тепла. Отвори у платі заповнені міддю.

Результати моделювання зведемо до таблиці.

Варіант виконання	Мінімальна температура, $^{\circ}\text{C}$	Максимальна температура, $^{\circ}\text{C}$	Час роботи без перегріву, с
Без тепловідводу	31,8	664	0,1
З тепловідводом	30,5	131	10
1 отвір	33,1	88,6	770
4 отвори ( $2 \times 2$ )	32,9	91,2	630
9 отворів ( $3 \times 3$ )	33,2	90,2	675

Відповідно до таблиці бачимо, що при матрицях отворів  $2 \times 2$  та  $3 \times 3$  розсіювання тепла по платі є більше ефективним, але все одно не є достатнім. В той час, як при одному отворі (рис.2) повністю заповненим міддю маємо досить прийнятні результати максимальної температури, що дорівнює  $88,6^{\circ}\text{C}$ , при максимально допустимій температурі  $85^{\circ}\text{C}$ .

На рисунку 3 для порівняння наведено залежність максимальних температури від часу для 4 варіантів виконання.

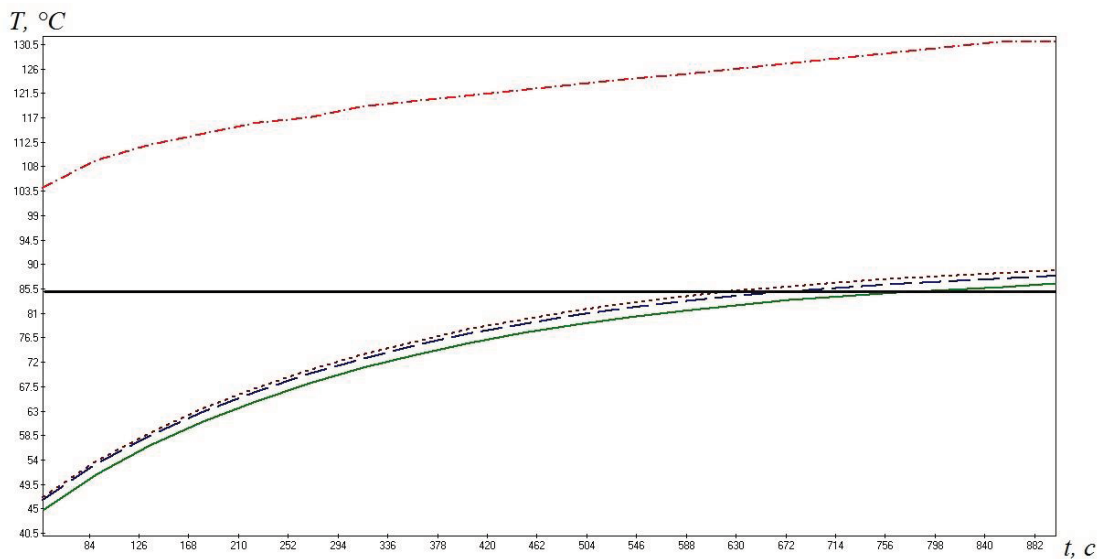


Рисунок 3. Залежність температури від часу при 1 наскрізному отворі

Для забезпечення ефективного теплового режиму найкращим варіантом є виконання одного отвору заповненого міддю. Однак, такий варіант може бути технологічно складним. В якості альтернативи пропонується використовувати матрицю металізованих отворів 3x3.

#### Перелік посилань

1. ESA – Thermal Control [Електронний ресурс] — [https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Space\\_Engineering\\_Technology/Thermal\\_Control](https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/Thermal_Control) — Назва з екрана.
2. Thermal subsystem overview | Phoenix CubeSat [Електронний ресурс] — <http://phxcubesat.asu.edu/technology/thermal-control> — Назва з екрана.
3. Наносупутник PolyITAN-1 [Електронний ресурс] — <http://www.cubesat.org.ua/> — Назва з екрана.
4. Analog Devices. HMC1121 [Електронний ресурс] — <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/HMC1121> — Назва з екрана.

#### Анотація

Розглянуто особливості розсіювання тепла потужних електронних компонентів в умовах космосу. Проведено моделювання для 5 варіантів конструкцій плати наносупутника. Наведено залежності температур від часу для запропонованих варіантів. Надано рекомендацію щодо забезпечення ефективного теплового режиму плати.

Ключові слова: теплові процеси, наносупутник, розсіювання тепла, SolidWorks.

#### Abstract

There are considered features of heat dissipation of powerful electronic components in space. We suggested 5 variants of nanosatellite's PCB structure, performed thermal processes modelling. Structure with one copper filled hole is the most efficient but difficult in implementation. As an alternative we suggested copper filled hole matrix 3x3.

Keywords: thermal processes, nanosatellite, heat dissipation, SolidWorks.