

Міністерство освіти і науки України  
Львівський національний університет імені Івана Франка  
Факультет прикладної математики та інформатики  
Кафедра обчислювальної математики

Математичне моделювання в науці та технологіях

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ ПРОЦЕСОРА



**Виконав:**

студент IV курсу, групи ПМп-41  
напряму підготовки «Прикладна математика»

Грициндишин Віталій

**Викладачі:**

доц. Кухарський В. М.

доц. Ящук Ю. О.

ас. Марчук Ю. Б.

# **Зміст**

<b>Вступ</b>	<b>3</b>
<b>1 Постановка задачі</b>	<b>3</b>
<b>2 Опис моделі</b>	<b>3</b>
<b>3 Результати експериментів</b>	<b>4</b>
<b>Висновки</b>	<b>4</b>
<b>Література</b>	<b>6</b>
<b>Додаток</b>	<b>6</b>

# Вступ

З огляду на зростаючі вимоги до продуктивності сучасних процесорів, однією з головних проблем при їх експлуатації є контроль температури. Підвищення температури може призвести до зниження продуктивності, а також зменшення терміну експлуатації пристрою. Тому, для досягнення ефективної роботи, необхідно розробляти ефективні системи охолодження процесорів. У даній роботі ми зосередимося на моделюванні процесу охолодження процесора з використанням радіатора.

## 1 Постановка задачі

Метою даної роботи є розрахунок необхідної форми та розмірів алюмінієвого радіатора для охолодження кремнієвого процесора з розмірами 52x45x5 мм та потужністю нагріву 140 Вт при температурі навколишнього середовища 20°C так, щоб температура процесора не перевищувала 80°C. При цьому необхідно уникати надмірної витрати алюмінію, а також надмірних розмірів системи. Також система містить пластикову плату товщиною 2 мм.

## 2 Опис моделі

Для моделювання процесу охолодження процесора використовуємо програмне забезпечення COMSOL. Модель складається з пластикової плати, кремнієвого процесора та алюмінієвого радіатора. Для точного відтворення умов роботи процесора, враховуємо його потужність нагріву 140 Вт та розміри 52x45x5 мм. Також враховуємо температуру навколишнього середовища, яка становить 20°C.

При моделюванні використовуємо рівняння теплопередачі, які описують процес теплообміну між процесором та радіатором. Рівняння має вигляд:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p u \times \nabla T + \nabla \times q = Q + Q_{ted}. \quad (1)$$

$k$ : коефіцієнт теплопровідності.

$\rho$ : щільність середовища.

$C_p$ : питома теплоємність середовища при постійному тиску.

$T$ : температура середовища.

$t$ : час.

$u$ : вектор швидкості середовища.

$\nabla$ : векторний диференціальний оператор, також відомий як оператор дивергенції.

$q = -k\nabla T$ : вектор густини теплового потоку.

$Q$ : щільність джерела тепла.

$Q_{ted}$ : щільність розсіювання теплової енергії.

Члени в лівій частині рівняння представляють різні механізми, за допомогою яких тепло може передаватися в середовищі. Перший член являє собою передачу тепла через зміни температури з часом, тоді як другий член являє собою передачу тепла внаслідок руху середовища. Третій член представляє передачу тепла через наявність магнітного поля, яке індукує струми в середовищі, які створюють тепло.

Члени в правій частині рівняння представляють різні джерела тепла в середовищі. Термін  $Q$  означає будь-які зовнішні джерела тепла, тоді як  $Q_{ted}$  означає розсіювання теплової енергії в самому середовищі.

При моделюванні теплообміну між процесором та радіатором, граничні умови залежать від конкретних умов процесу та конструкції системи. Проте, можна розглянути декілька загальних випадків.

- Гранична умова першого роду:  $T(x, y, z, t) = T_s(t)$  - вказується значення температури на поверхні процесора або радіатора, яка змінюється з часом.
- Гранична умова другого роду:  $q \cdot \mathbf{n} = h(T - T_{amb})$  - вказується значення теплового потоку на поверхні радіатора, де  $\mathbf{n}$  - зовнішня нормаль до поверхні,  $h$  - коефіцієнт теплообміну,  $T_{amb}$  - температура навколишнього середовища.
- Гранична умова третього роду:  $T(x, y, z, t) = T_{amb}$  - вказується температура навколишнього середовища на поверхні радіатора або інших елементів системи, які не залучені до теплообміну.
- Гранична умова четвертого роду:  $\frac{\partial T}{\partial n} = 0$  - вказується, що компоненти теплового потоку, перпендикулярні до поверхні, дорівнюють нулю. Це може бути застосовано, наприклад, для внутрішніх поверхонь системи, де теплообмін не відбувається.

Важливо пам'ятати, що правильний вибір граничних умов є критичним для правильного моделювання теплообміну між процесором та радіатором, а також для отримання точних результатів при розв'язанні рівняння теплопередачі.

Для визначення оптимальної форми та розмірів радіатора, проводимо розрахунки за допомогою COMSOL, варіюючи розміри та геометрію радіатора. Оптимальним розміром визначимо такий, при якому температура процесора не перевищує 80°C при заданій потужності нагріву, а витрати на алюміній та розміри системи є найменшими.

### 3 Результати експериментів

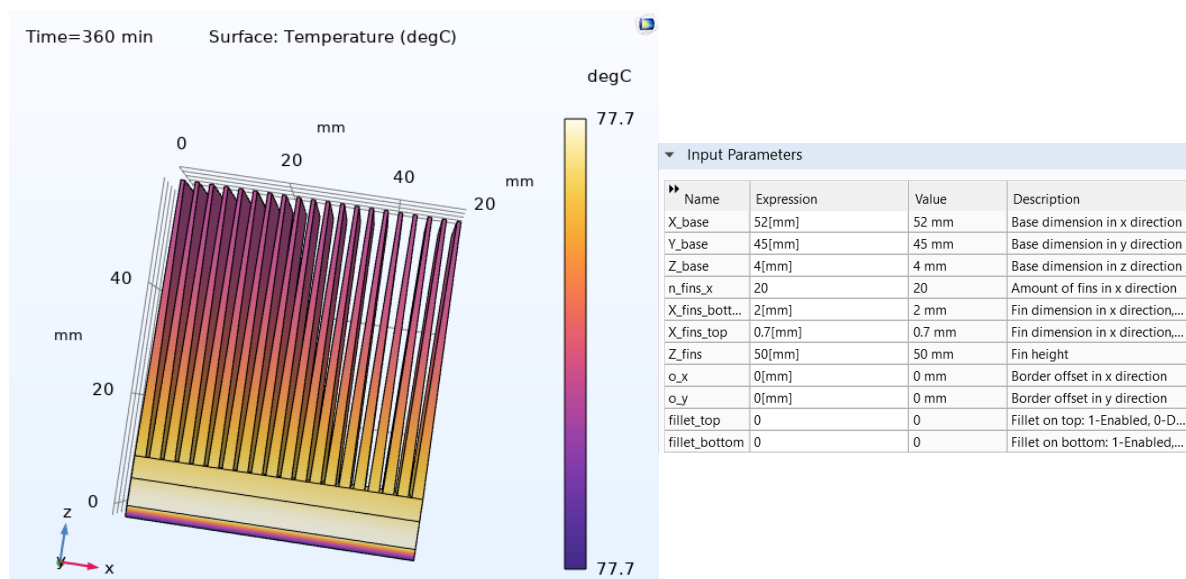


Рис. 1: Варіант оптимального радіатора.

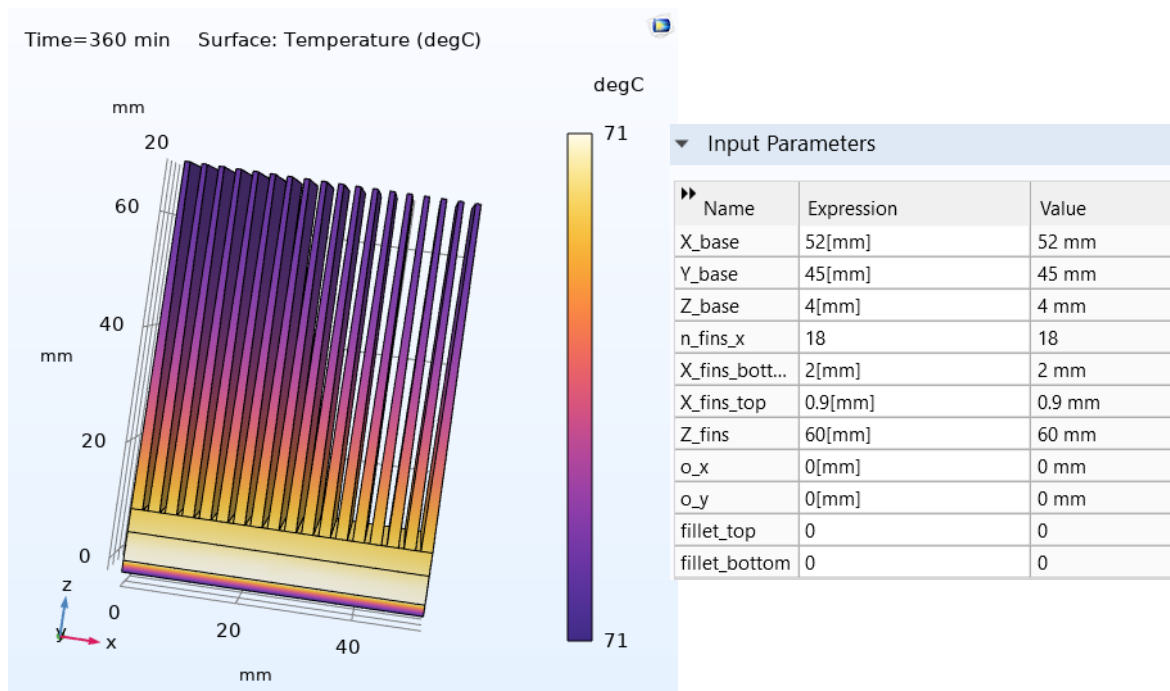


Рис. 2: Варіант оптимального радіатора.

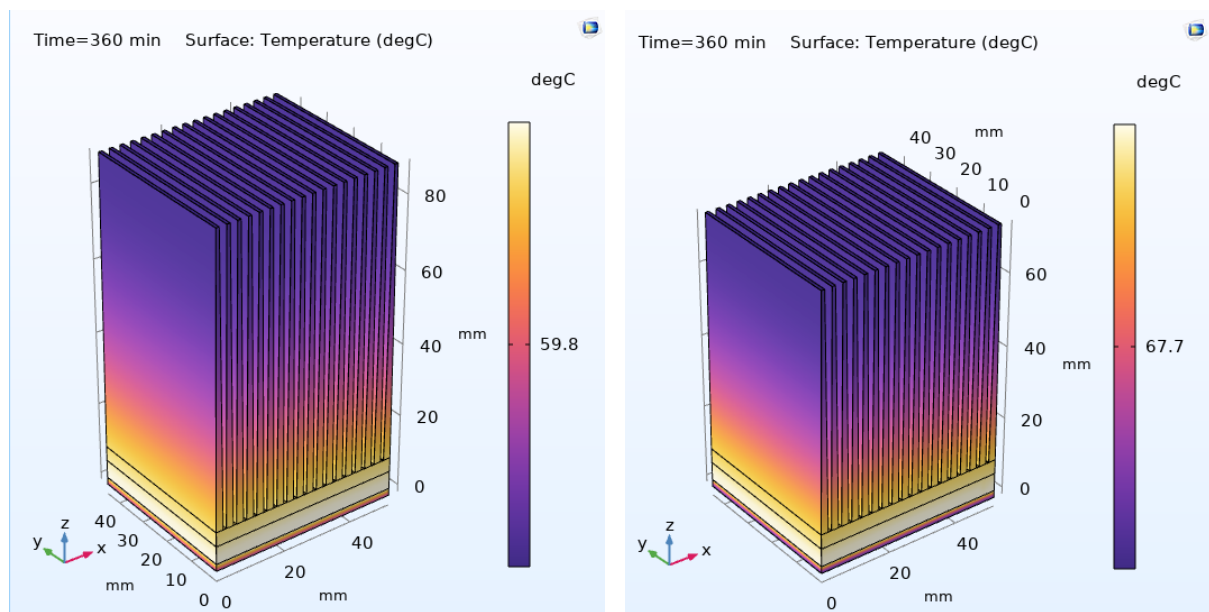


Рис. 3: Варіант оптимального радіатора із затратами на матеріал.

## Висновки

За результатами моделювання процесу охолодження процесора було встановлено, що для досягнення оптимальної температури процесора необхідно використовувати радіатор з розмірами Рис. 1 - 2. При цьому температура процесора не перевищує 80°C при потужності нагріву 140 Вт та температурі навколишнього середовища 20°C. Також було встановлено, що використання радіатора з більшими розмірами не дає значного зниження температури процесора, а витрати на алюміній та розміри системи збільшуються значно.

## Література

- [1] COMSOL Multiphysics, [www.comsol.com](http://www.comsol.com).
- [2] K. H. Yeoh, Advances in Computer Science and Engineering: Texts, Springer, 2009.
- [3] P. Ramana, Thermal Management of Electronic Systems: Proceedings of EURO THERM Seminar 29, Springer Science and Business Media, 2013.

## Додаток

З реалізацією моделювання можна ознайомитись за посиланням на GitHub репозиторій.

<https://github.com/vitalikkk19/mmst>

