УДК 536.24

CFD-МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООБМІННИКА ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ МІКРОПРОЦЕСОРІВ ПРИ ТЕРМОТРЕНУВАННІ

Павлов О.Л., к.т.н., доц.
Національний університет «Одеська політехніка»
Україна, Одеса
oleksii.pavlov@op.edu.ua

Анотація. *Проведено CFD-моделювання теплообмінника складної форми з рідинним охолодженням для проведення стендових термотренувань мікропроцесорів. Отримано тепло-аеродинамічні характеристики та надано рекомендації щодо конструювання теплообмінників такого типу для ефективного відведення тепла від мікропроцесора під час зміни температури його корпусу в ході тренувань.*
Ключові слова: *CFD-моделювання; теплообмінник; термотренування; ANSYS.*

Вступна частина. Розробка партії мікропроцесорів на виробництві передбачає їх термотренування. Цей процес полягає у визначенні поведінки функціональних властивостей мікропроцесора залежно від зміни його температури, зокрема температури корпусу [1].

Термотренування проводиться на спеціальному стенді, який містить комутаційну плату з встановленими на ній мікропроцесорами та іншими компонентами, що забезпечують різноманітні режими функціонування мікропроцесорів та вимірювання їх параметрів.

Зміна температури корпусу мікропроцесора здійснюється, як правило, за допомогою термоелектричного модуля [2]. Умовно холодна поверхня модуля з температурою, що регулюється, знаходиться в тепловому контакті з корпусом мікропроцесора. На гарячу поверхню термоелектричного модуля встановлюється теплообмінник, що відводить в довкілля сумарний тепловий потік від мікропроцесора і модуля.

Залежно від типу, продуктивності та режиму роботи мікропроцесора використовується як рідинне, так і повітряне охолодження теплообмінника. Але висока щільність компонування комутаційної плати, вимога вільного доступу до елементів регулювання, а також наявність численних датчиків для вимірювання, обмежує розмір стенду і вимагає застосування надзвичайно ефективного теплообмінника, як правило, в умовах рідинного охолодження.

Метою даної роботи є проведення CFD-моделювання теплообмінника для проведення стендових термотренувань мікропроцесорів та отримання рекомендацій з цілеспрямованого конструювання такого теплообмінника на основі результатів досліджень.

Основна частина. Проведено чисельне моделювання температурного та гідродинамічного полів теплообмінника складної форми для різних варіантів його конструктивного виконання. Далі наведено деякі результати для першої конфігурації конструкції теплообмінника (config_1). Розрахункова область, її геометричні параметри та теплофізичні умови проведення моделювання показані на рис.1.

Під час проведення цього чисельного моделювання було прийнято такі припущення:

- у розрахунковій області відбувається ламінарна або турбулентна однофазна течія неньютонівської нестисливої рідини;

- в’язкість рідини, а також теплопровідність і густина рідини та верхньої і нижньої меж є сталими;

- у розрахунковій області має місце стаціонарна течія;

- силами гравітації нехтують.

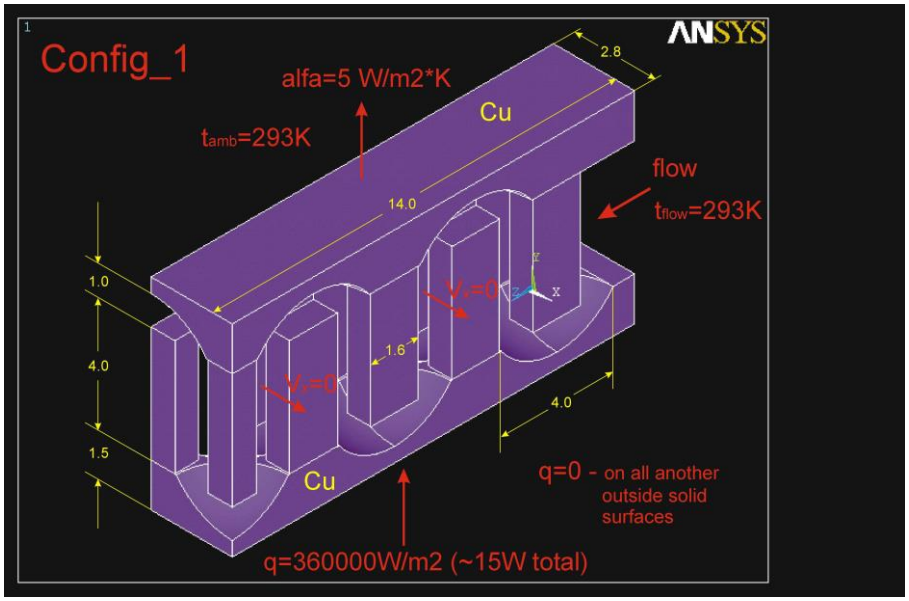


Рис.1 – Розрахункова область теплообмінника

Тоді математична модель течії та спряженого теплообміну в розрахунковій області описується рівняннями нерозривності, енергії та Нав'є-Стокса (у проекціях на осі X, Y та Z) [3]. Рівняння було доповнено граничними умовами, що враховують особливості течії та спряженого теплообміну в розрахунковій області, як показано на рис.1.

Для рішення задачі використовувався модуль CFD Flotran CAE системи ANSYS. Розрахункова область була представлена як сукупність трьох об'ємів:

1. Solid-об'єм, що представляє нижню основу теплообмінника.
2. Solid-об'єм, що представляє верхню основу теплообмінника.
3. Liquid-об'єм, що становить проточну частину розрахункової області.

Результати утворення сітки (mesh) в кожному об'ємі для одного з варіантів розбиття розрахункової області на кінцеві елементи показано на рис.2.

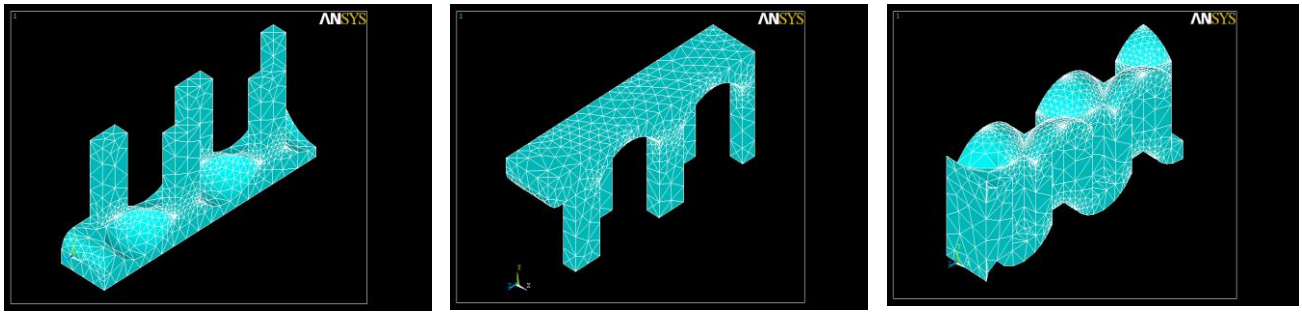


Рис.2 – Розбиття розрахункової області на кінцеві елементи

Моделювання було проведено для двох теплоносіїв – води та етиленгліколю ($C_2H_6O_2$). Теплофізичні властивості етиленгліколю що приймалися: щільність 1113 кг/м^3; теплоємність 2382 Дж/(кг·К); теплопровідність 0,258 Вт/(м·К); динамічна в'язкість $199 \cdot 10^{-4}$ Н·с/м^2.

В результаті моделювання визначено наступні параметри розрахункової області теплообмінника:

- температурне поле;
- поле швидкостей;

- поле ліній струму теплоносія.

Після аналізу результатів, зокрема, була отримана залежність максимальної температури нижньої основи розрахункової області t_{max} від швидкості теплоносія V на вході до розрахункової області, яка показана на рис.3.

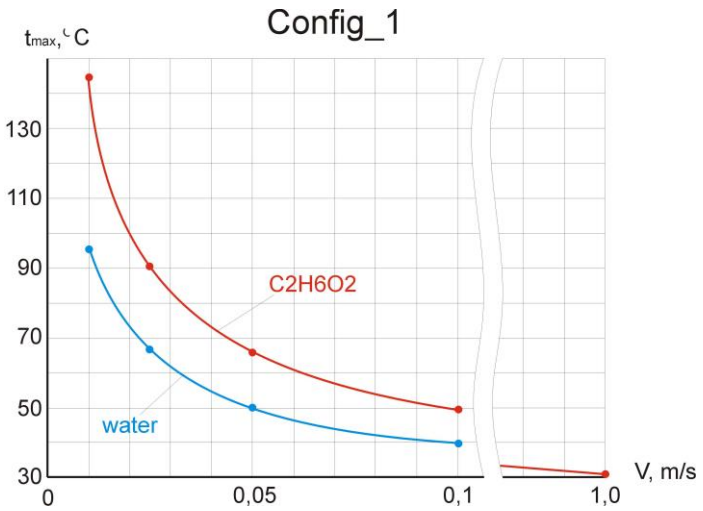


Рис.3 – Залежність t_{max}=f(V)

Також було проведено моделювання теплообмінника для двох матеріалів виготовлення основи (мідь та сплав алюмінію), висоти ребра теплообмінника в діапазоні від 4 до 9 мм, швидкості теплоносія 0,01; 0,025; 0,05; 0,1 та 1,0 м/с. Було встановлено, зокрема, що збільшення висоти ребра понад 4 мм доцільно лише при швидкості теплоносія до 0,05 м/с.

Висновки. Проведено чисельне моделювання температурного та гідродинамічного полів теплообмінника для проведення стендових термотренувань мікропроцесорів. Розглянуті різні варіанти конструктивного виконання теплообмінника та досліджено вплив основних конструктивних і теплофізичних параметрів на ефективність тепловіддачі. Отримані результати досліджень дозволяють проводити цілеспрямоване конструювання таких теплообмінників з вибором оптимальних параметрів для забезпечення заданого теплового режиму мікропроцесорів під час проведення термотренувань.

Використання інструментів ШІ. У роботі була використана модель штучного інтелекту Gemini 4 Argon для аналізу науково-технічної літератури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Spokoiny, M., & Trofimov, V. (2011, November 7–9). *Collider jets cooling method of microprocessors* [Paper presentation]. 2011 International Microelectronics And Packaging Society ATW on Thermal Management, Session 12 “Liquid, phase-change and refrigeration cooling”, Palo Alto, CA, United States. 1–18.

[2] Rowe, D. M. (Ed.). (2005). *Thermoelectrics handbook: Macro to nano.* CRC Press.

[3] Трофімов, В. Є., Павлов, О. Л., & Мокроусова, Є. А. (2016). CFD-моделювання радіатора для повітряного охолодження мікропроцесорів в обмеженому просторі. *Технологія та конструювання в електронній апаратурі,* (6), 30–35.

Pavlov O.L.

CFD modeling of a heat exchanger for cooling microprocessors during thermal training

Abstract. *CFD modeling was performed for a liquid-cooled heat exchanger with complex geometry, designed for thermal stress testing of microprocessors. Thermal and aerodynamic characteristics were obtained, and recommendations were provided for the design of such heat exchangers to ensure effective heat removal from a microprocessor while its package temperature varies during the testing process.*

Keywords: *CFD modeling; heat exchanger; thermal training; ANSYS.*