

## **ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ КОЛИЧЕСТВА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ИССЛЕДУЕМОЙ ОБЛАСТИ**

**Г. А. Пискун, Д. Ю. Крупенько**

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, krupenkodaniil10@gmail.com

*The finite element method (FEM) is a vital tool in the engineering field, enabling detailed temperature distribution analysis in complex systems like processor radiators. This study highlights the process and methodology of FEM, emphasizing its flexibility and precision in modeling intricate geometries and heat distribution. By breaking down complicated structures into manageable elements, FEM provides a comprehensive approach to thermal behavior analysis, making it an essential technique for designing efficient cooling systems.*

### **Введение**

Моделирование является эффективным процессом и неотъемлемой частью научных и инженерных исследований, позволяя предсказывать поведение устройств и систем в различных условиях без необходимости проведения дорогостоящих и затратных по времени экспериментов. Оно находит применение в самых разных областях, от создания микро- и наноконструкций до проектирования мегасооружений.

Сегодня в радиоэлектронике активно используются различные виды моделирования, нацеленные на анализ протекающих физических процессов, например, механических, электрических, тепловых и т.д.

В работе рассматривается тепловое моделирование, что особенно важно при проектировании систем охлаждения, таких, например, как башенные радиаторы для высокомоощных процессоров. Правильное построение модели позволит обеспечить эффективное рассеивание тепла, предотвращая перегрев и повышение надежности процессоров.

### **Использование метода конечных элементов**

Для температурного анализа часто применяются метод конечных элементов (МКЭ) и метод конечных разностей. Особенностью метода конечных элементов является разбиение сложных объектов на простые, дискретные элементы, позволяя проводить детальный анализ процессов. Вместо того, чтобы решать уравнение теплопроводности для всего объекта сразу, получается решить его для каждого элемента. Затем полученные решения объединяются, чтобы получить полную картину распределения тепловой энергии в объеме.

Рассмотрим последовательность использования МКЭ для анализа физических процессов в исследуемой области.

1. Объект разбивается на множество мелких частей, называемых конечными элементами. Эти элементы могут иметь различные формы, такие как треугольники, квадраты и тетраэдры;

2. Для каждого конечного элемента формулируются уравнения, которые описывают физические процессы в этом элементе;

3. Уравнения для всех элементов объединяются в единую систему, описывающую поведение всей системы через наложение условий непрерывности на границах элементов;

4. Полученная система уравнений решается с использованием численных методов;

5. Полученные решения анализируются для определения поведения системы в целом, что может включать визуализацию результатов и построение графиков.

Известно, что число конечных элементов напрямую влияет на точность и детализацию анализа протекающих процессов. Однако, чем больше элементов, тем более детализированной будет модель, и это приведет к увеличению вычислительной нагрузки и времени обработки данных. Поэтому всегда нужно искать баланс между точностью и эффективностью.

#### **Исходные данные для проведения эксперимента**

Для оценки точности моделирования физических процессов при увеличении количества конечных элементов в исследуемой области, авторами в программной среде *SolidWorks Flow Simulation* была разработана модель башенного радиатора, установленного на центральный процессор [1, 2].

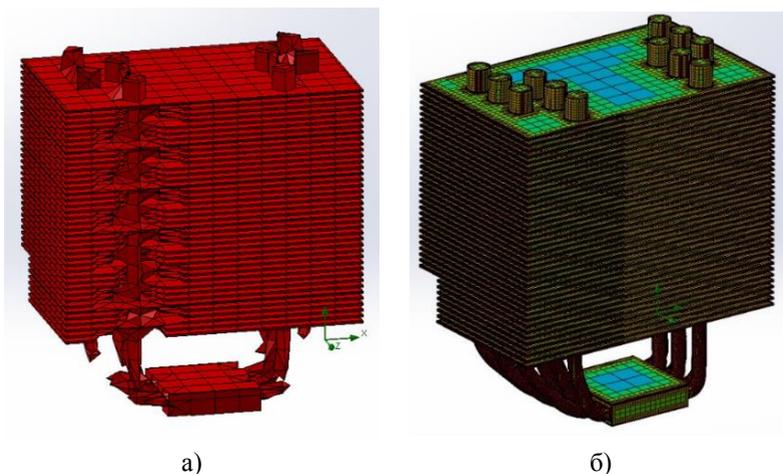
Модель башенного радиатора соответствует характеристикам ID-Cooling SE-226-XT Black [3].

Для источника тепловой энергии была создана модель процессора AMD Ryzen™ 7 5600X [4]. Мощность – 65 Вт.

Технические характеристики персонального компьютера, на котором проводилось моделирование: RAM24GB CPU AMD Ryzen 5 5600X 6-Core Processor 3.70 GHz GPU MSI GeForceRTX 3060 12GB.

При проведении моделирования, авторами были использованы исходные данные из [1, 2], а также скорректированы параметры теплопроводности материалов для составных частей модели (материал очень высокой теплопроводности для тепловых трубок (4 кВт/м×К), алюминий для ребер радиатора, медь для теплораспределительной крышки процессора и основания радиатора, а также кремний для кристалла процессора).

Исследуемая область была разбита на сетку из конечных элементов, как показано на рисунке 1.



**Рис. 1 – Разбиение области моделирования на сетку, состоящую из 7 тысяч (а) и 500 тысяч (б) элементов**

### Экспериментальная часть

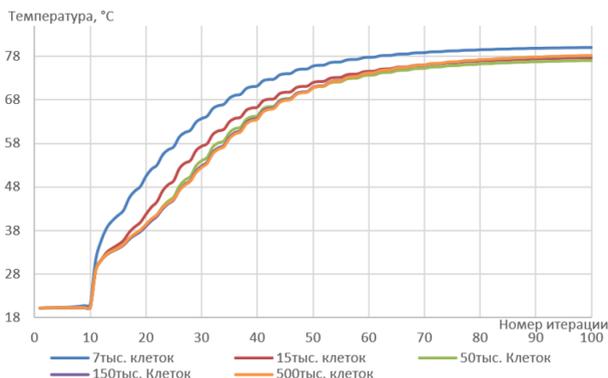
В результате экспериментов установлены следующие значения температур и времени, затраченного на моделирование (таблица 1).

**Таблица 1 – Значения температур и времени анализа от количества конечных элементов**

Количество конечных элементов, шт.	Установившаяся температура, °С	Время анализа, с
7 000	80.07	32
15 000	77.77	51
50 000	77.14	127
150 000	78.07	345
500 000	78.20	1 127

В результате эксперимента установлено, что при увеличении количества элементов с 7 000 до 15 000 шт., температура на крышке процессора снижается с 80.07°С до 77.77°С. Дальнейшее увеличение числа элементов не приводит к весомым изменениям температуры, однако значительно увеличивается время анализа – с 32 до 1 127 с.

Следовательно, для получения точных результатов достаточно разбиения области на 50 000 элементов, что обеспечивает наилучшее соотношение между точностью и временем вычислений. Зависимость установившейся температуры от количества элементов представлена на рисунке 2.



**Рис. 2 – Зависимость изменения температуры от количества элементов сетки**

Из рисунка 2 видно, что вначале температура быстро растет, а затем постепенно стабилизируется. Конечная установившаяся температура для всех кривых находится около 78 °С. Однако скорость, с которой достигается эта температура, варьируется в зависимости от числа конечных элементов. Например, при 7 000 элементов температура стабилизируется быстрее, чем при 500 000.

### **Заключение**

Проведенный анализ показал, что метод конечных элементов является эффективным инструментом для моделирования тепловых характеристик радиатора процессора. Оптимальное число конечных элементов в данном исследовании для достижения баланса между точностью и временем вычислений составляет около 50 000 элементов.

### **Список использованных источников**

1. Пискун Г.А., Алексеев В.Ф., Беликов А.Н., Рыбаков Д.Г. Влияние ориентации каналов в кулерах воздушного охлаждения на эффективность отведения тепла от процессоров. Доклады БГУИР. 2023;21(5):33-41.
2. Пискун Г.А., Алексеев В.Ф., Беликов А.Н., Рыбаков Д.Г. Моделирование отведения тепловой энергии от процессоров при помощи кулеров воздушного охлаждения. Доклады БГУИР. 2023;21(4):54-62.
3. ID-Cooling SE-226-XT [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.idcooling.com/product/detail?id=269&name=SE-226-XT%20BLACK>. Дата доступа: 17.10.2024.
4. AMD Ryzen™ 5 5600X [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.amd.com/en/products/processors/desktops/ryzen/5000-series/amd-ryzen-5-5600x.html>. Дата доступа: 17.10.2024.