

## ПРОГРАММИРОВАНИЕ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ВСТРЕЧНЫХ СТРУЙ В РАДИАТОРЕ ДЛЯ ЖИДКОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРА

К. т. н. В. Е. Трофимов, к. т. н. А. Л. Павлов, В. Б. Солтановский

Одесский национальный политехнический университет  
Украина, г. Одесса  
vovic@ukr.net

*Рассмотрена файловая система и ее программная реализация в синтаксисе языка C++, основанная на использовании решателей системы математического моделирования OpenFOAM для визуализации решения нестационарных трехмерных уравнений неразрывности и Навье — Стокса при течении несжимаемой жидкости в виде встречных струй в рабочей полости радиатора для охлаждения микропроцессора.*

*Ключевые слова: жидкостное охлаждение РЭА, CFD-моделирование, программирование.*

Одним из современных направлений проектирования радиаторов для жидкостного охлаждения микропроцессоров является организация движения охлаждающей жидкости через рабочую полость радиатора в виде струй, направленных навстречу друг другу [1, 2]. Сложность и многофакторность такого течения приводят к существенным материальным и временным затратам для получения окончательного конструктивного решения радиатора. Снизить эти затраты позволяет визуализация течения охлаждающей жидкости в рабочей полости радиатора, которая дает возможность:

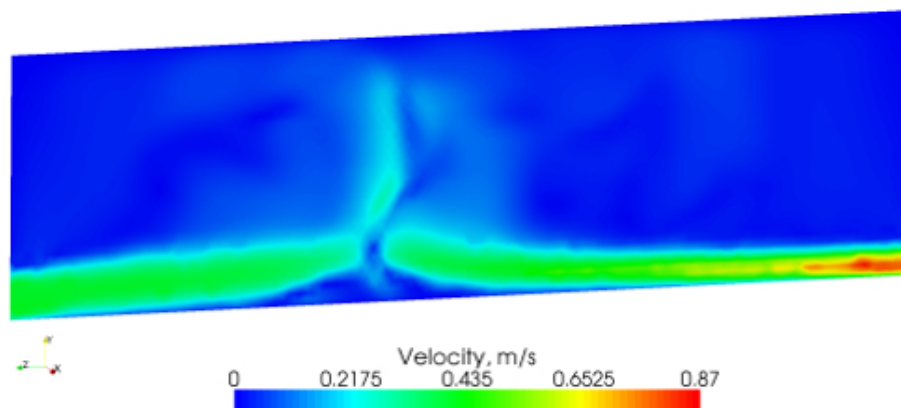
- понять физическую природу взаимодействия встречных струй в ограниченных пространствах сложной и нетрадиционной формы;
- обнаружить в рабочей полости радиатора такие негативные явления, как застойные зоны и циркуляции потока жидкости;
- сократить время реализации проекта от идеи до получения готовых образцов.

Для получения визуализационных картинок была разработана и программно реализована в синтаксисе языка C++ файловая система алгоритма CFD-моделирования в среде системы математического моделирования OpenFOAM, состоящего из следующих этапов:

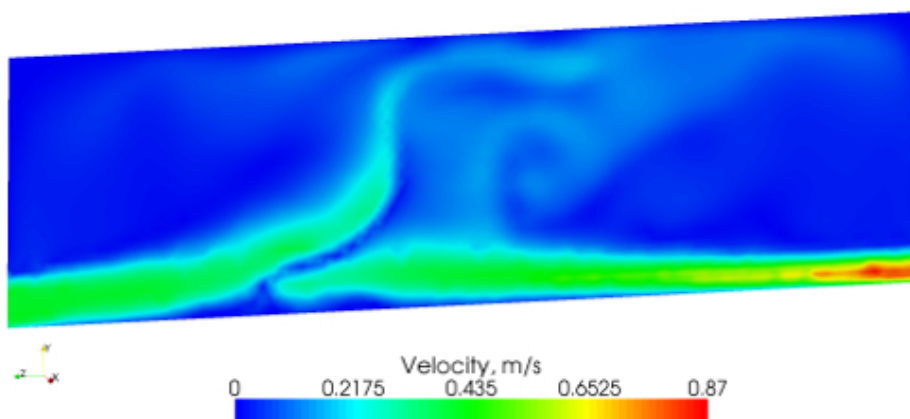
- построение геометрической модели расчетной области рабочей полости радиатора и задание условий однозначности;
- разбиение проточного объема геометрической модели расчетной области на конечные элементы (меширование);
- распараллеливание данных в формате FOAM по процессорам многопроцессорной рабочей станции при помощи утилиты DecomposePar;
- решение нестационарной трехмерной системы уравнений Навье — Стокса и неразрывности в расчетной области при помощи утилиты параллельных вычислений mpRun и решателя isoFoam для определения распределения скорости течения охлаждающей жидкости в пространстве и во времени;
- объединение результатов вычислений отдельных процессоров в единое решение при помощи утилиты reconstructPar;
- визуализация и анимация полученного решения в системе параллельной визуализации ParaView.

На рисунке представлены типичные визуализационные картинки распределения скорости развитого течения охлаждающей жидкости в виде встречных струй в сечении одной из конструкций рабочей полости радиатора в два последовательных момента времени (условно 1 и 2) для случая, когда диаметры струй и скорости течения охлаждающей жидкости в них не одинаковы. Рабочая полость имела габаритные размеры 28×36×9 мм, диаметры струй на срезе сопел 0,25 мм и 0,9 мм, диаметр выходного отверстия 6 мм.

а)



б)



Распределение скорости развитого течения охлаждающей жидкости в виде встречных струй в рабочей полости радиатора в момент времени 1 (а) и в момент времени 2 (б)

Таким образом, программная реализация приведенного алгоритма позволила получить визуализационные картинки изменения скорости течения жидкости для различных геометрических параметров радиатора, понять характер взаимодействия струй и определить пути оптимизации конструкции радиатора по результатам визуального анализа, не прибегая к длительному и дорогостоящему экспериментальному макетированию.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Трофимов В. Е., Кушнир А. А. Анимация взаимодействия встречных струй в радиаторе для жидкостного охлаждения микропроцессора // Труды МНПК «СИЭТ-2011». — Украина, Одесса. — 2011. — С. 225.
2. Трофимов В.Е., Павлов А.Л. Анимация взаимодействия встречных струй в радиаторе для жидкостного охлаждения микропроцессора // Труды МНПК «СИЭТ-2014». — Украина, Одесса. — 2014. — Стр. 26-27.

V. Ye. Trofimov, A. L. Pavlov, V. B. Soltanovsky

#### **Programming of the visualization of contrary jets in heat sinks for liquid cooling of microprocessors**

*The authors consider the file system and its C++ realization based on the use of OpenFOAM solvers to visualize the solution of unsteady three-dimensional continuity and Navier-Stokes equations during incompressible fluid flow in the form of contrary jets in the heat sink for microprocessor cooling.*

*Keywords: liquid cooling of radio electronics, CFD simulation, programming.*