

Верификация программного кода для расчёта поля температур

Иванов К.А.

Приведены результаты проверки трёхмерной программы моделирования температурных полей, реализованной на основе алгоритмов С. Патанкара и Б. Сполдинга на совмещённых сетках Pxi-Чоу. С применением разработанной программы проведено моделирование радиатора жидкостного охлаждения. Сравнение с коммерческими программами ANSYS Icerak и COSMOS Flow Work показывает расхождение в значениях результатов моделирования не более 6 %.

Введение

Предложена программа [1], позволяющая анализировать потоки тепла и массы теплоносителя в трёхмерных моделях мощных устройств на транзисторах и интегральных схемах, использующих систему вынужденного охлаждения. Реализация программы проведена с использованием описанных в [2, 3] алгоритмов. Программа обладает возможностью передать данные расчёта в инженерный графопостроитель tесplot360 [4] для просмотра температурных полей, распределений скоростей теплоносителя и других характеристик как в заданных сечениях конструкции, так и в изометрии. Рассматривается верификация написанного программного кода путём сравнения результатов расчёта по разработанной программе с результатами расчётов, полученными в программах ANSYS Icerak (Fluent) [5] и Solid Work (Cosmos Flow Work) [6].

Математическая постановка задачи

Внешний вид радиатора жидкостного охлаждения и шести держателей тепловыделяющих элементов с местами их посадки показан на рис. 1.

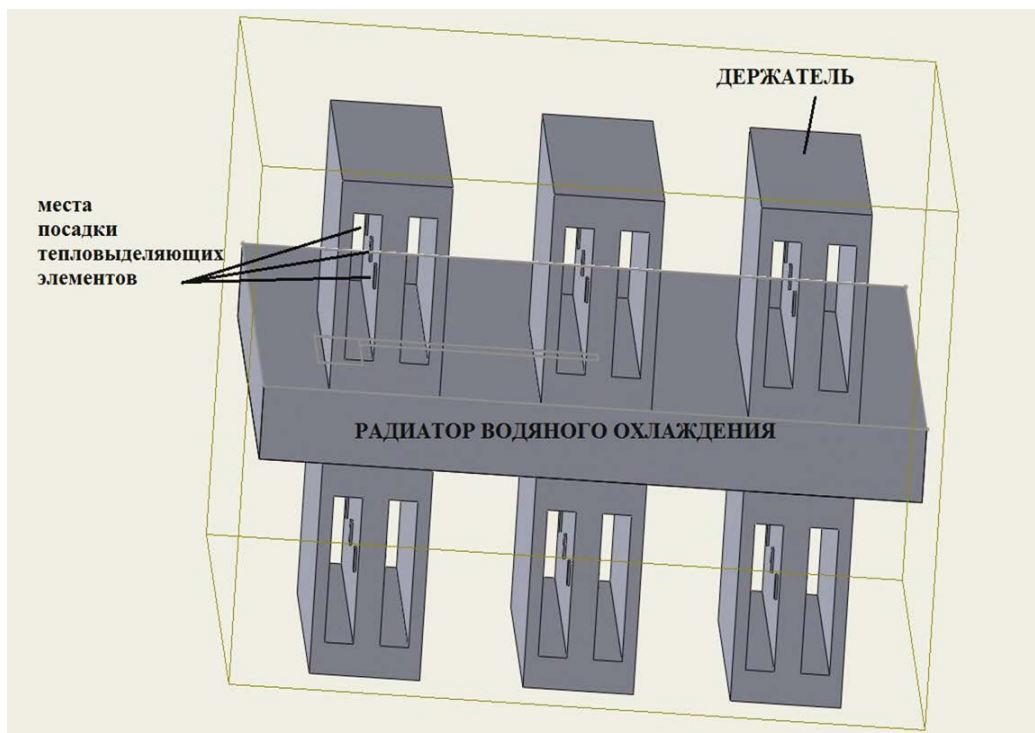


Рис. 1

Трёхмерное изображение анализируемой тепловой модели

Сечение радиатора жидкостного охлаждения изображено на рис. 2. Штриховкой показано твёрдотельное наполнение из латуни. Держатели, изображённые на рис. 1, выполнены из алюминия. Стрелками на рис. 2 показано направление подачи теплоносителя (воды). Высота водяного канала составляет 8 мм. По 4 мм сверху и снизу от канала занимают основание радиатора и крышка.

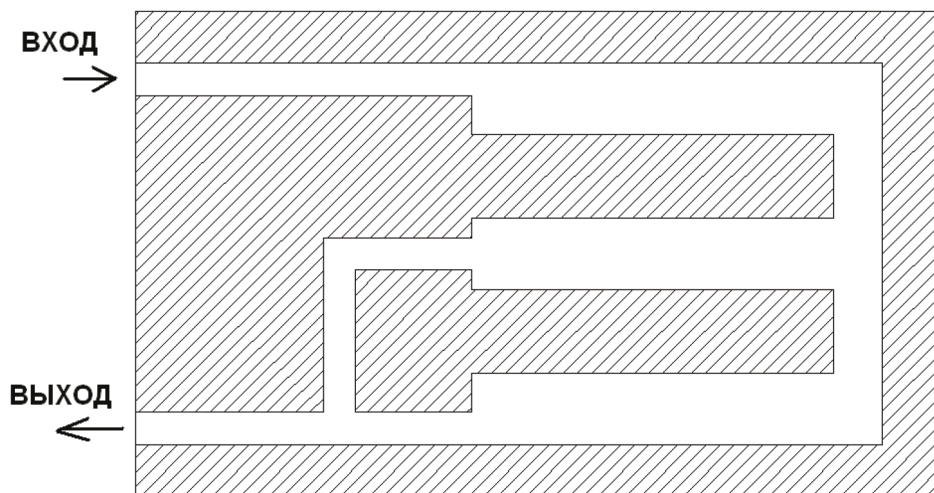


Рис. 2

Сечение радиатора водяного охлаждения

На каждом из 6 одинаковых держателей расположено 6 источников тепла. Схематично места посадки источников и мощности тепловыделения показаны на рис. 3.

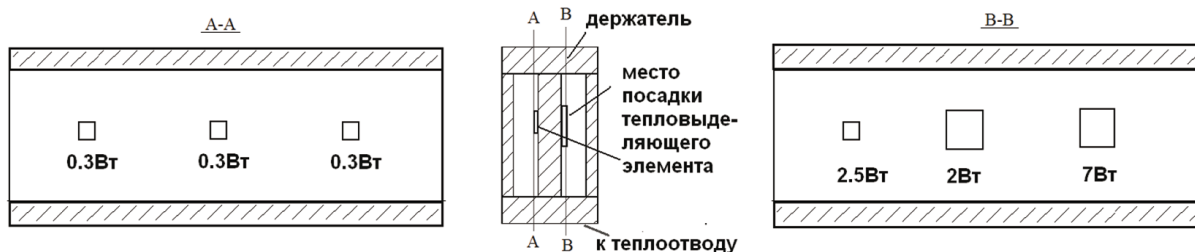


Рис. 3

Места посадки источников тепла и мощности тепловыделения

Закладываемый в расчёт диапазон изменения скоростей потока таков, что течение является ламинарным и расчёт можно проводить без модели турбулентности.

Программа [1] реализует SIMPLE алгоритм С. Патанкара и Б. Сполдинга 1972 на совмещённых сетках (Рхи-Чоу 1983) [2, 3]. Уравнения переноса дискретизируются по способу контрольного объёма, в результате чего получается система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Для конвективного члена реализовано несколько схем на основе противоточной схемы: QUICK, WACEB, SuperBee и др. [7]. Для решения СЛАУ использован алгоритм BiCGStab+ILU2, адаптированный из SPARSKIT2 Ю. Саада [8].

Постановка задачи на расчёт осуществляется с помощью достаточно простого и консервативного графического интерфейса пользователя, который автоматически по запросу пользователя вызывает решатель, а затем постпроцессор tecplot360.

Сравнение результатов расчёта

Результаты численного моделирования данной задачи при различных расходах охлаждающей жидкости в программах ANSYS Fluent [5], нашей программе [1] и Cosmos Flow Work [6] представлены в таблице. Рассматриваются следующие характеристики: перепад давления между входом и выходом на радиаторе водного охлаждения в Па, максимальная температура в расчётной области (достигается на дальнем от входа воды 7 Вт источнике тепла) в °С, разница в температурах на 7 Вт источниках: ближнем и дальнем от входа воды в °С. Разница температур вызвана тем, что один из 7 Вт источников тепла расположен ближе к входу холодного теплоносителя в радиатор, чем другой 7 Вт источник, расположенный вниз по потоку (он горячее, так как охлаждается более тёплым теплоносителем). Все рассмотренные программы позволяют предсказать этот эффект. Если принять данные программы [5] за эталон, то температуры, рассчитанные в нашей программе, отличаются от эталона не более чем на 6,1 %, а температуры, рассчитанные в программе [6] – на 3,5 %.

Таблица

Данные расчётов в различных программах

Расход, л/час	Скорость на входе 4.5 мм штуцера, м/с	Программа	Перепад давления, Па	Максимальная температура 7 Вт источника тепла, °С	Разница в температурах между ближним и дальним от входа теплоносителя 7 Вт источником тепла, °С
3.5	0.061	[5]	3.33	46.68	3.08
		[1]	4.34	44.01	1.86
		[6]	4.70	46.30	2.41
7.0	0.122	[5]	12.47	36.59	2.26
		[1]	14.38	35.96	1.42
		[6]	16.83	36.97	1.55
14.0	0.244	[5]	49.41	31.31	1.50
		[1]	58.37	31.40	1.60
		[6]	66.35	32.27	1.67
21.0	0.366	[5]	108.20	29.42	1.05
		[1]	130.29	29.69	1.44
		[6]	146.35	30.44	1.04

Выводы

Полученные результаты позволяют утверждать, что в рамках выбранной постановки задачи предложенная программа [1] обеспечивает точность расчётов не хуже коммерческих программ.

Литература

1. Зубков А.М., Иванов К.А. Программа трёхмерного моделирования тепло- и массообмена в радиаторах, состоящих из набора прямоугольных параллелепипедов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013660267 – М. – 2013.
2. I. Sezai. SIMPLE method for the solution of incompressible flows on non-staggered grids. 2011. Revised 2013. Eastern Mediterranean University, Mechanical Engineering Department, Mersin 10 – Turkey. – P. 1-12.
3. <http://sigma-cfd.ru/>: Снижения напряжённости в вопросе о зависимости решения от схемных параметров через поправку Рхи-Чоу. – С. 1-5.
4. www.tecplot.com (описание формата входного файла).
5. ANSYS Icepak 12.1 Tutorial Guide. November 2009. Chapter 36. Theory. – P. 1-48.
6. Алямовский А.А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике // СПб.: БХВ-Петербург. – 2008. – С. 227-252.
7. M.S. Darwish, F.H. Moukalled. Normalized Variable and Space Formulation Methodology for High-Resolution Schemes // Numerical Heat Transfer, Part B: Fundamentals. – 2009. – V. 26, issue 1. – P. 79-96.
8. Ю. Саад. Итерационные методы для разреженных линейных систем // МГУ. – 2013. – Т. 1. – С. 217-221, 278-282.