

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУМЕРНОЙ СОПРЯЖЕННОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В СИСТЕМЕ ПАССИВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ С ИЗМЕНЯЕМЫМ ФАЗОВЫМ СОСТОЯНИЕМ

Н.С. Бондарева, М.А. Шеремет

Научный руководитель: доцент, д.ф.-м.н. М.А. Шеремет
 Национальный исследовательский Томский государственный университет,
 Россия, г.Томск, пр. Ленина, 36, 634050
 E-mail: rOdniki@mail.ru

Современные способы терморегулирования энергетических и электронных систем включают в себя использование металлических профилей, радиаторов, различных жидкостей и материалов с изменяемым фазовым состоянием. Так в охлаждении электронных устройств активно развивается использование различных восков, парафинов и других материалов с невысокой температурой плавления (20 – 70°C). Численные и экспериментальные исследования, посвященные охлаждению радиоэлектронной аппаратуры с использованием материалов с фазовыми переходами [1–4] показывают, что использование парафинов позволяет поддерживать температуру в системе на определенном уровне в течение более длительного времени и значительно продлить время работы устройства.

Данная работа посвящена численному исследованию двумерных процессов тепломассопереноса внутри системы, содержащей источник постоянного объемного тепловыделения, металлический теплорассеивающий интерфейс и область, заполненную парафином (рис. 1). Профиль представлял собой металлическую пластину с равноудаленными друг от друга прямоугольными ребрами одинаковой высоты. Боковые и нижние грани системы теплоизолированы на верхней границе происходил теплообмен с окружающей средой. В начальный момент времени температура всей системы была равна температуре окружающей среды, что ниже температуры плавления парафина. С начального момента времени источник начинает работать и при достижении температуры плавления на границе металлического профиля и парафина, образуется область расплава. Расплав считается вязкой, несжимаемой жидкостью, удовлетворяющей условию Буссинеска, течение – ламинарным.

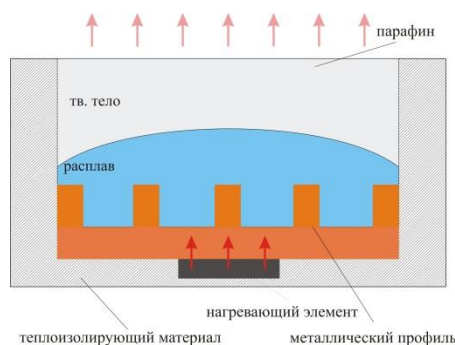


Рис. 1. Схема рассматриваемой системы

Уравнения переноса массы, импульса и энергии для данной постановки задачи были описаны в безразмерных переменных «функция тока – завихренность - температура» и решены с использованием методов конечных разностей. Уравнения гидродинамики решались в области расплава. Разностное уравнение Пуассона для функции тока было решено методом последовательной верхней релаксации, разностные уравнение для завихренности и уравнение переноса энергии решались методом прогонки [5,6].

В результате были получены детальные картины тепломассопереноса внутри рассматриваемой области в различные моменты плавления парафина. Определены времена полного расплавления материала в зависимости от толщины ребер теплового интерфейса. На рисунке изображены изолинии температуры для случаев с различной шириной ребер (рис. 2). На границе фазового перехода в материале видно резкое сгущение изотерм, здесь большое количество энергии затрачивается на плавление, на границе материала и профиля высокий температурный градиент характеризует интенсивный теплообмен с подложкой.

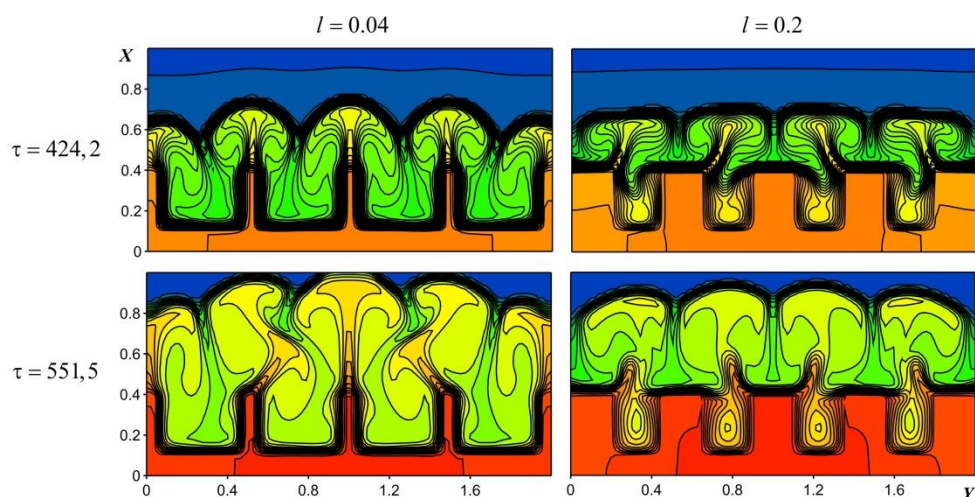


Рис. 2. Температурные распределения для двух случаев с различной шириной ребер (l – безразмерная ширина ребра, τ – безразмерный параметр времени)

Следует отметить, что размер пространства между ребрами значительно влияет на гидродинамическую структуру. Так, в случае $l = 0.2$ в этих областях образуются отдельные вихри, циркулирующая в этой области жидкость нагревается сильнее, что приводит к уменьшению градиента температуры и, как следствие, снижению интенсивности теплообмена в этих областях. Ослабление теплообмена приводит к значительному снижению скорости плавления материала. Из рисунка видно, что на поздних этапах плавления (в момент времени $\tau = 551.5$) объем расплавленного парафина при $l = 0.04$ значительно больше, чем в случае $l = 0.2$. Таким образом, при выборе формы профиля следует учитывать, что значительное воздействие на интенсивность теплоотдачи влияет ширина ребер и расстояние между ними.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Минобрнауки России (задание № 13.9724.2017/8.9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

5. Kalbasi R., Salimpour M.R. Constructal design of phase change material enclosures used for cooling electronic devices // *Applied thermal engineering*. – 2015. – Vol. 84. – Pp. 339 – 349.
6. Lu J., Fan L., Zeng Y., Xiao Y., Xu X., Yu Z. Effect of the inclination angle on the transient performance of a phase change material-based heat sink under pulsed heat loads // *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering)*. – 2014. – Vol. 10 – № 15. – Pp. 389 – 397.
7. Kandasamy R., Wang X.-Q., Mujumdar A.S. Transient cooling of electronics using phase change material (PCM)-based heat sinks // *Applied thermal engineering*. – 208. – Vol. 28. – Pp. 1047 – 1057.
8. Khan Z., Khan Z., Ghafoor A. A review of performance enhancement of PCM based latent heat storage system within the context of materials, thermal stability and compatibility // *Energy Conversion and Management*. – 2016. – Vol. 115. – Pp. 132 – 158.
9. Bondareva N.S., Sheremet M.A. Study of melting of a pure gallium in rectangular enclosure // *Key Engineering Materials*. – 2016. – Vol. 683. – P. 548 – 554.
10. Бондарева Н.С., Шеремет М.А. Математическое моделирование режимов плавления в квадратной полости с локальным источником энергии // *Теплофизика и аэромеханика*. – 2016. – Т. 21. – № 4. – С. 577 – 590.