

Сведения о выполненных работах и полученных научных результатах
в период с 27.07.2022 г. по 30.06.2023 г.

по проекту **«Математическое моделирование сопряжённого конвективного
теплообмена в трёхмерных каналах с применением многопроцессорных
вычислений»**,

поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 22-79-00291

Руководитель: Гибанов Никита Сергеевич, канд. физ.-мат. наук

В результате выполнения первого этапа проекта были решены задачи сопряженной смешанной конвекции в пространственных каналах с нагревательными элементами, позволяющие моделировать системы охлаждения продуваемых блоков радиоэлектроники и энергетических систем. Были разработаны вычислительные модели и на их основе написаны оригинальные программы, позволяющие описывать физические процессы теплообмена в пространственных объектах. Построение математических моделей было проведено на основе метода конечных разностей и решёточного метода Больцмана. На основе разработанных вычислительных моделей были проведены исследования влияния особенностей тепловыделения от источника энергии – величина тепловых потоков и их периодический характер воздействия, а также оценка влияния параметров, связанных с теплопроводными блоками – материал, из которого они изготовлены, их геометрические характеристики (высота и размер), расположение на поверхности источника тепловыделения, проведена оценка влияния скорости подаваемого на входе в канал хладагента на термогидродинамические характеристики.

С ростом числа Рейнольдса температура понижается как в ребрах так и в источнике – минимальная средняя безразмерная температура в момент установления была равна 0.00518 в ребре и 0.01552 в источнике, в то время как с уменьшением числа Re до 500 наблюдается рост на 32 % и 41.7 % и при $Re = 200$ увеличение на 104 % и 119 % соответственно. С увеличением скорости потока изменяется форма температурного поля ребра – появляется характерный скос, свидетельствующий о снижении температуры вследствие набегающего потока охлаждающей жидкости на переднюю границу. В зоне за рёбрами наблюдаются повышенные температуры.

Проведена оценка влияния различных материалов ребер. В случае медного ребра температура на передней его поверхности является практически постоянной со слегка выраженными температурными неоднородностями у границы ребра на протяжённости стенки по оси Z . Погрешности в значениях средних температур внутри нагревательного элемента не превышают 3 %, а в значениях средних температур внутри теплопроводных вставок разница между медным и железным ребром составляет 15 %.

Проведен анализ влияния расположения теплопроводных вставок на поверхности источника энергии на процессы теплопереноса ($Loc1$ – приближение

рёбер к стенкам канала, Loc2 – равноудаленное расположение рёбер на поверхности нагревателя, Loc3 – сближение рёбер между собой с небольшой зоной вентиляции между ними). Наилучшими показателями отличается среднее расположение рёбер Loc2. В случае Loc3 максимальные температуры наблюдаются в зоне под рёбрами, что приводит к перегреву источника энергии. Наилучшим охлаждением источника энергии выделяется положение Loc2, в случае же с Loc3 наблюдается рост на 12 %.

Проведён анализ влияния высоты теплопроводных блоков на теплообмен в исследуемой области. Небольшие высоты блоков ($h = 0.1H$, $h = 0.2H$) не способствуют эффективному охлаждению энергоснабжающего элемента. При низких значениях высоты блоков, скорости практически не снижаются, с ростом h наблюдается падение скорости как в зоне за блоками, так и в пространстве между рёбрами и между стенками канала и рёбрами. Наибольшее снижение средних температур в источнике, как в целом, так и в зоне под рёберной системой отмечается при росте высоты нагревателя с $0.1H$ до $0.4H$ (на 14.5 % при увеличении с $0.1H$ до $0.2H$, на 5.5 % при увеличении с $0.2H$ до $0.3H$, на 2.7 % при увеличении с $0.3H$ до $0.4H$), дальнейшее увеличение не приводит к ощутимым изменениям температуры нагревательного элемента (менее 0.8 %).

Неразумное увеличение размера теплопроводных блоков приводит к увеличению температуры внутри источника энергии, что обуславливается существенным снижением продуваемой площади канала, поток хладагента застаивается в зоне перед теплоотводящими вставками, таким образом эффективная площадь системы охлаждения снижается практически до зоны столкновения потока среды с лицевой частью рёбер. Установлены оптимальные размеры прямоугольных блоков для двухрёберной системы активного охлаждения нагревательных элементов.

Проведён анализ влияния величины тепловых потоков на поверхности нагревателя и частоты работы электронного нагревающего блока на термогидродинамические характеристики. Увеличение значения Q приводит к росту температуры как в ребре так и в нагревательном элементе. Установлены особенности развития теплового факела за теплопроводными рёбрами. Максимальная эффективность охлаждения наблюдается в зоне контакта хладагента с передней частью теплоотводящих блоков. При $Q = 2$ и дальнейшем его увеличении наблюдается рост температуры в зоне между теплопроводными блоками и адиабатическими стенками канала. Средняя температура в источнике энергии значительно превышает среднюю температуру в источнике под теплопроводными рёбрами – на 66 % вне зависимости от Q . При увеличении плотности теплового потока от 1 до 5 с шагом равным 1 средние температуры в нагревателе растут на 52 %, 33 %, 25 % и 20 %, соответственно. При импульсной работе нагревателя отмечается снижение максимальных температур при увеличении тактовой частоты плотности тепловых потоков во всех рассматриваемых зонах.