

Сведения о выполненных работах и
полученных научных результатах
в 2024 году

по проекту «**Интенсификация теплоотвода от источников энергии и способы
аккумуляции тепла в электронике и энергетике**»,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 24-19-00632

Руководитель: д-р физ.-мат. наук Шеремет Михаил Александрович

В результате реализации первого этапа настоящего проекта был решен целый ряд задач, имеющих отношение к возможной интенсификации теплоотвода от источников энергии и аккумуляции тепла в электронике и энергетике.

Проведено детальное численное моделирование смешанной конвекции в пространственном канале с источниками объёмного тепловыделения, проанализировано влияние геометрических и теплофизических характеристик нагревателя на процессы тепломассопереноса. В результате получены распределения температуры и скорости в широком диапазоне изменения определяющих параметров. Показаны особенности развития структуры течения и температуры внутри области решения.

Математическое моделирование процессов свободной конвекции в двумерных замкнутых областях, заполненных средами с переменной вязкостью, при наличии источника энергии периодического тепловыделения и пористой вставки реализовано с использованием тепловой локально-равновесной модели. В результате показано влияние теплофизических и геометрических свойств системы на эффективность охлаждения тепловыделяющего источника:

- учёт зависимости вязкости от температуры описывает процесс с более реалистичной точки зрения и является более точным вариантом расчётов для практических задач;
- изменение геометрических и теплофизических свойств пористой вставки является эффективным способом управления эффективностью системы охлаждения;
- кроме того, перемещение источника к боковым охлаждающим стенкам позволяет регулировать характеристики системы охлаждения (достигать более низкой температуры источника).

Численно проанализированы режимы естественной конвекции наножидкости в замкнутой полости с локальными источниками энергии при воздействии однородного магнитного поля. Исследована генерация энтропии внутри полости при наличии тепловыделяющей пластины. Полученные результаты показали, что

- добавление гибридных наночастиц в основную жидкость приводит к увеличению среднего значения числа Нуссельта и производства энтропии для тепловыделяющих перегородок, расположенных вертикально или горизонтально;

- увеличение числа Гартмана подавляет конвективную циркуляцию и перенос тепла, но угол наклона магнитного поля может увеличить производство энтропии.

Это означает, что средняя скорость производства энтропии уменьшается с увеличением числа Гартмана;

- увеличение безразмерной разницы температур приводит к снижению общего производства энтропии;

- рассматриваемое исследование демонстрирует возможность регулирования теплопередачи внутри частично открытой полости, имеющей тепловыделяющую перегородку, за счет использования наклонного магнитного поля и гибридных наночастиц. Кроме того, доминирование магнитного поля может уменьшить образование энтропии в рассматриваемой системе, что может быть использовано для создания эффективной системы.

Проведено моделирование пространственных режимов естественной конвекции степенной жидкости в полости с дифференциально-обогреваемыми стенками. Проанализировано влияние показателя поведения жидкости на гидродинамику и теплоперенос, а также было оценено развитие процесса с течением времени. Полученные результаты продемонстрировали формирование вихря внутри полости, который характеризует развитие восходящего потока вблизи нагреваемой стенки и нисходящего потока вблизи охлаждающей стенки. При этом следует отметить, что с ростом показателя поведения жидкости плотность изотерм уменьшается, что соответствует ослаблению конвективного течения.

Численно исследованы режимы конвективно-радиационного теплопереноса во вращающейся кубической полости с плоским источником на нижней стенке. Проведен анализ влияния геометрического параметра (сравнение с результатами плоского приближения), характера тепловыделения (граничные условия первого и второго рода), а также интенсивности теплообмена и свойств рабочей среды на структуру течения и теплоперенос внутри рассматриваемого объекта. Показано, что увеличение скорости вращения полости снижает интенсивность теплообмена, а при высоких значениях числа Тейлора среда, заполняющая полость, вращается вместе со стенками, и основными механизмами теплообмена становятся теплопроводность и излучение. В этом случае для интенсификации теплообмена возможно использовать теплообмен излучением с применением поверхностей, обладающих высокой излучательной способностью. Показано, что для случая источника тепловой энергии, рассмотренной конфигурации и вытянутого вдоль оси вращения, изменение расстояния между передней и задней стенкой не приводит к значительным изменениям характера течения, а отражается в интенсификации теплообмена.

Проведено математическое моделирование охлаждения тепловыделяющего элемента с пластинчато-ребристым радиатором с использованием пакета OpenFOAM. Проведена оценка влияния степени черноты поверхностей на интенсивность теплоотвода от источника тепловыделения. Установлено, что влияние излучения на рассматриваемые процессы переноса тепла незначительно. В то же время для случая естественной конвекции изменение степени черноты приводило бы к более существенному охлаждению тепловыделяющего элемента.

Разработан численный алгоритм для решения задачи плавления материала в неоднородной пористой вставке. Численно проанализировано влияние неравномерно распределенной пористости металлической пены на процессы плавления и затвердевания материала с изменяемым фазовым состоянием. Полученные данные позволили заключить, что модели с вертикальными слоями разной пористости показывают наилучшие результаты, что наиболее заметно при достижении объемной доли расплава $V_{liq} = 1$. В случае сохранения градиента пористости, неравномерная теплопроводность модели приводит к наиболее оптимальному режиму конвективной циркуляции расплава, что обеспечивает постоянный приток охлажденной жидкости к поверхности источника и интенсивное охлаждение, как во время интенсивного плавления, так и после.

Результаты проведенных исследований опубликованы статьи в изданиях (Q1 и Q2), индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, а также опубликованы тезисы конференций. Подготовлены и направлены на государственную регистрацию программы для ЭВМ. Полученные фундаментальные результаты были представлены на международных и всероссийских конференциях.