

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Мирошниченко Игоря Валерьевича “Турбулентные режимы сопряженной термогравитационной конвекции и теплового излучения в областях с локальными источниками энергии”, представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Диссертация посвящена разработке и валидации численных моделей процессов конвективно-радиационного тепломассопереноса внутри замкнутых областей с локальными источниками тепловыделения и анализу влияния поверхностного теплового излучения на естественно-конвекционный теплообмен для улучшения понимания сложных теплообменных процессов, протекающих в энергетических и технологических сооружениях разного рода. В настоящее время, благодаря развитию методов математического моделирования, совершенствованию вычислительной техники, а также методов визуализации и измерения экспериментальных данных стремительно возрастает количество публикуемых работ, посвященных исследованию турбулентной естественной конвекции в замкнутых областях. Однако, сложный теплообмен, сочетающий механизмы конвекции, кондукции и излучения остаётся малоизученным. Между тем именно такой сложный режим теплообмена характерен для отапливаемых зданий и сооружений, потребляющих в условиях России значительную долю энергоресурсов, а также для процессов охлаждения блоков и узлов радиоэлектронной аппаратуры. Таким образом, диссертационную работу Мирошниченко И.В., обосновывающую необходимость разработки численных моделей таких теплообменных процессов, представляющую их детальное описание, результаты верификации и применения, а также результаты вычисления влияния параметров источника, степени черноты, числа Рэлея и угла наклона на характеристики теплообмена, позволяющие повысить эффективность охлаждения блоков и узлов радиоэлектронной аппаратуры и тепловой защиты зданий и сооружений, следует признать актуальной.

В первой главе даётся развёрнутый анализ современного состояния исследований турбулентного сопряженного конвективно-радиационного тепломассопереноса в замкнутых областях. Отмечено малое количество работ в открытой печати, посвященных совместному анализу конвекции, кондукции и излучения при наличии локальных источников тепловыделения.

Во второй главе приведены физическая и математическая модели исследуемого процесса в замкнутых двумерных областях. В основу математической модели положена система уравнений Навье-Стокса осредненных по Рейнольдсу в безразмерных преобразованных переменных “функция тока – завихренность – температура”. Численное решение получено методом конечных разностей. К достижениям автора здесь относится внедрение эффективной процедуры сгущения сетки к стенкам,

использованного для разрешения вязкого пограничного слоя. Проводится валидация численной модели путём сравнения с экспериментальными и численными результатами других авторов. Выполнены исследования основных закономерностей конвективно-радиационного теплопереноса. Получены результаты анализа влияния степени черноты внутренних поверхностей стенок, относительного коэффициента теплопроводности, размеров источника тепловыделения и ориентации вектора силы тяжести на вихревую структуру течения, профили компонент скорости и температуры, конвективное и радиационное числа Нуссельта.

Следуя избранной системе физических допущений, автор в третьей главе приводит развитие модели для замкнутых трёхмерных областей на основе системы дифференциальных уравнений в естественных безразмерных переменных “скорость – давление – температура”. Численное решение трёхмерной задачи получено методом контрольного объема. Следует отметить, что решение данной трёхмерной задачи получено впервые. Проведена верификация разработанных математических моделей на известных бенчмарках. Получены результаты моделирования нестационарных процессов тепломассообмена при запуске тепловой нагрузки, проанализировано влияние степени черноты внутренних стенок на осцилляции конвективного и радиационного чисел Нуссельта и изменение их средних значений.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Диссертантом изучены и критически анализируются известные достижения и методические положения, представленные в литературных источниках по конвективному и радиационному теплопереносу и методам их моделирования. Список использованной литературы содержит 128 наименований. Автор достаточно корректно использует известные научные методы обоснования полученных теоретических результатов, выводов и рекомендаций. Результаты и выводы диссертанта обоснованы и достоверны, они подтверждаются результатами верификации используемых численных моделей для расчёта нестационарных турбулентных режимов сопряженного конвективно-радиационного теплопереноса в замкнутых областях с локальными источниками тепловыделения в двумерном и трёхмерном приближениях; а также применением систем дифференциальных уравнений и граничных условий, полученных строгим математическим путём из фундаментальных физических законов и общепринятых приближений.

Оценка новизны и достоверности. Достоинством и новизной диссертационной работы являются новые численные модели для расчёта нестационарных турбулентных режимов сопряженного конвективно-радиационного теплопереноса в замкнутых областях с локальными источниками тепловыделения в двумерном и трёхмерном приближениях; расчетно-параметрический анализ влияния размера и положения тепловыделяющих элементов, а также теплофизических характеристик материала ограждающих конструкций на структуру течения и теплоперенос в

рассматриваемой области. Предлагаемая в работе численная модель процессов сопряженного теплопереноса и ее верификация учитывают имеющийся опыт. Созданный автором вычислительный инструмент протестирован на известных примерах. Существенной новизной и практической значимостью обладают полученные автором данные по влиянию теплового поверхностного излучения на естественно-конвективный теплообмен в замкнутых областях с локальными источниками энергии.

Достоверность полученных результатов подтверждается:

- применением стандартных систем дифференциальных уравнений для описание процессов конвективно-радиационного теплообмена;
- выбором порядка конечно-разностных схем по пространству и времени в соответствии с порядком решаемых дифференциальных уравнений;
- соответствием результатов численных расчётов на данной модели с экспериментальными и численными результатами других авторов, в том числе профиля температур и вертикальной компоненты скорости в замкнутой квадратной полости с горизонтальными адиабатическими и вертикальными изотермическими стенками.

Основные положения диссертации нашли отражение в 35 публикациях, из них 12 в журналах, рекомендованных ВАК для кандидатских диссертаций, 19 публикации в материалах международных и всероссийских конференций. Получены четыре свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Замечания по диссертационной работе в целом:

1. Следует рассмотреть изменение плотности и вязкости жидкости. Нужны численные оценки изменения этих величин с учётом полученных в расчёте изменений температуры и давления.

2. Рекомендуются вместо использованного в работе метода верхней релаксации применять более быстрые и при этом не слишком требовательные к памяти методы решения разреженных систем линейных уравнений, например, методы на основе сопряженных градиентов.

3. Названия пунктов 2.13 и 3.5, содержащих результаты исследования для двумерной и трёхмерной задачи соответственно должны содержать слово “результаты”, а не быть уточненной версией названий содержащих их глав 2 и 3.

4. Список обозначений, приведенный на стр. 27 избыточен по отношению к вышеприведенным уравнениям (1-8).

5. Имеются ошибки в ссылках на источники литературы на страницах 41, 42, и 93, а также отсутствуют ссылки на работы [51-53, 118, 119] из списка использованных источников.

6. Термин “характерные границы” не является общепринятым и нуждается в пояснении или переформулировке.

Отмеченные недостатки не влияют на главные результаты диссертации.

Заключение. Диссертация является завершенным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне. В работе приведены научные результаты, позволяющие её квалифицировать как разработку научно-обоснованных теоретических решений, которые могут быть использованы при проектировании пассивного охлаждения блоков и узлов радиоэлектронной аппаратуры, а также при строительстве сооружений жилого и промышленного назначения в целях повышения их энергоэффективности. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для совершенствования численных моделей турбулентных режимов сопряженного конвективно-радиационного теплообмена внутри замкнутых областей с локальными источниками энергии. Работа базируется на достаточном числе расчетных результатов. Она грамотно, доходчиво и аккуратно оформлена. Выводы и рекомендации обоснованы.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям пунктом 9 действующего Положения о присуждении ученых степеней, а её автор, Мирошниченко Игорь Валерьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Официальный оппонент
старший научный сотрудник
Отдела теплосиловых систем № 70
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института систем энергетики
им. Л.А. Мелентьева Сибирского
отделения Российской академии наук,
кандидат физико-математических наук
(05.13.18 – Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ)

Хан

Хан Полина Вениаминовна
e-mail: polinakhan@gmail.com

05.12.2018

664033, Иркутск, ул. Лермонтова д.130, ИСЭМ
тел. (3852)500-646
info@isem.irk.ru; http://isem.irk.ru

