

Сведения о выполненных работах
в период с 01.07.2020 г. по 30.06.2021 г.

по проекту **«Математическое моделирование сложного теплообмена в
строительных сооружениях»**,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 19-79-00296

Руководитель: канд. физ.-мат. наук Мирошниченко Игорь Валерьевич

В результате реализации второго этапа проекта были разработаны современные математические модели, описывающих нестационарные режимы переноса массы, импульса и энергии в турбулентном приближении в помещениях при наличии излучающих источников тепловыделения. Для эффективной реализации созданных математических моделей были сформулированы методы решения, созданы численные алгоритмы и программные коды на языке C++. Проведена верификация разработанных математических моделей и численных алгоритмов на известных экспериментальных данных и модельных задачах. Проведен анализ влияния сеточных параметров на структуру течения и теплообмен в рассматриваемых объектах. Результаты сравнения полученных результатов с численными и экспериментальными данными других авторов показали достаточно хорошее согласие. В рамках проекта также использовались возможности открытого пакета OpenFOAM.

Проведено численное моделирование конвективно-радиационного теплопереноса в строительных сооружениях с учетом всего спектра осложняющих факторов (нестационарность, теплофизические свойства ограждающих конструкций, размеры и интенсивность излучающих элементов, оптические свойства среды и др.). В рамках проекта реализованы краевые задачи теплообмена в помещении с панорамным остеклением при наличии источника энергии (система «теплый пол»), а также при наличии излучающего источника. Разработана также математическая модель, описывающая работу тепловыделяющих элементов с учетом попеременного включения и выключения радиатора. В разработанной модели работа тепловыделяющего элемента может зависеть от температуры окружающей среды или от температуры в помещении. В данной постановке проведен анализ влияния фактора нестационарности и излучения на структуру течения и теплообмен в области решения.

Численные исследования процессов тепломассопереноса в строительных сооружениях проводились в безразмерных переменных. Приведение системы уравнений к безразмерному виду дает нам возможность изучить рассматриваемые физические явления вне зависимости от выбора системы единиц, а также облегчает обобщение и сопоставление результатов исследования. Естественным образом при численном моделировании не составляет труда перейти от безразмерных переменных к размерным.

В результате проведенных исследований установлено, что рост степени черноты источника тепловыделения не оказывает существенного влияния на гидродинамику в помещении, за исключением слабого снижения интенсивности конвективного течения. Увеличение степени черноты поверхностей источника тепловыделения приводит к различным эффектам для среднего радиационного и конвективного чисел Нуссельта. Перенос энергии за счет излучения значительно уменьшается при снижении значений степени черноты поверхностей. Показано, что значение среднего конвективного числа Нуссельта можно снизить на 30-40 % увеличивая степень черноты поверхностей источника тепловыделения.

Рост значений числа Остроградского Os приводит к увеличению объемной плотности теплового потока. Очевидно, что увеличение Os увеличивает среднюю температуру внутри области решения. В связи с этим выбор оптимальной мощности нагревательного элемента является одной из важных задач. В результате исследований показано, что увеличение числа Остроградского приводит к росту всех рассматриваемых характеристик (средняя температура в области решения, средняя температура в источнике тепловыделения, максимальное значение функции тока и пр.) независимо от значений других определяющих параметров.

При исследовании процессов тепломассопереноса в строительных сооружениях, излучение может играть существенную роль даже в условиях относительно низких температур (температуры порядка 20-70 градусов). Кроме того показано, что радиационный теплообмен в крупногабаритных областях должен быть рассчитан с достаточной точностью учитывая конвективные эффекты.

Для исследования гидродинамики и теплопереноса в исследуемой области, моделирующей помещение с системой обогрева «теплый пол», было изучено также влияние размера и положения нагревательного элемента. Детально исследовано влияние размера источника тепловыделения на значения исследуемых параметров (средняя температура внутри помещения, максимальное абсолютное значение функции тока, среднее полное число Нуссельта).