

Сведения о выполненных работах и полученных научных результатах
в период с 01.08.2022 г. по 30.06.2023 г.

по проекту **«Исследование влияния конвективных и радиационных явлений и фазовых переходов на теплофизику строительных элементов»**,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 22-79-10341

Руководитель: Бондарева Надежда Сергеевна, канд. физ.-мат. наук

В результате реализации первого этапа проекта был решен ряд сопряженных задач тепломассопереноса в элементах относящихся к строительным конструкциям и системам накопления и хранения энергии. Для решения задач были разработаны и применены вычислительные модели, описывающие нестационарные режимы переноса массы, количества движения и энергии в замкнутых системах при наличии тепловых потоков, источников солнечного излучения и теплообмена с воздушной окружающей средой. Математические модели были сформулированы в преобразованных переменных «функция тока – завихренность – температура». Были проведены исследования влияния параметров строительного блока, таких как теплофизические свойства и размеры системы, форма воздушной наклонной вставки, наличие вставок материалов с изменяемым фазовым состоянием на интенсивность теплопереноса и ламинарную естественную конвекцию в полостях. Была проанализирована интенсификация процессов плавления в замкнутых областях путем добавления металлической пористой вставки и наночастиц. Математическая модель пористой среды была сформулирована с использованием приближения Дарси–Бринкмана и локально-равновесной тепловой модели.

Была решена краевая задача сопряженного тепломассопереноса в пустотелом строительном элементе с наклонной перегородкой. В дифференциально-нагретой полости с наклонными границами рассматривалась ламинарная естественная конвекция, как главный механизм теплопереноса. Было показано, что наличие теплопроводной перегородки оказывает существенное влияние на гидродинамические распределения: в двух полостях, разделенных теплопроводной стенкой. Анализ влияния теплопроводности разделяющей стенки при моделировании процессов конвективного теплопереноса показал, что менее теплопроводная перегородка замедляет процесс установления течения. Более теплопроводные материалы показали повышение интегрального коэффициента теплоотдачи. Показано, что использование теплопроводной перегородки из низкотеплопроводных материалов в пустотелом строительном элементе позволяет снизить интенсивность конвективного теплообмена, тем самым увеличивая термическое сопротивление стен зданий.

Проведено численное моделирование процессов сложного теплообмена в замкнутой квадратной полости при наличии нагревательного элемента постоянного объёмного тепловыделения и теплопроводных ограждающих стенок в широком диапазоне размеров нагревателя и чисел Рэлея. В результате исследования было

получено, что изменение длины источника несущественно влияет на эффективность теплоотдачи с его поверхности. Также были установлены зависимости относительной длины нагревательного элемента и средней температуры газовой полости – наблюдается монотонный рост на 65–70 %. Установлена зависимость относительной длины нагревательного элемента и его средней температуры – выявлен немонотонный рост со снижением темпа увеличения средней температуры при удлинении источника на 50 %. С ростом числа Рэлея значительно увеличивается время установления тепловых процессов. При этом влияние чисел Рэлея на средние числа Нуссельта в момент установления несущественно.

В рамках плана проекта проведен численный анализ процессов многостадийного плавления и затвердевания парафинов в кирпичном блоке при нестационарных внешних тепловых условиях. Для решения задачи была сформулирована математическая модель сопряженной естественной конвекции с учетом наличия нескольких подвижных границ. На внешних границах были реализованы условия воздушного конвективного теплообмена при нестационарной температуре внешней среды. В качестве материалов с изменяемым фазовым состоянием были взяты: RT18, RT22 и н-октадекан. Оценено влияние взаимного расположения материалов с разными температурами плавления в кирпичном блоке на теплообмен с окружающей средой и помещением в различных тепловых условиях. Было показано, что увеличение количества ячеек парафина при сохранении объема способствует более равномерному прогреванию кирпича, а также увеличивает площадь поверхности и соответственно ускоряет процесс фазовых переходов. Естественная конвекция в возникающем расплаве может оказывать существенное влияние на теплоперенос. Разница температур по высоте кирпичного блока может достигать 0.58 градусов. Поглощение тепловой энергии за счет плавления позволяет сдерживать нагрев области в течение долгого времени, в результате чего температура вблизи материала сохраняется на уровне температуры плавления. Время эффективного охлаждения конструкции зависит от объема материала, внешней температуры а также коэффициента теплообмена. В результате анализа было показано, что расположение парафиновых вставок с разными точками плавления существенно влияет на тепловое распределение в области.

Преимущество многостадийного плавления состоит в расширении диапазона применений в плане погодных условий и поддерживаемых тепловых условий зданий.

В результате численного моделирования было оценено влияние пористости металлической пены и ее сочетания с наночастицами на интенсификацию теплообмена в лауриновой кислоте при нагревании с постоянным тепловым потоком. В результате анализа температурных и гидродинамических распределений было показано, что металлическая пена с низкой пористостью позволяет существенно снижать температуру за счет существенного повышения теплопроводности среды, однако в зависимости от структурных свойств металлической пены при высоком нагрузках дифференциация локальных температур может достигать 30 градусов при изменении пористости. При этом добавление наночастиц оказывает несущественное

влияние на усиление теплопереноса и в некоторых случаях повышает температуру нагреваемой поверхности.

Разработана двумерная вычислительная модель сопряженной ламинарной естественной конвекции в условиях внешнего источника излучения и конвективного теплообмена с окружающей средой. Оценено влияние параметра ослабления и интенсивности солнечного излучения на гидродинамику в полости при различных числах Рэлея. При рассмотрении нестационарных режимов естественной конвекции был установлен рост температуры внутри твердой стенки в верхней ее части в связи с влиянием радиационной составляющей теплообмена.