

**Кыргызский государственный технический университет имени
И. Раззакова
Кыргызско-Российский Славянский университет имени Б. Ельцина**

Диссертационный совет Д 01.22.652

На правах рукописи
УДК 519.63

КАЛБЕКОВА МАХБУРАТ ЖАМШИТБЕКОВНА

**«ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНЫХ ТЕЧЕНИЙ С
УЧЕТОМ ЭФФЕКТА ПЛАВУЧЕСТИ»**

Специальность 01.02.05. –Механика жидкости, газа и плазмы

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Бишкек– 2023

Диссертационная работа выполнена на кафедре Общая физика и Методика преподавания физики Ошского государственного университета

**Научный
руководитель:**

Курбаналиев Абдикерим Ырысбаевич, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой естественных наук и математики Ошского государственного университета

**Официальные
оппоненты:**

Бекетаева Асель Орозалиевна, доктор физико-математических наук, доцент кафедры “Математическое и компьютерное моделирование” КазНУ им. аль-Фараби

Байболотов Бакытбек Андабекович, кандидат физико-математических наук., заведующий кафедрой Информационные системы и технологий Ысык-Кульского государственного университета им. К. Тыныстанова

Ведущая организация:

НАО "Казахский национальный исследовательский технический университет им.К.И.Сатпаева", Республика Казакстан, г. Алматы, 050043, ул. Сатпаева, 22.

Защита состоится «29» сентября 2023 года в 14:00 часов на заседании диссертационного Совета Д 01.22.652 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук при Кыргызском Государственном техническом университете им. И. Раззакова и Кыргызско-Российском Славянском университете им. Б.Ельцина по адресу: 720044, Кыргызская Республика, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова, 66, КГТУ им. И. Раззакова, малый актовый зал (МАЗ, аудитория 1/257).

Идентификатор защиты: <https://vc.vak.kg/b/012-scz-oh6-lwn>

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках Кыргызского Государственного технического университета им. И. Раззакова по адресу: 720044, Кыргызская Республика, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова, 66 и Кыргызско-Российского Славянского университета им. Б.Ельцина по адресу: 720000, Кыргызская Республика, г. Бишкек, ул. Киевская 44 и на сайте www.vak.kg.

Автореферат разослан «30» августа 2023г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат физико-математических
наук, доцент



Т.Т.Кожошов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Актуальность темы диссертации. Вследствие растущего интереса к современным проблемам экологии повышенное внимание уделяется исследованию механизмов тепло - и массопереноса в окружающей среде.

Течения в водных средах и пограничном слое атмосферы часто стратифицированы по плотности (температуре), и плавучесть оказывает существенное воздействие на распространение тепла и массы. Кроме проблем окружающей среды, при решении практических задач конструирования индустриального тепло- и массообменного оборудования, где значительными являются эффекты плавучести, оказывается необходимым понимание и объяснение влияния этих эффектов.

Проблемы распространения тепло - и массопереноса в окружающей среде рассмотрены в работах Патанкар С.В. (1984), Кутателадзе С.С. (1962), Белов И.А., Исаев С.А. (2001), Патанкар С. В. (2003), Быстров Ю.А., Исаев С.А., Кудрявцев Н.А., Леонтьев А.И. (2005), Горбунов А. А., Никитин С. А., Полежаев В. И. (2007).

Естественный конвекционный поток внутри замкнутых помещений привлек внимание многих исследователей из-за его потенциала для моделирования многочисленных приложений, представляющих интерес для инженеров, таких как охлаждение электронных устройств, поток воздуха в зданиях, теплопередача в солнечных коллекторах и другие.

Связь темы диссертации с научными программами или научно-исследовательскими работами. Работа выполнена на основе личной инициативы соискателя.

Цель исследования заключается в усовершенствовании модели, способной моделировать неизотермические турбулентные течения газа с учётом эффектов плавучести и радиационного переноса тепла в рамках пакета OpenFOAM.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- Моделирование процессов плавучести, вентиляции и радиационного переноса тепла путем проверки возможностей используемого пакета.
- Моделирование турбулентных течений в кавернах с разным аспектным отношением с учетом эффекта плавучести.
- Моделирование турбулентных течений в модели комнаты с учетом радиационного переноса тепла.
- Изучение влияния входной границы на тепловой комфорт в помещении кафедры Общей физики и Методики преподавания физики с учетом естественной конвекции и вентиляции.

Научная новизна полученных результатов работы.

- Установлены удовлетворительные согласия расчетных данных профилей температуры и вертикальной составляющей скорости с экспериментом при моделировании каверны с аспектным отношением 28.6:1. Однако увеличение числа Рэлея от $Ra=8.6 \times 10^5$ до $Ra=1.43 \times 10^6$ приводит к ухудшению точности согласия на 0.6%.
- Показано, что моделирование конвекции в каверне с аспектным отношением 5:1 сравнение профилей средних характеристик течения с экспериментом около холодной и горячей стенок дает максимальные ошибки отклонения в пределах 1.9 %, 3.5 %, 2.6 % и 1.3 %, 2.2 %, 1.7 % соответственно.
- Численно обосновано практическое применение обогрева модели помещения через пол. Обнаружено образование двух симметричных вихрей относительно средней длины модели. Вращающихся в противоположно направлениях с центрами расположения в точке с координатами ($x = 3.69$, $y = 3$, $z = 1$) и ($x = 6.31$, $y = 3$, $z = 1$).
- Впервые проведен численный расчет теплового комфорта в помещении кафедры Общей физики и МПФ. Обнаружено, что уменьшение вертикальной координаты входной границы до $z=0.5$ м приводит к увеличению возраста воздуха в точке ($x = 2$, $y = 1.5$, $z = 1$ м) более чем в два раза.

Практическая значимость полученных результатов.

Полученные результаты данной диссертационной работы вносят определенный вклад в метод математического моделирования турбулентных внутренних течений с учетом эффектов плавучести, вентиляции и радиационного переноса тепла. Особо следует подчеркнуть подробное документирование всего алгоритма моделирования использованного открытого пакета OpenFOAM на различных задачах тепломассообмена и радиации.

Также можно их использовать в учебном процессе в качестве специального курса для студентов старших курсов, магистрантов и аспирантов соответствующих специальностей.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

- Результаты моделирования с улучшенным вариантом стандартного решателя buoyantSimpleFoam для моделирования турбулентных течений газа с учетом процессов вентиляции и радиационного переноса тепла.
- Разработанный метод оценки параметров теплового режима помещения на основе распределенных параметров теплового состояния помещения – полей скорости и температуры.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечиваются корректной постановкой задачи, обоснованным

использованием методов математического моделирования, достаточным объемом проведенных вычислительных экспериментов и сравнением полученных численных результатов с соответствующими экспериментальными и расчетными данными других авторов.

Личный вклад соискателя.

Диссертация является результатом самостоятельных исследований, выполненных автором. Личный вклад автора состоит в постановке и определении цели работы, выборе методов достижения поставленной цели, проведении исследований, анализе полученных результатов и формулировке выводов, публикации статей. В обсуждении результатов принимали участие научный руководитель д.ф.–м.н., доцент Курбаналиев А. Ы., д.ф.–м.н., профессор Ташполотов И., д.ф.–м.н., профессор Сопуев А.

Апробация результатов исследования.

Полученные в ходе выполнения данной диссертационной работы результаты докладывались на следующих международных, республиканских конференциях и семинарах:

- Международная научная конференция «Прикладная механика и инновационные технологии», посвященная 80-летию профессора Абдрахманова С.А., 12 января 2023г, КГТУ им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика.
- III International Scientific Conference MIP: Engineering-III 2021: Modernization, Innovation, Progress: Advanced Technologies in Materials Science, Mechanical and Automation Engineering. 29-30 April 2021, Krasnoyarsk, Russia.
- Международная научная конференция «Информационные технологии и математическое моделирование в науке и горно-техническом образовании», посвященной 80-летию академика Национальной академии наук Кыргызской Республики, профессора, доктора физико-математических наук Жайнакова Аманбека, Кыргызстан, Бишкек, 06-08 октября 2021г.
- XIV, XV Международная Азиатская Школа-семинар «Проблемы оптимизации сложных систем». Пансионат «Отель Евразия», Иссык-Куль, Кыргызская Республика, 20 июля - 31 июля 2018 г., Академгородок, Новосибирск, Россия, 26-30 августа 2019.
- «Актуальные проблемы и перспективы геологии, горного дела и образования» посвященной 80-летию Геологической службы Кыргызской Республики, Бишкек, 2018.
- Республиканская научно-практическая конференция «Физико-технические проблемы в образовании и науке», Ошский технологический университет имени М. М. Адышева, Ош, Кыргызстан, 18-19 мая 2018 года.

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.

Основные результаты исследований опубликованы в 11 научных статьях и 3 авторских свидетельствах, в том числе в научных журналах за пределами Кыргызской Республики, которые входят в базы данных Scopus (2), РИНЦ (3).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения, практических рекомендаций, библиографии и приложений. Работа содержит 135 страниц текста, 61 рисунка, 23 таблиц, 88 библиографических ссылок и 4 приложений.

Работа выполнена в Ошском государственном университете. Автор считает своим приятным долгом выразить благодарность руководителю, д.ф.-м.н., доценту А. Ы. Курбаналиеву, заведующей кафедрой Общей физики и Методики преподавания физики, к.п.н., доценту М. М. Жумановой и ректору Ошского государственного университета, д.ф.-м.н., профессору К. Г. Кожобекову за создание благоприятных условий для выполнения данной работы и всестороннюю поддержку.

На различных конференциях и семинарах автор имел возможность общаться с докторами физико-математических наук, профессорами М. Дж. Джаманбаевым и благодарен им за ряд замечаний и многочисленные и полезные обсуждения.

Автор с благодарностью примет любые пожелания и замечания по электронному адресу mkalbekova@list.ru.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы постановка исследуемой проблемы, цели и задачи исследования, представлены научная новизна и практическая значимость работы. Анализируются современные подходы в моделировании течений несжимаемой жидкости, их преимущества и недостатки. Кратко описаны структура и основное содержание диссертации по главам.

В главе 1 — Обзор литературы проведен обзор литературы по современным методам моделирования турбулентные течения несжимаемых жидкостей с учётом эффекта плавучести в закрытых кавернах. Проведен анализ доступной научной литературы и результатов других авторов.

В главе 2 — Методология и Методы исследования рассмотрены методы дискретизации обобщенного уравнения переноса для обобщенной переменной на основе метода контрольных объемов в рамках пакета OpenFOAM.

Объект исследования: пространственные турбулентные нестационарные внутренние течения с зонами рециркуляции с учетом эффектов плавучести и радиационного переноса тепла.

Предметом исследования является численное исследование влияния эффекта плавучести на эргономику термальной среды помещения.

Математическая модель рассматриваемой нестационарной задачи основана на системе уравнений Навье-Стокса, в которую входят уравнения неразрывности, переноса импульса и энтальпии:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho \mathbf{u})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u}) \quad (2)$$

$$= -\nabla p + \rho \vec{g} \beta (T - T_{ref}) + \nabla \cdot (2\mu_{eff} D(\mathbf{u})) - \nabla \cdot \left(\frac{2}{3} \mu_{eff} (\nabla \cdot \mathbf{u}) \right)$$

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} h) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} k) = \nabla \cdot (\alpha_{eff} \nabla h) + \rho \mathbf{u} \cdot \mathbf{g} + h_R \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \tau) + \nabla(\rho \mathbf{u} \tau) - \nabla \cdot \left(\frac{\rho \mu_{eff}}{\sigma_{eff}} \nabla \tau \right) = 1 \quad (4)$$

Учет турбулентности течения базируется на различных моделях турбулентности, внесенных в пакет OpenFOAM.

В главе 3 – Численное моделирование турбулентных течений с учетом эффекта плавучести приведены результаты собственных исследований.

Задача №1. Критический пересмотр решателя пакета OpenFOAM.

Рассматривается численное моделирование естественной стационарной конвекции в вытянутой по высоте каверне Betts, P.L., Bokhari I.H. (2000). Высота каверны равна $H = 2.18\text{ м}$, ширина $W = 0.076\text{ м}$, а глубина $D = 0.52\text{ м}$ (см. рисунок 3.1).

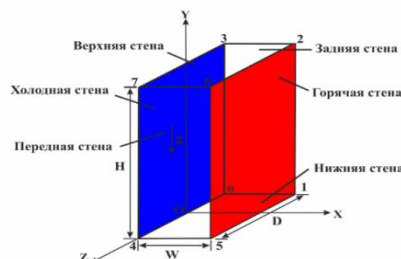


Рисунок 3.1- Схема каверны, вершины расчетной области и система координат

Граничные и начальные условия. Разность температур правой горячей и левой холодной боковых стенок была равна 19.6°C и 39.9°C , что соответствуют рассчитанным по ширине W каверны числам Рэлея, равным $Ra = 8.6 \times 10^5$ и $Ra = 1.43 \times 10^6$.

На стенках каверны для вектора скорости \mathbf{U} задано условие прилипания – noSlip. Для температуры на передней, задней, верхней и нижней стенках заданы условия нулевого градиента по нормали – zeroGradient, обеспечивающее отсутствие теплового потока через эти границы. Во всех расчетах температура холодной стенки была равна 15°C , температура горячей стенки менялась в зависимости от числа Рэлея – при $Ra = 8.6 \times 10^5$ она была равна 34.6°C , а при $Ra = 1.43 \times 10^6$ – 54.9°C .

Для давления на всех 6 шести границах задано условие `fixedFluxPressure`, которое устанавливает градиент давления на заданное значение таким образом, чтобы поток на границе был задан граничным условием скорости. Граничные условия для кинетической энергии турбулентности k и скорость диссипации кинетической энергии турбулентности ω задаются при помощи аппарата пристеночных функций.

Начальное значение поля вектора скорости внутри каверны было равно нулю, так как в начальное время движение воздуха отсутствовало.

Аналогичные граничные условия задаются для случая квадратичной воздушной каверны.

Результаты численных расчетов. На рисунке 3.2а приведен график невязок для стандартного тьюториала при числе Рэлея $Ra=8.6 \times 10^5$. Итерационный процесс с использованием скорректированного тьюториала при заданной точности 1×10^{-4} сходится при числе итераций 2039 (рис. 3.2б) и 2759 (рис. 3.2в) для значений числа Рэлея $Ra=8.6 \times 10^5$ и $Ra=1.43 \times 10^6$ соответственно.

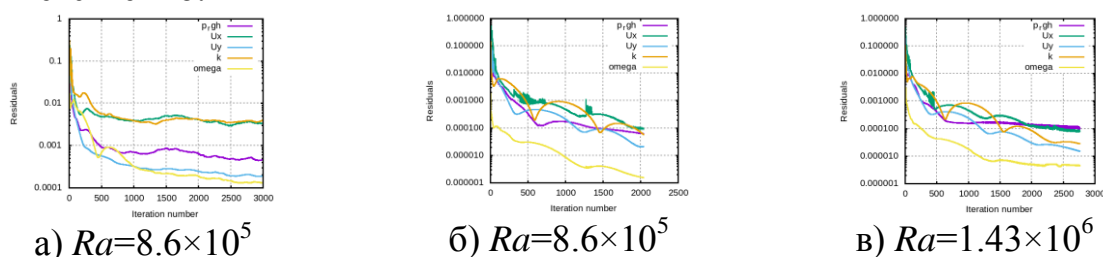


Рисунок 3.2 – Невязки оригинального (а), скорректированного (б, в) решателя при разных числах Рэлея

Значения невязок при скорректированном случае на 2 порядка ниже значений невязок для стандартного тьюториала, что свидетельствует о правильности внесенных изменений.

Сравнение численных результатов с соответствующими экспериментальными данными представлены на рисунках 3.3 - 3.4. На этих и последующих рисунках маркеры представляют соответствующие экспериментальные данные, а сплошная линия – численные результаты настоящей диссертационной работы. Цифры на рисунках обозначают номера рэперных точек по высоте, в плоскости которых были измерены горизонтальные профили температуры и скорости.

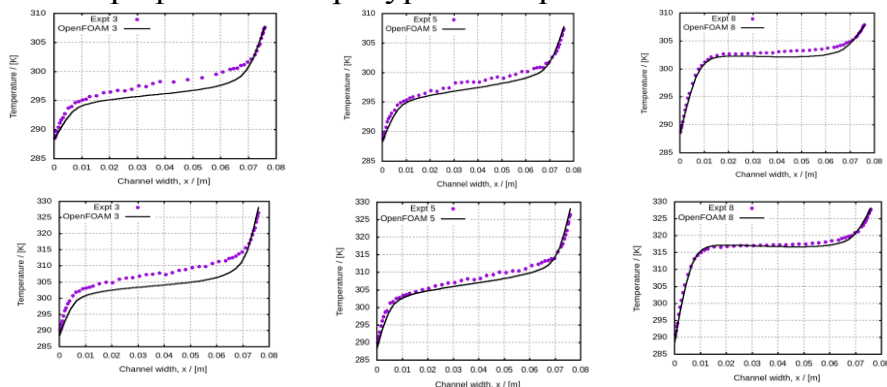


Рисунок 3.3 - Профили средней температуры для

$Ra=8.6 \times 10^5$ (верхняя строка) и $Ra=1.43 \times 10^6$ (нижняя)

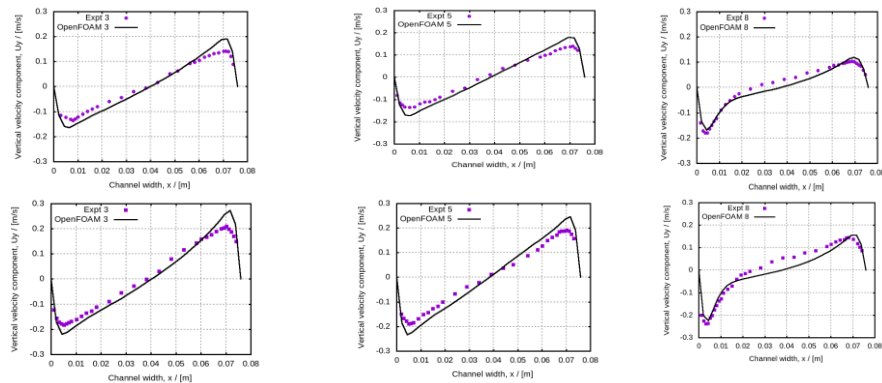


Рисунок 3.4 - Профили вертикальной средней скорости U_y для $Ra=8.6 \times 10^5$ (слева) и $Ra=1.43 \times 10^6$ (справа)

Экспериментальные измерения средней температуры и вертикальной составляющей U_y средней скорости были проведены в плоскости $z=0$. В целом, можно сказать, что совпадение между численными и экспериментальными данными следует признать хорошими.

Сравнение профилей температуры и вертикальной составляющей средней скорости показывает, что соответствие между экспериментом и численным расчетом ухудшается в случае большего числа Рэлея $Ra=1.43 \times 10^6$.

На следующем рисунке 3.5аб приведены численные результаты Seyed Ali Omranian (2007) для числа Рэлея $Ra=1.43 \times 10^6$ по средней температуре и сравнение с соответствующими экспериментальными данными. Погрешность при $y/H=0.3$ (рис.3.5а) и $y/H=0.5$ (рис.3.5б) составила 25% и 35.4% соответственно. При наших расчетах соответствующие погрешности были равны 1% и 1.6%.

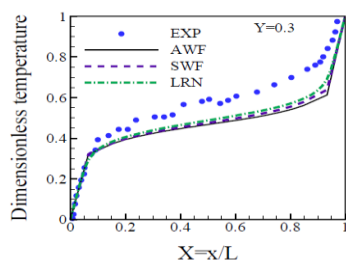


Рисунок 3.5а - Профили средней температуры $y/H=0.3$

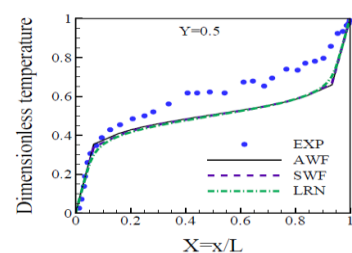


Рисунок 3.5б- Профили средней температуры для $y/H=0.5$

Задача №2. Моделирование естественной стационарной конвекции в воздушных полостях. Цель данной задачи заключается в оценке возможностей скорректированного тьюториала в задаче моделирования естественной конвекции процесса в полостях с разным аспектным отношением. На рис. 3.6 показаны каверна с аспектным отношением сторон 5:1 Cheesewright R., King K.J. and Ziai S.(1986) и квадратная каверна со стороной 0.75м F. Ampofo and T. G. Karayiannis (2003).

Граничные и начальные условия. В качестве граничных условий на левой и правой стенках первой полости задаются фиксированные значения температуры $t_h = 66.8^\circ\text{C}$ и $t_c = 21^\circ\text{C}$ соответственно (см. рисунке 3.6a). На верхней и нижней стенках каверна задается условие адиабатичности.

Рисунок 3.6 - Прямоугольная и квадратная каверны

Здесь и во всех последующих задачах, граничные и начальные условия для остальных величин, методы дискретизации и решения аналогичны предыдущей задаче.

Результаты и обсуждение. На рисунках 3.13-3.15 приведено сравнение численных результатов, полученных с помощью RNG k-ε модели турбулентности с экспериментальными данными.

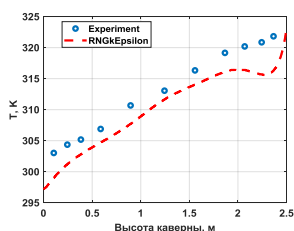
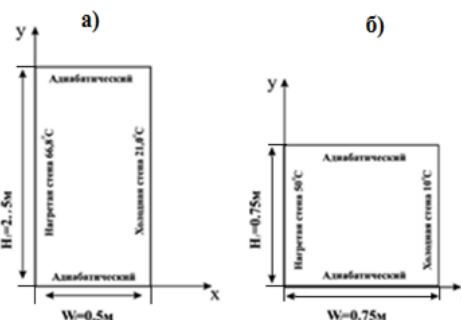


Рисунок 3.13 - Сравнение вертикального профиля температуры

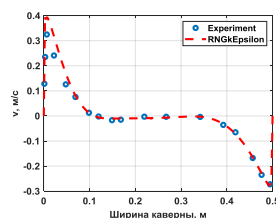


Рисунок 3.14 - Сравнение горизонтального профиля u

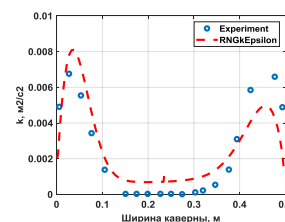


Рисунок 3.15 - Сравнение горизонтального профиля k

Сравнение вертикального профиля температуры вдоль линии $x=0.25\text{m}$ (на средней ширине каверны, рисунок 3.13), показывает, что, в целом, RNGk-ε модель турбулентности удовлетворительно воспроизводит характер изменения экспериментальных данных, включая характерный изгиб профиля температуры около верхней стенки каверны.

Как видно из рисунка 3.14, численные значения вертикальной скорости вдоль горизонтальной линии $y=1.25\text{m}$ (средняя высота каверны) достаточно хорошо совпадает с экспериментальными данными. Если около холодной стенки профиль численной вертикальной скорости с высокой точностью совпадает с экспериментом, то близи горячей стенки численные значения вертикальной скорости превышает соответствующего экспериментального значения. Значение кинетической энергии турбулентности около горячей стенки завышена, а около холодной стенки занижена по сравнению с экспериментом (см. рис. 3.15).

Как утверждается в самой экспериментальной работе Cheesewright R., King K. J. and Ziai S. (1986) из-за недостаточной теплоизоляции верхней и нижней стенок в эксперименте были обнаружены асимметричные данные о теплопередаче через горячую и холодную стенки каверны. Результаты

работы Yingchun Li, (2014) по моделированию этой задачи в рамках коммерческого пакета Ansys CFX приведены на рисунке 3.16-3.18.

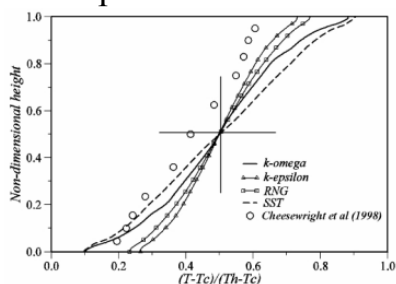


Рисунок 3.16 – Профиль температуры на средней ширине по высоте каверны

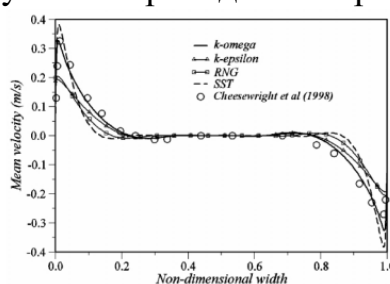


Рисунок 3.17 - Профиль вертикальной скорости U_y на средней высоте по ширине

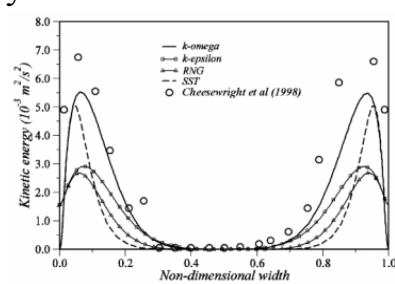


Рисунок 3.18 - Профиль кинетической энергии k на средней высоте по ширине каверны

Сравнение результатов нашей работы по горизонтальным профилям температуры T , вертикальной скорости U_y и кинетической энергии турбулентности k на средней высоте каверны $y=1.25\text{м}$ с соответствующими расчетными данными работы Yingchun Li (2014) приведено в табл. 3.11.

Таблица 3.11.- Сравнения с расчетными данными Yingchun Li (2014)

Результат	Температура		Скорости		Кинетическая энергия турбулентности	
	Горяч.	Холод.	Горяч.	Холод.	Горяч.	Холод.
Наш	1.3%	1.9%	2.2%	3.5%	1.7%	2.6%
Yingchun Li	20%	6.3%	37%	25%	63%	57%

Далее проведено моделирование естественной конвекции в квадратной каверне со стороной 0.75м с соответствующими экспериментальными данными работы F. Ampofo and T. G. Karayiannis (2003).

Общая картина течения при использовании SSG модели турбулентности такая же, как и при использовании LRR модели. Результаты численных решений для квадратной каверны соответствуют результатам для каверны с аспектным отношением 5:1. А именно, вертикальный профиль температуры на средней высоте квадратной каверны занижен по сравнению с экспериментальными данными по всей высоте (см. рис. 3.19а и рис. 3.13). Однако градиенты температур около верхней и нижней стенок отличаются – отсутствует характерный крюк около верхней стенки. Отмеченное выше заниженное значение кинетической энергии турбулентности для каверны с аспектным отношением 5:1 (см. рис. 3.15) имеет место и в случае с квадратной каверны (рисунок 3.19в). Тем не менее, в случае каверны с аспектным отношением 1:1 (квадратная каверна) горизонтальные профили вертикальной скорости (рис. 3.19б) и температуры (рис. 3.19г) как и в случае

каверны с аспектным отношением 5:1 достаточной степени совпадают с экспериментальными данными (см. рис. 3.14).

Задача №3. Моделирование конвективных вихрей Рэлея-Бенарда

Цель этой нестационарной задачи состоит в изучении влияния различных граничных условий для средней температуры на поля средней температуры и средней скорости. Математическое моделирование естественной конвекции в прямоугольной каверне с аспектным отношением 0.5 проведено в рамках пакета OpenFOAM с использованием решателя buoyantPimpleFoam. Заполненная воздухом каверна представляет собой гексаэдр высотой $H = 0.5\text{м}$, шириной $L = 1\text{м}$ глубиной $W = 0.1\text{м}$ (рисунок 3.21).

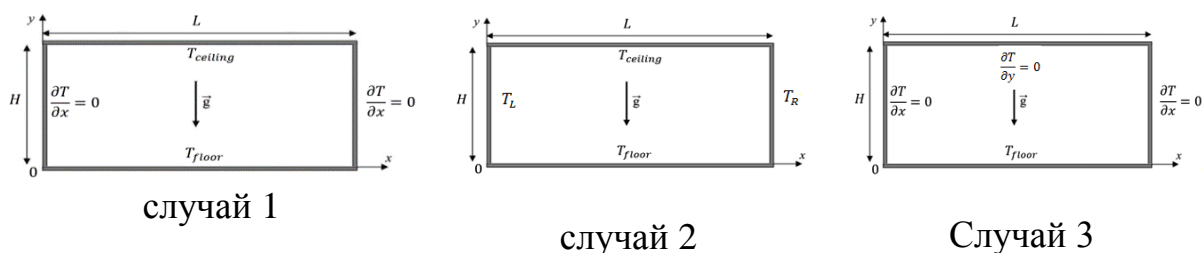


Рисунок 3.21 - Геометрия задачи и три разные граничные условия для температуры

Граничные и начальные условия задачи. Начальное значение поля давления равно 101325 Па, а все компоненты скорости равны нулю в силу отсутствия первоначального движения воздуха в каверне. На всех границах расчетной области значение скорости равны нулю в силу условия прилипания из-за вязкости воздуха. Подогрев каверны осуществляется через нижнюю стенку – пол, температура которой была равна $T_{ceiling} = 30^{\circ}\text{C}$ во всех трёх рассмотренных случаях.

В первом случае на боковых границах для температуры задано условие Неймана – нулевой градиент по нормали к границе. Это условие соответствует физическому условию адиабатичности этой границы – отсутствие потока тепла через границу. А на потолке и полу задано условие Дирихле – фиксированное значение температуры. Во втором случае на всех границах заданы фиксированные значения температуры, а в третьем случае на боковых границах и на потолке задано условие адиабатичности для температуры.

Результаты численных расчетов. На следующих рисунках приведены результаты расчетов для всех трёх использованных граничных условий для температуры случай 1, случай 2, случай 3 для полей температуры, вектора скорости, модуля скорости и изолиний модуля скорости для разных моментов времени.

случай 1

случай 2

случай 3

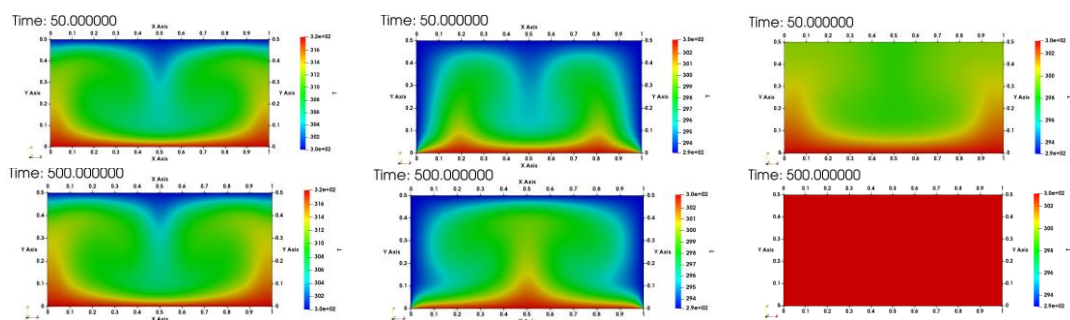


Рисунок 3.22 - Поле температуры для разных моментов времени
случай 1 случай 2 случай 3

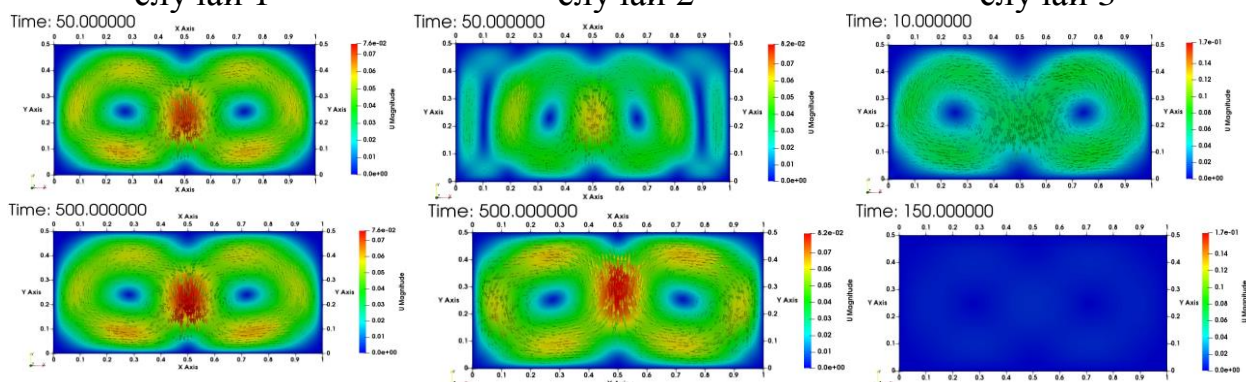


Рисунок 3.23 - Поле вектора скорости для разных моментов времени

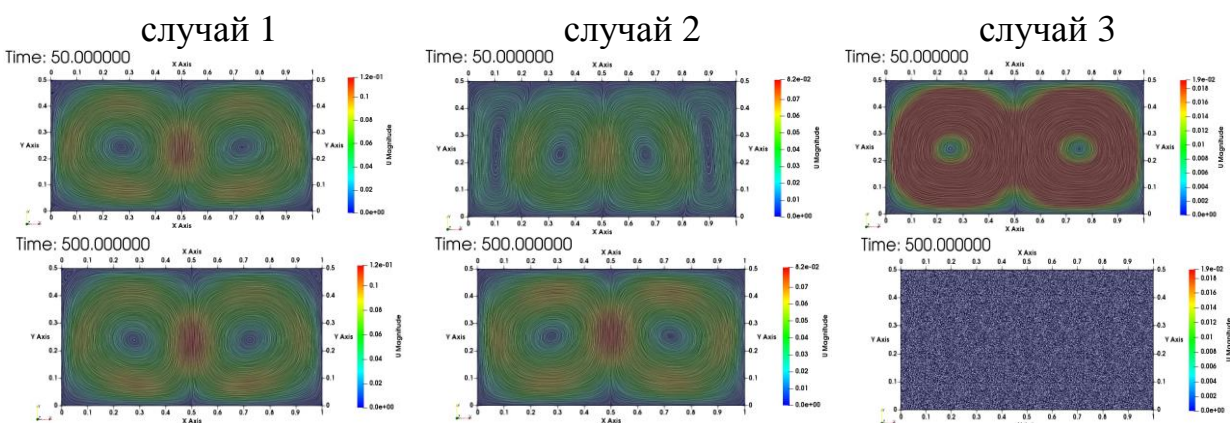


Рисунок 3.24 - Изолинии модуля скорости

Картина течения сильно отличается в зависимости от типа граничных условий для температуры. Обнаружено, что при переходе от случая 1 к случаю 2 происходит перестройка картины течения – большой конвективный вихрь меняет свое направление на обратное. А в случае полностью адиабатического нагрева воздуха в каверне (случай 3) выравнивание поля температуры происходит гораздо раньше по сравнению с двумя первыми случаями (случай 1 и случай 2). Это время составляет порядка 150с, а для двух остальных случаев время выравнивания длится достаточно долго.

Задача №4. Моделирование естественной конвекции в прямоугольной полости с учетом радиационного излучения

Рассматривается задача математического моделирования естественной стационарной конвекции в трёхмерной камере с прямоугольным поперечным сечением. Высота модели комнаты равна $H = 2\text{ м}$, длина $W = 10\text{ м}$, а ширина $D = 6\text{ м}$, а источник тепла имеет следующие размеры $h = 0.5\text{ м}$, $w = 1.0\text{ м}$ и $d = 1.0\text{ м}$ (см. рисунке 3.25). Источник тепла с температурой поверхности 500°К расположен внутри параллелепипеда с координатами $(0.5\ 0.5\ 0)$ $(1.5\ 1.5\ 0.5)$.

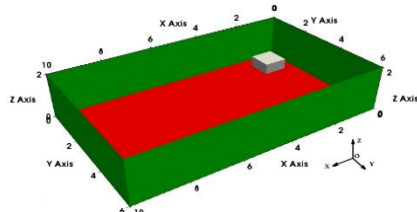


Рисунок 3.25 - Геометрия рассматриваемой задачи и система координат.

Температура потолка и пола равны 300°К , а температура нагревателя, расположенного в верхнем правом углу модели, равна 500°К . На боковых стенках камеры заданное условие адиабатичности для температуры. Граничные условия для остальных переменных аналогичные граничным условиям предыдущей задачи.

На рисунке 3.27 приведено распределение средней температуры на боковых стенках для двух моделей радиационного переноса тепла P1 (рисунке 3.27а) и fvDOM (рисунке 3.27б).

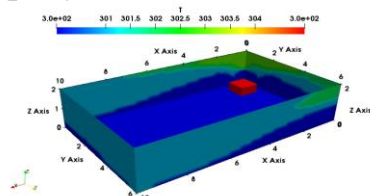


Рисунок 3.27а - Распределение температуры без учета радиации

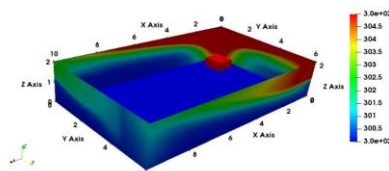


Рисунок 3.27б - Распределение температуры для P1 модели радиации

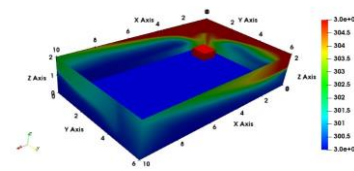


Рисунок 3.27в - Распределение температуры для fvDOM модели радиации

Как видно из рисунка 3.27абв, основное различие между двумя моделями имеет место в ближнем к нагревателю углу. Из рисунков 3.28-3.31 видно, что горячий воздух, движущийся вверх, всего в нескольких сантиметрах от источника тепла температура воздуха падает с 500 К почти до температуры 300 К . По этой причине использовалась шкала от 300 К до 320 К градусов.

В следующей табл. 3.19. приведены сведения о поле температуры в 4 реперных точках P1, P2, P3 и P4 координаты которых равны $(1.0\ 1.0\ 1.0)$, $(9.0\ 1.0\ 1.0)$, $(9.0\ 5.0\ 1.0)$, $(1.0\ 5.0\ 1.0)$ соответственно.

Таблица 3.19. - Численные данные о температуры в 4 реперных точках

Точки		P1	P2	P3	P4
OF6	Без радиации	304.169	300.535	300.56	300.342
	FvDOM модель	308.544	300.52	300.263	301.308
	P1 модель	308.104	300.609	300.319	301.949
OF7	Без радиации	304.169	300.535	300.56	300.342
	FvDOM модель	308.544	300.52	300.263	301.308
	P1 модель	308.104	300.609	300.319	301.949
OF8	Без радиации	304.176	300.545	300.57	300.354
	FvDOM модель	308.548	300.53	300.273	301.317
	P1 модель	308.817	300.396	300.391	300.477
OF9	Без радиации	304.2	300.5	300.6	300.4
	FvDOM модель	308.429	299.97	300.049	299.859
	P1 модель	308.606	300.698	300.492	301.976
OF10	Без радиации	304.155	300.541	300.566	300.352
	FvDOM модель	308.427	299.968	300.047	299.858
	P1 модель	308.607	300.692	300.478	301.977

Из этой таблицы видно, что влияние радиационного переноса на поле температуры заметно около точки P1, где разница в температуре с учетом и без учета радиации составляет около 4К. Соответствующая разница температуры в точке P4 равна около 1К. Радиационный перенос тепла в дальних точках P2 и P3 практически не влияют на поле распределения температуры.

Среды использованных различных версий пакета OpenFOAM с двумя моделями радиационного теплопереноса P1 и fvDOM, самой экономичной, по затраченному на одну итерацию времени оказалась версия OF10, а версия OF8 в случае использования модели fvDOM дает высокое значение времени на одну итерацию 1.202 с.

Характерной особенностью рассмотренного случая является то, что существенное повышение температуры в модели комнаты имеет место около нагревателя. Температура в остальной части комнаты практически не меняется. Далее, рассмотрен случай когда подогрев комнаты осуществляется через пол, размер которого составляет $10 \times 6 \text{ м}^2$. Температура пола была равна 325К.

В таком случае распределения полей температуры и скорости сильно отличаются от рассмотренного выше случая. Сказанное хорошо видно из следующих рисунков 3.32-3.35, где представлены поля температуры и модуля скорости в плоскости $y=3\text{м}$.

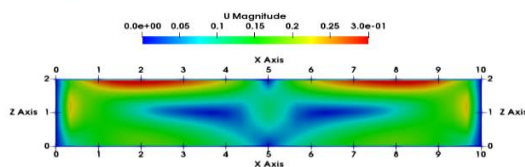


Рисунок 3.34 - Поле модуля скорости

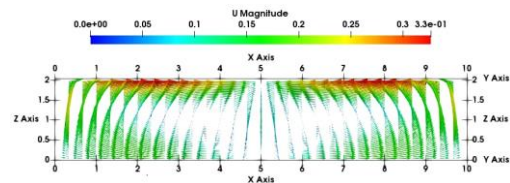


Рисунок 3.35 - Поле вектора скорости

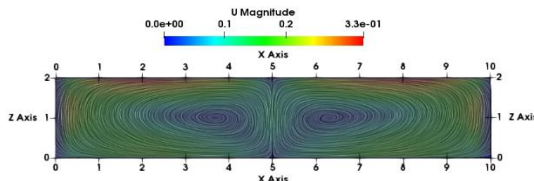


Рисунок 3.36 - Изолинии модуля скорости

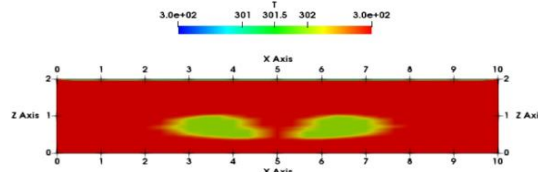


Рисунок 3.37 - Поле температуры

Сразу можно отметить образование двух симметричных, относительно линии $x=5\text{м}$ вихрей, вращающихся в двух противоположных направлениях (см. рисунке 3.34). Поток воздуха поднимается вверх около крайних стенок $x=0$ и $x=10\text{м}$ и затем двигается около потолка навстречу друг к другу. После взаимного соударения около линии $x=5\text{м}$ в центре комнаты поток идет вниз. По достижении пола комнаты поток воздуха разделяется на два вихря, которые направлены в противоположные стороны (см. рисунок 3.36). В силу того, что почти весь объем воздуха комнаты вовлечен в конвективное движение, распределение температуры по комнате симметричное и равномерное, если не учесть небольшое уменьшение температуры в центрах двух симметричных вихрей (см. рисунок 3.37). Таким образом, можно сказать, что процесс отопления комнаты через пол приводит к равномерному распределению температуры по всей комнате по сравнению с случаем, когда отопительная печь расположена в углу комнаты.

Задача №5. Расчет теплового комфорта в помещении кафедры Общей физики и Методики преподавания физики. Целью данной задачи является исследование влияния месторасположения входной границы воздушного потока на условие комфортности кафедры общей физики и методики преподавания физики Омского госуниверситета. Геометрия стационарной задачи и система координат показаны на рисунке 3.39. Модель комнаты имеет длину $L=4\text{м}$, высоту $H=2.6\text{м}$, и ширину $W=3\text{м}$.

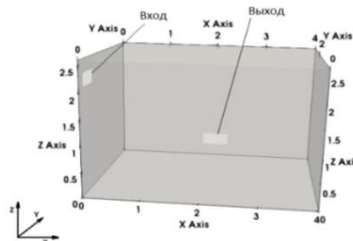


Рисунок 3.39 - Геометрия задачи и система координат

Входное отверстие расположено в левом верхнем углу левой стенки. Ширина его равна 0.5м , а высота 0.2м , соответственно площадь равна 0.01м^2 .

Выходное отверстие располагается в средней части задней стенки, ближе к полу. Его ширина и высота равны тоже 0.5м и 0.2м соответственно.

Поток свежего воздуха с температурой 298 К входит через входное отверстие со скоростью 0.2 м/с и вытекает из модели помещения через выходное отверстие.

Условие комфортности определялось согласно международному стандарту ISO 7730 «Эргономика термальной среды - аналитическое определение и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчета показателей PMV и PPD и критериев локального теплового комфорта». Изменение местоположения проводилось по вертикальной оси Oz. При этом центр входной границы располагался на 4 высотах с координатами 0.5м, 1.0м, 1.5м и 2.0м.

Результаты численных расчетов. Распределение вектора скорости приведено на рисунке 3.40. Видно, что, свежий, более холодный воздух сразу после входного отверстия идет вниз, к полу помещения. Далее доходя правой стенки отражается от нее и дальше идет к выходу, расположенного на задней стенке помещения.

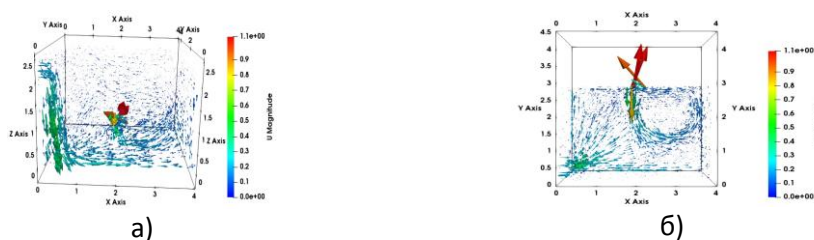


Рисунок 3.34 - Поле вектора скорости – вид спереди (а) и вид сверху (б)

Распределение температуры воздушного потока внутри помещения в вертикальном сечении $x=0.5\text{м}$ приведено на рисунке 3.41. Видно, что максимальная температура 302К расположена выше высоты 1.5м, а область с наименьшей температурой находится ближе к полу в непосредственной близости передней стенки помещения.

Распределение возраста воздуха age в вертикальном сечении $y=0.5\text{м}$ приведено на рисунке 3.42. Под возрастом воздуха понимают время достижения частицы свежего воздуха от входной границы до рассматриваемой точки расчетной области.

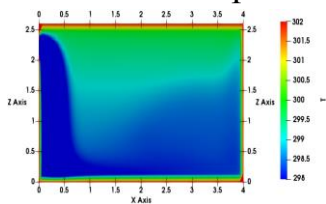


Рисунок 3.41 - Поле распределения температуры

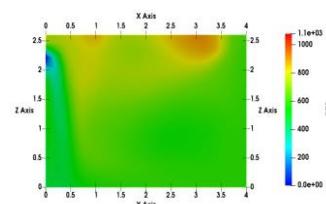


Рисунок 3.42 - Поле распределения возраста воздуха

Распределение прогнозируемой средней оценки PMV в вертикальном сечении $y=0.5\text{м}$ приведено на рисунке 3.40. Показатель прогнозируемого процента недовольных PPD показан на рисунке 3.41.

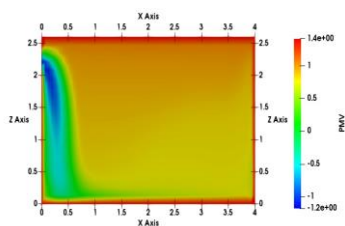


Рисунок 3.43 - Поле распределения PMV

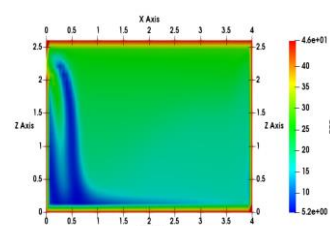


Рисунок 3.44 - Поле распределения PPD

На следующих рисунках показаны изменения возраста воздуха - age, процента неудовлетворенных людей PPD, прогнозируемого среднего голоса - PMV и величины сквозняка - DR вдоль вертикальной линии по оси Oz, проходящей через геометрический центр пола помещения с координат $x=2\text{м}$ и $y=1.5\text{м}$. Данные data1, data2, data3, data4 соответствуют к высотам центра входной границы 0.5м, 1.0м, 1.5м и 2.0м.

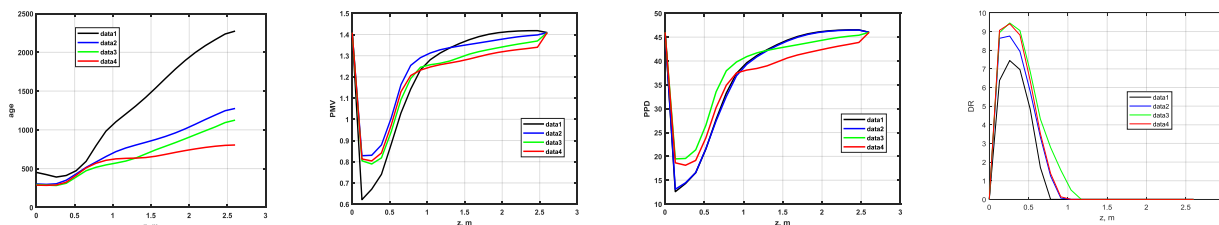


Рисунок 3.45 - Графики age, PPD, PMV и DR для разных высот входной границы.

Как видно из рисунка распределения возраста воздуха age, качество воздуха сильно зависит от месторасположения входной границы. Численное значение возраста воздуха около потолка для случая, когда входная граница расположена на высоте 0.5м, более чем в два раза выше по сравнению со случаем, когда входная граница расположена на высоте 2.0м. Обнаружено, что уменьшение вертикальной координаты входной границы до $z=0.5\text{м}$ приводит к увеличению возраста воздуха в точке ($x=2$, $y=1.5$, $z=1\text{м}$) более чем в два раза.

Кроме того, во всех 4 случаях обнаружено отсутствие сквозняка выше высоты около 1.2м.

В **ЗАКЛЮЧЕНИИ** приведены основные результаты и выводы диссертации.

В 4 **ПРИЛОЖЕНИЯХ** приведены 2 акта внедрения, 3 авторских свидетельства, 4 сертификата об участии в различных конференциях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Установлены удовлетворительные согласия расчетных данных профилей температуры и вертикальной составляющей скорости с экспериментом при моделировании каверны с аспектным отношением 28.6:1. Однако увеличение числа Рэлея от $Ra=8.6 \times 10^5$ до $Ra=1.43 \times 10^6$ приводит к ухудшению точности согласия на 0.6%.
- Показано, что моделирование конвекции в каверне с аспектным отношением 5:1 сравнение профилей средних характеристик течения с экспериментом около холодной и горячей стенок дает максимальные ошибки отклонения в пределах 1.9 %, 3.5 %, 2.6 % и 1.3 %, 2.2 %, 1.7 % соответственно.
- Численно обосновано практическое применение обогрева модели помещения через пол. Обнаружено образование двух симметричных вихрей относительно средней длины модели. Вращающихся в противоположно направлениях с центрами расположения в точке с координатами ($x = 3.69$, $y = 3$, $z = 1$) и ($x = 6.31$, $y = 3$, $z = 1$).
- Впервые проведен численный расчет теплового комфорта в помещении кафедры Общей физики и МПФ. Обнаружено, что уменьшение вертикальной координаты входной границы до $z=0.5$ м приводит к увеличению возраста воздуха в точке ($x = 2$, $y = 1.5$, $z = 1$ м) более чем в два раза.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Результаты исследования внедрены в деятельность Государственное агентство архитектуры, строительства и жилищно-коммунального хозяйства при кабинете Министров Кыргызской Республики.

Часть материалов диссертации включена в учебный процесс факультета математики и информационной технологий на уроке “Теоретическая механика” для студентов старших курсов, магистрантов и аспирантов специальностей 510100 Математика, 510200 Прикладная математика и информатика Ошского государственного университета.

Данная работа позволит слушателям освоить навыки решения актуальных проблем науки и техники с использованием современных программных пакетов и информационных технологий.

В целях дальнейшего развития хотелось бы рассмотреть следующие задачи, представляющие собой актуальные проблемы современной науки математического моделирования:

- Расчет турбулентных течений в модели жилой комнаты с учетом сопряженного теплообмена с внешней средой.
- Расчет теплового комфорта в помещении сопряженного теплообмена

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

- 1. Калбекова М.Ж.** Моделирование естественной конвекции в воздушных полостях [Текст] / Курбаналиев А.Ы.// ОшТУ Известия, Илимий-техникалык журнал ISSN 1694-660X, 1/2018. Ош 2018.с. 113-121. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37351802>
- 2. Калбекова М.Ж.** Идеология пакета Open Foam и принцип построения задачи [Текст] / Курбаналиев А.Ы., Калдыбаева Г.А., Акназарова С.С., Калбекова М.Ж. // В сборнике : Проблема «Оптимизации сложных систем». Материалы Международной школы –семинар.2018 г.с.2-13. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37014674>
- 3. Калбекова М.Ж.** Моделирование осесимметричного струйного течения[Текст] / Абдимуталипова З.К., Курбаналиев А.Ы., Сулайманова Г.К., Калбекова М.Ж.// В сборнике : Проблема «Оптимизации сложных систем». Материалы Международной школы –семинар.2018 г.с. 68-71– То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37014603&pff=1>
- 4. Калбекова М.Ж.** Моделирование турбулентной естественной конвекции в квадратной каверне[Текст] / Жайнаков А.Ж., Акназарова С.С., Калбекова М.Ж.// Известия кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова (Бишкек) issn: 1694-5557 2018 с. 435-443. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36329021>
- 5. Калбекова М. Ж.** Численное моделирование естественного конвективного течения в воздушных полостях[Текст] /Калбекова М.Ж., Курбаналиев А.Ы., Жайнаков А.Ж.// В сборнике: Проблема «Оптимизации сложных систем».Материалы Международной школы-семинар.2019г.с.33-38. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41540166&pff=1>
- 6. Калбекова М.Ж.** Программа для моделирования течения в двумерной каверне на основе проекционного метода. [Текст] / Курбаналиев А. Ы., Калмурзаева А. Т., Калбекова М. Ж. Кыргызпатент. Авторское свидетельство. Программа для ЭВМ. 22.10.2020г. №639. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
- 7. Калбекова М.Ж.** Программа для численного решения уравнений Навье-Стокса в двумерном приближении. [Текст] / Курбаналиев А. Ы., Калмурзаева А. Т., Калбекова М. Ж., Марс кызы Таттыбубу.// Кыргыз патент. Авторское свидетельство. Программа для ЭВМ. №672, 25.02.2021. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://patent.kg/wp-content/uploads/2021/04/%D0%98%D0%9C-41-2021.pdf>
- 8. Калбекова М. Ж.** Мультифизическое моделирование процесса теплопроводности [Текст] / Калбекова М. Ж., Марс кызы Таттыбубу, Ормош кызы А., Калмурзаева А. Т. // Вестник Ошского государственного

университета. ISSN 1694-7452. 2021. Том 1 №1с.136-143. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46561757>

9. Калбекова М.Ж. Critical reviewing of OpenFOAM buoyantcavity tutorial. [Текст] / A.Y. Kurbanaliev, M. Zh. Kalvekova, A.T. Kalmurzaeva, T. Dyikanova. // AIP Conference Proceedings 2402, 20009 2021г. Doi 10.1063/5.0071571. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article/2402/1/020009/755517/Critical-reviewing-of-OpenFOAM-buoyant-cavity>

10. Калбекова М.Ж. Numerical Simulation of Nonstationary Laminar Flow around a Circular Cylinder. [Текст] / A.Y. Kurbanaliev, A. T. Kalmurzaeva, M. Zh. Kalvekova. A. T. Dyikanova, N. A. Amankulova// AIP Conference Proceedings 2402, 2021г. Doi 10.1063/5.0071578. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article/2402/1/070055/717001/Numerical-simulation-of-nonstationary-laminar-flow>

11. Калбекова М.Ж. Моделирование турбулентной естественной конвекции в прямоугольных полостях [Текст] / Калбекова М.Ж., Курбаналиев А.Б. // Горный журнал. Кыргызский государственный университет геологии, горного дела и освоения природных ресурсов имени академика У. Асаналиева. Бишкек 2021.с. 151-158. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47387111>

12. Калбекова М.Ж. Программа для подготовки данных для моделирования естественной конвекции в прямоугольной каверне в пакете OpenFOAM. [Текст] / Курбаналиев А. Б., Калбекова М. Ж., Калмурзаева А. Т. Кыргызпатент. Авторское свидетельство. Программа для ЭВМ. 15.04.2022г. №742. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://new2.patent.kg/wp-content/uploads/2022/12/%D0%98%D0%9C-7-2022.pdf>

13. Калбекова М.Ж. Моделирование квадратной турбулентной конвекции. Вестник ОшГУ. – 2022. № 1. – С. 177-184. ISSN: 1694-7452

14. Калбекова М. Ж. Моделирование естественной конвекции в прямоугольной полости с учетом радиационного излучения в пакете OpenFOAM [Текст] / Калбекова М.Ж., Курбаналиев А.Б. // Вестник Ошского государственного университета Математика, физика, техника. 2022, №1, с. 67-80.

РЕЗЮМЕ

диссертационной работы Калбековой Махбурат Жамшитбековны
на тему: «Численное моделирование турбулентных течений с учетом
эффекта плавучести» на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.02.05 – “Механика жидкости,
газа и плазмы”

Ключевые слова: турбулентность, рециркуляционные зоны, нестационарность, плавучесть, теплопередача, радиационный перенос тепла, buoyantSimpleFoam, OpenFOAM.

Объект исследования: пространственные турбулентные нестационарные внутренние течения с зонами рециркуляции с учетом эффектов плавучести и радиационного переноса тепла.

Предметом исследования является численное исследование влияния эффекта плавучести на эргономику термальной среды помещения.

Цель исследования заключается в усовершенствовании модели, способной моделировать неизотермические турбулентные течения газа с учётом эффектов плавучести и радиационного переноса тепла в рамках пакета OpenFOAM.

Методы исследования и аппаратура. численное интегрирование стационарных и нестационарных, осредненных по Рейнольдсу трёхмерных уравнений Навье-Стокса, описывающих турбулентные течения с учетом эффекта плавучести методом контрольных объемов.

Научная новизна полученных результатов работы.

- Установлены удовлетворительные согласия расчетных данных профилей температуры и вертикальной составляющей скорости с экспериментом при моделировании каверны с аспектным отношением 28.6:1. Однако увеличение числа Рэлея от $Ra=8.6 \times 10^5$ до $Ra=1.43 \times 10^6$ приводит к ухудшению точности согласия на 0.6%.
- Показано, что моделирование конвекции в каверне с аспектным отношением 5:1 сравнение профилей средних характеристик течения с экспериментом около холодной и горячей стенках дает максимальные ошибки отклонения в пределах 1.9 %, 3.5 %, 2.6 % и 1.3 %, 2.2 %, 1.7 % соответственно.
- Впервые проведен численный расчет теплового комфорта в помещении кафедры Общей физики и МПФ. Обнаружено, что уменьшение вертикальной координаты входной границы до $z=0.5$ м приводит к увеличению возраста воздуха в точке ($x=2$, $y=1.5$, $z=1$ м) более чем в два раза.

Степень использования или рекомендации по использованию. Результаты исследования могут быть использованы для прогнозирования нагрева и охлаждения помещения за счет естественной конвекции.

Область применения. Результаты исследования были включены в деятельность Ошского областного строительно-технического управления по организации работ по организации отопления и обеспечения условий комфорта в жилых помещениях.

Калбекова Махбурат Жамшитбековна 01.02.05. - суюктуктун, газдын жана плазманын механикасы адистиги боюнча физика-математика илимдеринин кандидаты окумуштуулук даражасына ээ болуу үчүн «Турбуленттик агымдарды калкыма кубулушун эске алуу менен сандык моделдештирүү» аттуу темадагы диссертациялык ишинин РЕЗЮМЕСИ

Ачкыч сөздөр: турбуленттүүлүк, рециркуляциялык зоналар, стационардык эмес, калкымалуулук, жылуулук өткөрүмдүүлүк, радиациялык жылуулук өткөрүмдүүлүк, buoyantSimpleFoam, OpenFOAM.

Изилдөөнүн объектиси калкымалуулук эффекттерин жана радиациялык жылуулук өткөрүмдүүлүктү эске алуу менен рециркуляциянын аймактары менен мейкиндиктеги турбуленттүү стационардык эмес ички агымдар.

Изилдөөнүн предмети бөлмөнүн жылуулук чөйрөсүнүн эргономикасына калкымалуулук эффектинин таасирин сандык изилдөө болуп саналат.

Изилдөөнүн максаты - OpenFOAM пакетинин алкагында калкымалуулук жана радиациялык жылуулук өткөрүмдүүлүктүн таасирин эске алуу менен изотермикалык эмес турбуленттүү газ агымдарын моделдөөчү моделди өркүндөтүү.

Изилдөө ыкмалары жана жабдуулар: стационардык жана стационардык эмес, Рейнольдс боюнча орточолонгон үч өлчөмдүү Навье-Стокс теңдемелеринин сандык интегралдоосу, турбуленттүү агымдарды мүнөздөгөн калкымалуулук эффекттин эске алуу менен башкаруу көлөмдөр ыкмасы.

Иштин алынган натыйжаларынын илимий жаңылыгы.

- Температуралык профилдердин эсептелген маалыматтары менен ылдамдыктын вертикалдык компонентинин ортосунда 28.6:1 аспекти катышы, кавернаны моделдөө эксперименти менен канааттандыруу макулдашуу түзүлдү. Бирок, Рэлейдин санынын $Ra=8.6 \times 10^5$ тен $Ra=1.43 \times 10^6$ га чейин өсүүсү туура тактыгынын 0.6% начарлашына алып келет.
- Кавернадагы конвекцияны 5:1 аспекти катышы менен моделдөө, муздак жана ысык дубалдардын жанындагы эксперимент менен орточо агымдын мүнөздөмөлөрүнүн профилдерин салыштырып, 1.9%, 3.5%, 2.6% жана 1.3%, 2.2%, 1.7% чегинде максималдуу четтөө каталарын берери көрсөтүлгөн.
- Биринчи жолу жалпы физика жана ФОУ кафедрасынын имараттарында жылуулук комфортунун сандык эсеби жүргүзүлдү. Кирүүчү чектин вертикалдык координатасынын $z=0.5$ мге чейин төмөндөшү ($x=2$, $y=1.5$, $z=1$ м) чекиттеги абанын жашынын эки эседен ашык жогорулашына алып келери аныкталган.

Колдонуу даражасы же колдонуу боюнча сунуштар. Изилдөөнүн натыйжалары табигый конвекциядан улам бөлмөнү жылытуу жана муздатуу процессин болжолдоо үчүн колдонулушу мүмкүн.

Колдонуу чөйрөсү. Изилдөөнүн натыйжалары турак жайларды жылытууну жана комфорттук шарттарды камсыз кылуу боюнча иштерди уюштуруу боюнча Ош облустук курулуш-техникалык башкармалыгынын ишмердүүлүгүнө киргизилген.

SUMMARY

dissertation work of Kalbekova Makhburat Zhamshitbekovna
on the topic: "Numerical modeling of turbulent flows taking into account the effect of buoyancy" for the degree of candidate of physical and mathematical sciences in the specialty 01.02.05 - "Mechanics of fluid, gas and plasma"

Keywords: turbulence, recirculation zones, unsteadiness, buoyancy, heat transfer, radiative heat transfer, buoyantSimpleFoam, OpenFOAM.

Object of research: spatial turbulent unsteady internal flows with recirculation zones taking into account the effects of buoyancy and radiative heat transfer.

The subject of the study is a numerical study of the effect of the buoyancy effect on the ergonomics of the thermal environment of the room.

The purpose of the dissertation is to improve the model capable of simulating non-isothermal turbulent gas flows, taking into account the effects of buoyancy and radiative heat transfer within the framework of the OpenFOAM package.

Research methods and equipment. Numerical integration of stationary and non-stationary, Reynolds-averaged 3D Navier-Stokes equations describing turbulent flows taking into account the buoyancy effect by the control volume method.

Scientific novelty of the obtained results of the work.

- Satisfactory agreement between the calculated data of temperature profiles and the vertical component of velocity with the experiment in modeling a cavity with an aspect ratio of 28.6:1 has been established. However, an increase in the Rayleigh number from $Ra=8.6 \times 10^5$ to $Ra=1.43 \times 10^6$ leads to a deterioration in the accuracy of fit by 0.6%.
- It is shown that the simulation of convection in the cavity with an aspect ratio of 5:1, comparing the profiles of the average flow characteristics with the experiment near the cold and hot walls, gives the maximum deviation errors within 1.9%, 3.5%, 2.6% and 1.3%, 2.2%, 1.7% respectively.
- For the first time, a numerical calculation of thermal comfort in the premises of the Department of General Physics and MPF was carried out. It was found that a decrease in the vertical coordinate of the inlet boundary to $z=0.5\text{m}$ leads to an increase in the air age at the point $(x=2, y=1.5, z=1\text{m})$ by more than two times.

Degree of use or recommendations for use. The results of the study can be used to predict the heating and cooling of the room due to natural convection.

Scope of application. The results of the study were included in the activities of the Osh Regional Construction and Technical Department for the organization of work on the organization of heating and providing comfort conditions in residential premises.

