

Оптимизация канального радиатора

Выполнил: Есис А. И.

Руководитель проекта: Чмыхов М. А.

Программные продукты OpenFOAM, ParaView и SALOME Меса представляют собой мощный инструментарий, широко используемый в области вычислительной гидрогазодинамики (CFD) и численного моделирования.

- **OpenFOAM:** Свободное и открытое программное обеспечение для решения уравнений Навье-Стокса и других математических моделей, связанных с течением жидкостей и газов.
- **ParaView:** Инструмент визуализации результатов численных симуляций с поддержкой различных графических представлений.
- **SALOME Меса:** Интегрированная среда для предварительной обработки геометрии и настройки расчетной сетки для OpenFOAM.

В совокупности эти инструменты предоставляют мощный комплект для моделирования и визуализации в области CFD.

Данные предыдущего этапа исследования

- Задача охлаждения нагретого тела с радиатором.
- Геометрия радиатора: создание в SALOME.
- Три варианта геометрии радиатора.
- Для численного решения задачи используется решатель chtMultiRegionFoam.

Примеры геометрии

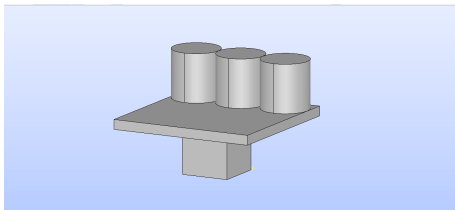


Рис.: Модель геометрии 1

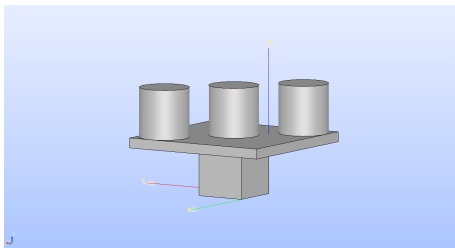


Рис.: Модель геометрии 2

Данные моделей и параметры задачи

	Нагреватель	Радиатор	Б
Плотность [$\text{кг}/\text{м}^3$]	1280	2700	1
C_p [$\text{Дж}/\text{кг}\cdot\text{K}$]	1004	900	1
Коэффициент теплопроводности [$\text{Вт}/\text{м}\cdot\text{K}$]	80	200	
Молекулярная масса [$\text{г}/\text{моль}$]	50	27	2
Вязкость [$\text{кг}/\text{м}\cdot\text{с}$]			1
Число Прандтля			0

Таблица: Параметры задачи



Рис.: Распределение температуры для модели 1

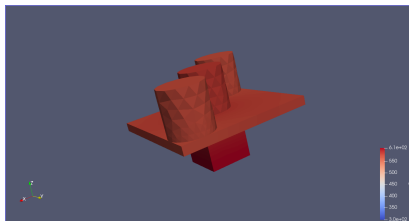


Рис.: Распределение температуры для модели 2

Проблема с генерацией сетки в SALOME

В ходе исследования в SALOME возникли ошибки сетки из-за изменения идентификаторов форм при регенерации геометрии. Решение было найдено с использованием Python API SALOME и следующих методов:

- **SubShapeAllIDs:** Получение всех идентификаторов подформ в геометрии.
- **GetShapesOnBoxIDs:** Получение идентификаторов форм внутри заданного объема.
- **GetShapesOnPlaneWithLocationIDs:** Получение идентификаторов форм, пересекаемых заданной плоскостью.

Эти методы стабилизировали процесс генерации сетки, обеспечив постоянство идентификаторов форм при обновлении геометрии, позволяя успешно использовать скрипт в дальнейших этапах исследования.

На данном этапе рассматривается автоматизированный процесс генерации сетки в SALOME и расчетов в OpenFOAM с варьированием параметров.

- **shift_first_cylinder:** Сдвиг первого цилиндра.
- **shift_second_cylinder:** Сдвиг второго цилиндра.

Автоматизированный процесс: Шаги

- Создание уникального имени для каждой комбинации параметров.
- Копирование исходного кейса в новую директорию.
- Запуск SALOME для генерации сетки с учетом новых параметров.
- Запуск bash-скриптов в OpenFOAM для выполнения кейса.
- Автоматическое извлечение результатов, включая данные теплообмена.
- Анализ влияния параметров на теплоотдачу системы.

Особенности фиксации и движения цилиндров

- В проведенных исследованиях использовались три цилиндра в системе.
- Третий цилиндр был зафиксирован в положении $(0, 0)$.
- Двигались только два оставшихся цилиндра.

Такой подход облегчает визуализацию и анализ результатов, позволяя лучше понять влияние параметров на эффективность теплообмена в системе.

Первые результаты

На основе автоматизированного процесса получены первые результаты, охватывающие 25 точек варьирования параметров.

Исследуемые параметры: `shift_first_cylinder` и `shift_second_cylinder`.

Изменялись от 0 до 20 с шагом 5.

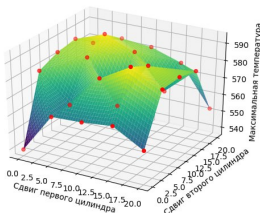


Рис.: Зависимость максимальной температуры нагревателя от сдвигов цилиндров

Первые результаты (продолжение)

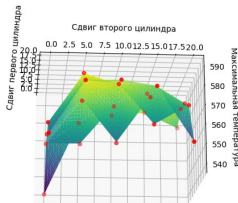


Рис.: Зависимость максимальной температуры нагревателя от сдвигов цилиндров

Для улучшения визуализации и наглядности данных была проведена интерполяция поверхности. Интерполированная поверхность дает представление о поведении системы в пространстве параметров и позволяет выявить области оптимальных значений для исследуемых параметров.

Оптимизация процесса расчета

С целью оптимизации процесса расчета для большего количества точек был реализован многопоточный код на языке программирования Python с использованием модуля `multiprocessing`.

Внесены изменения в код для поддержки третьего цилиндра (`shift_third_cylinder`) и сбора результатов в разделяемом словаре (`all_data`).

Реализована функция `run_simulation`, выполняющая расчет для каждой комбинации параметров в отдельном процессе.

Результаты сохраняются в разделяемом словаре, где ключи - уникальные идентификаторы, значения - результаты расчетов.

Применена библиотека `Pool` и метод `starmap` для распараллеливания выполнения расчетов.

Итоги расчетов собраны в разделяемом словаре `all_data`, что позволяет эффективно обрабатывать большой объем данных при анализе.

Первые результаты и наблюдения

Первые результаты анализа геометрии системы показали интересные закономерности.

Минимумы характеристик системы наблюдаются при равных сдвигах первого и второго цилиндров.

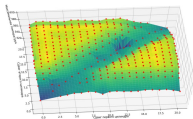


Рис.: Зависимость максимальной температуры нагревателя от сдвигов цилиндров (441 точка)

При равных сдвигах цилиндров они касаются друг друга, способствуя более эффективному теплообмену и равномерному распределению тепловой нагрузки.

Эксперименты с геометрией и анализ результатов

Однако эта геометрия не демонстрировала реальной зависимости между расположением цилиндров и температурой. В ответ на это наблюдение был проведен ряд экспериментов с общей геометрией системы.

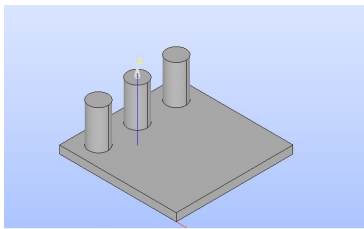
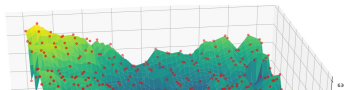


Рис.: Новая геометрия

После внесения изменений в геометрию системы были получены более интересные результаты.



Эксперименты с геометрией и анализ результатов (продолжение)

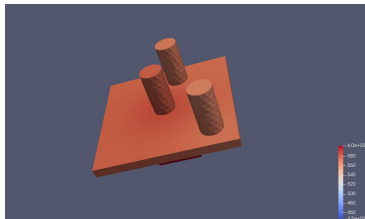


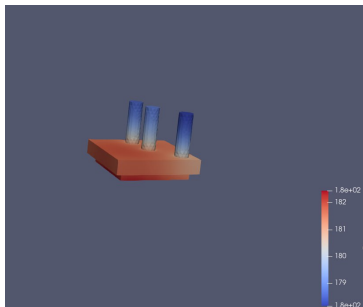
Рис.: Пример минимума при новой геометрии

Эта конфигурация характеризуется расстановкой цилиндров по диагонали.

Минимум максимальной температуры нагревателя также достигается при данной конфигурации.

Анализ реальной системы и изменения параметров

Следующим этапом исследования стал анализ условий, представляющих реальную систему охлаждения. Внесенные изменения включали снижение скорости воздуха внутри воздуховода до 3 м/с (по сравнению с предыдущим значением 5.6 м/с), замену материала радиатора на медь (предыдущий материал - алюминий), а также модификацию геометрии нагревателя, сделав его тоньше и значительно больше по размерам, а саму подложку радиатора сделав толще.



Применение эволюционного алгоритма в оптимизации

Необходимо отметить, что для более эффективного и быстрого поиска оптимальных параметров в задаче охлаждения был применен эволюционный алгоритм.

Инициализация популяции: Создается начальная популяция индивидов (наборов параметров) случайным образом или на основе каких-то эвристик.

Оценка приспособленности: Каждый индивид из популяции оценивается по степени приспособленности в соответствии с целевой функцией.

Отбор: Выбираются наиболее приспособленные индивиды для следующего поколения.

Скрещивание: Происходит кроссовер (скрещивание) между выбранными индивидами, что приводит к созданию новых индивидов.

Мутация: Некоторые индивиды могут подвергаться мутациям, изменяя свои параметры с определенной вероятностью.

Повторение: Описанные шаги повторяются в цикле до достижения критерия остановки, такого как заданное количество

Использование градиентного метода

Помимо дифференциальной эволюции, данная работа включала использование градиентного метода для оптимизации. Градиентные методы широко используются в численной оптимизации для поиска минимума (или максимума) функции. Один из простых градиентных методов - это метод градиентного спуска.

L-BFGS-B (Limited-memory Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno with Bound constraints):

L-BFGS-B - это усовершенствованный метод оптимизации, предназначенный для решения задач с ограничениями. Он поддерживает локальную оптимизацию с ограничениями на параметры.

В ходе данной работы было проведено комплексное исследование системы охлаждения с использованием численных методов и оптимизации. Основные выводы и результаты работы: