УДК 004.418

ВВЕДЕНИЕ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНУЮ ГИДРОДИНАМИКУ (CFD) И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ПОТОКА В SOLIDWORKS FLOW SIMULATION

Нгуен В.Б.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Вышинский Н.В. – к. т. н, профессор, профессор кафедры ИКГ

Аннотация. В статье представлен обзор методов вычислительной гидродинамики (CFD) и возможностей их применения для анализа потока жидкости и теплопередачи. Рассмотрены основные принципы CFD и этапы моделирования, а также преимущества и ограничения использования программного комплекса SolidWorks Flow Simulation для решения инженерных задач. Особое внимание уделено применению Solidworks Flow Simulation для проектирования систем охлаждения электроники.

Ключевые слова: вычислительная гидродинамика (CFD), SolidWorks Flow Simulation, анализ потока, программное обеспечение CFD, проектирование систем охлаждения

Введение. Вычислительная гидродинамика (CFD) представляет собой мощный инструмент численного моделирования потоков жидкостей и газов, широко применяемый в различных областях инженерной практики. CFD позволяет прогнозировать характеристики потока и теплообмена, что способствует оптимизации конструкций и углубленному пониманию сложных физических явлений [1]. SolidWorks Flow Simulation, интегрированный в CAD-систему SolidWorks, предоставляет удобное и интуитивно понятное решение для CFD-анализа, ориентированное на инженеров-конструкторов, обеспечивая возможность оперативной оценки гидродинамических и тепловых характеристик в процессе проектирования изделий [3]. В данной работе представлен обзор основных принципов CFD и возможностей SolidWorks Flow Simulation, охватывающих анализ внутреннего и внешнего потока, моделирование теплопередачи, проектирование систем охлаждения электронной аппаратуры и анализ характеристик вращающихся компонентов. Также будут рассмотрены преимущества и ограничения SolidWorks Flow Simulation в сравнении с более специализированными CFD-инструментами.

Основная часть. Вычислительная гидродинамика (Computational Fluid Dynamics – CFD) – Это наука об использовании компьютеров для прогнозирования потоков жидкостей и газов на основе основных уравнений сохранения массы, импульса и энергии. Жидкости окружают нас повсюду и поддерживают нашу жизнь бесчисленными способами. Без воздуха вращение теннисного мяча было бы бессмысленным, а ваш самолет не создавал бы подъемную силу. С помощью CFD мы можем анализировать, понимать и прогнозировать поведение жидкостей, которые составляют почти каждую часть нашего мира [1]. CFD используется везде, где необходимо прогнозировать поток жидкости и теплопередачу или понимать влияние потока жидкости на продукт или систему. CFD анализирует различные свойства потока жидкости, такие как температура, давление, скорость и плотность, и может применяться к широкому кругу инженерных задач в различных отраслях промышленности.

1 Аэрокосмическая и оборонная промышленность: охлаждение авионики, аэрооптика, внешняя аэродинамика (моделирование воздушного потока вокруг самолета для прогнозирования подъемной силы и сопротивления), HVAC салона и двигательная установка.

2 Автомобильная промышленность: смазка коробки передач, аэроакустика, внешняя аэродинамика, моделирование аккумуляторов и охлаждение электродвигателей.

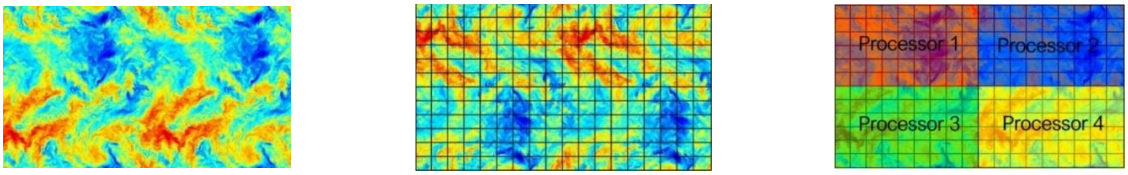
3 Новая энергетика: электролиз PEM, производство, транспортировка, хранение и потребление водорода, а также использование топливных элементов.

4 Здравоохранение: сердечно-сосудистый поток, дыхательная система.

В CFD используются различные методы, каждый из которых имеет свои компромиссы между скоростью и точностью. Существует два распространенных метода [2].

1 Метод конечных объемов (FV): Решает уравнения Навье-Стокса, рассматривая баланс массы, энергии и импульса в дискретных объемах жидкости. Хорошо подходит для стационарных и низкочастотных переходных тепловых расчетов, особенно для задач охлаждения электроники. Учитывает турбулентность с помощью вторичных пристеночных функций.

2 Метод решетки Больцмана (LB): Рассматривает поток как набор частиц, сгруппированных в решетку. Хорошо подходит для нестационарных решений и внешних аэродинамических расчетов. Использует комбинацию прямого захвата турбулентного пограничного слоя и пристеночных функций.



а б в

Рисунок 1 – Вычислительная гидродинамика (CFD) функционирует посредством определенного трехэтапного процесса: а – Определение области потока жидкости, подлежащей решению; б – Дискретизация области на ячейки желаемого размера и шага сетки; в – Назначение процессоров различным областям и применение соответствующих уравнений математического анализа

CFD функционирует посредством определенного трехэтапного процесса [1].

1 Определение области потока жидкости, представляющей непрерывную область, подлежащую расчету (рисунок 1, а). Обычно это представляется моделью автоматизированного проектирования (CAD).

2 Дискретизация области на ячейки желаемого размера и шага сетки (рисунок 1, б).

3 Решение дискретизированной версии основных уравнений гидродинамики компьютером в пределах каждой ячейки (рисунок 1, в). В контексте высокопроизводительных вычислений (HPC) дополнительным шагом является назначение различных групп ячеек разным компьютерам для параллельной обработки.

Предложения программного обеспечения для CFD разнообразны и отвечают широкому спектру требований к моделированию. Популярные варианты включают ANSYS Fluent и CFX (надежные и универсальные, хотя и дорогие) и COMSOL Multiphysics (известный своими возможностями мульти физического моделирования. SolidWorks Flow Simulation – модуль CFD, плавно интегрированный в среду SolidWorks CAD, представляет собой удобное решение для моделирования потоков для инженеров-конструкторов. Его ключевое преимущество заключается в бесшовной интеграции в рабочий процесс проектирования продукта, что позволяет быстро оценивать характеристики потока и тепловые характеристики для различных итераций проектирования в знакомом интерфейсе SolidWorks. Он хорошо подходит для базового анализа потока, теплопередачи и приложений HVAC, позволяя инженерам принимать обоснованные проектные решения на основе интуитивно понятных данных моделирования [3].

SolidWorks Flow Simulation предоставляет возможности вычислительной гидродинамики, охватывающие следующие аспекты [3]: анализ внутреннего и внешнего потока жидкости, моделирование потока со свободной поверхностью, расчет потока неньютоновской жидкости, моделирование режимов потока от дозвукового до сверхзвукового, анализ производительности вращающихся компонентов и вентиляторов, моделирование сопряженного теплообмена, модуль охлаждения электроники, передача данных о давлении и температуре для структурного анализа.

SolidWorks Flow Simulation предлагает мощный набор инструментов для проектирования электроники с целью максимизации охлаждения. Основополагающим для

этого процесса является модуль анализа внутреннего и внешнего потока жидкости, который позволяет инженерам понимать и оптимизировать схемы воздушного потока как внутри, так и вокруг электронных устройств, способствуя эффективному отводу тепла. Основываясь на этом, моделирование сопряженного теплообмена точно прогнозирует температуры компонентов, моделируя сложные механизмы теплопередачи между твердыми компонентами, такими как интегральные схемы и печатные платы, и окружающей жидкостью, будь то воздух или жидкий хладагент. В системах, использующих принудительную конвекцию, модуль анализа производительности вращающихся компонентов и вентиляторов предоставляет важную информацию для выбора и оптимизации размещения вентиляторов для обеспечения эффективной подачи воздуха. Кроме того, специализированный модуль охлаждения электроники упрощает процесс проектирования благодаря специализированным функциям, включая библиотеки компонентов, автоматизированное определение источников тепла и усовершенствованные алгоритмы построения сетки, адаптированные для геометрии печатных плат. Сочетание возможностей этих модулей позволяет инженерам создавать термически оптимизированные электронные конструкции, обеспечивая надежную работу и продлевая срок службы электронных устройств.

Заключение. В данной статье было представлено введение в вычислительную гидродинамику (CFD) и ее практическое применение в SolidWorks Flow Simulation. Этот мощный инструмент предоставляет инженерам ценное средство для анализа потока жидкости и теплопередачи, особенно при проектировании систем охлаждения электроники. Признавая его ограничения по сравнению с более специализированными пакетами CFD, полная интеграция SolidWorks Flow Simulation в среду SolidWorks CAD предлагает инженерам удобное и эффективное средство для выполнения CFD-анализа непосредственно в рамках их рабочего процесса проектирования. Эта возможность обеспечивает быструю итерацию проектирования, принятие обоснованных решений и оптимизацию производительности продукта, что в конечном итоге способствует разработке более надежных и эффективных инженерных решений.

Список литературы

1. *What is Computational Fluid Dynamics (CFD)? [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ansys.com/simulation-topics/what-is-computational-fluid-dynamics. Дата доступа: 13.03.2025.*

2. *Computational Fluid Dynamics (CFD): Applications & Solutions [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.goengineer.com/blog/computational-fluid-dynamics-applications-and-solutions. Дата доступа: 13.03.2025.*

3. *Introduction to Computational Fluid Dynamics with SOLIDWORKS Flow Simulation [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.cati.com/blog/introduction-to-computational-fluid-dynamics-with-solidworks-flow-simulation/. Дата доступа: 13.03.2025.*

UDC 004.418

INTRODUCTION TO COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) AND ITS APPLICATION FOR FLOW ANALYSIS IN SOLIDWORKS FLOW SIMULATION

Nguyen V.B.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Vyshinsky N.V. – Cand. of Sci., Professor, Professor of the department of ECG

Annotation. This article provides an overview of computational fluid dynamics (CFD) methods and their applications for analyzing fluid flow and heat transfer. The basic principles of CFD and the stages of modeling are considered, as well as the advantages and limitations of using the SolidWorks Flow Simulation software package for solving engineering problems. Particular attention is paid to the application of SolidWorks Flow Simulation for the design of electronics cooling systems.

Keywords: computational Fluid Dynamics (CFD), SolidWorks Flow Simulation, flow analysis, CFD software, cooling system design