

УДК 621.56

Коробко В.В., Трушляков Е.И. (Україна, Николаев)

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ УСТАНОВОК КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА НА БАЗЕ ТЕРМОАКУСТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Краткая характеристика проблемы. Актуальность исследования

Основные требования международных законодательных актов в области экологии и энергосбережения к перспективному холодильному оборудованию привели к разработке новых принципов получения холода. Одним из решений проблемы создания экологически чистых и одновременно энергетически эффективных установок кондиционирования воздуха (КВ) и систем их холодоснабжения является разработка оборудования на базе термоакустического эффекта [1-9]. Работы в этой области интенсивно ведутся на стыке различных научных специальностей уже около 20 лет. Данная проблема отличается высокой наукоемкостью. Результаты разработок в первую очередь использовались в таких областях как вооружения, космические исследования. В последнее время эти разработки получают коммерческое применение.

Для инженерной работы нужны проверенные «инженерные» методики расчета. Существуют варианты методик расчета термоакустических устройств, наиболее совершенное, на данный момент, решение предложено авторами [3].

Представляется целесообразным дальнейшее совершенствование методологии проектирования термоакустических систем кондиционирования и рефрижерации. В основу методик должны быть положены адекватные математические модели и методы расчета рабочих процессов. Гидродинамическая структура пульсирующих потоков высокой интенсивности, процессы тепло-массообмена и преобразования энергии при движении рабочей среды в элементах установок мало изучены. Для построения корректной феноменологической модели установки кондиционирования воздуха на базе термоакустического эффекта, оценки ее эффективности на стадии проектирования необходима гибридная методология проведения расчетов, сочетающая традиционные инженерные подходы, основанные на теории декомпозиции и синтеза, с возможностями современных методов компьютерного моделирования.

Постановка задачи и методы исследований

Аналитическое решение классических уравнений газодинамики для определения эффективности различных вариантов организации теплообмена и преобразования энергии в элементах термоакустических установок представляется крайне сложным. Проведение натурных экспериментальных исследований требует значительных материальных и временных затрат на создание вариантных конструкций. Современные CFD программные комплексы позволяют эффективно решить указанные задачи и сократить сроки разработки новых изделий. Моделирование структуры потоков с высокой интенсивностью турбулентности в элементах системы возможно с достаточно высокой степенью точности при применении CFD программных комплексов (Flow Vision, Fluent, CosmosFloWorks, STAR-CD и др.). Применение программных средств позволяет визуализировать динамику течения, поля скоростей, температур, концентраций компонентов, вести разнообразную статистическую обработку.

Особенностью современных CFD пакетов является их интегрирование с конструкторскими CAD\CAM системами. Для получения корректной модели необходимо выполнение условий:

- создание в одном из современных CAD\CAM трехмерных моделей объектов и их импорт, в среду CFD программ с использованием форматов обмена;
- построение расчетной сетки и ее локальная адаптация в ходе расчетов (определение числа ячеек, достаточных для выявления тонких структур течения в критических областях и имеющих разумный временной период нахождения конечного решения);
- корректная формулировка граничных условий и допущений, выбор или разработка модели турбулентности, адекватных решаемой задаче;
- выполнение обязательной проверки адекватности модели и алгоритма решения задачи.

Результаты исследований

Чаще всего исследователи расчеты проводят на идеализированной модели. Когда для моделирования выбирается наиболее характерный или значимый элемент. Примером такого подхода может служить работа [10] в которой авторы использовали CFD пакет FLUENT для моделирования гидродинамики потока в зоне прилегающей к пластинчатому регенератору. На рис. 1. показана схема рассчитываемого элемента. Задача решалась в плоской постановке, что, тем не менее, позволило получить интересные результаты (см. рис.2 и рис.3)

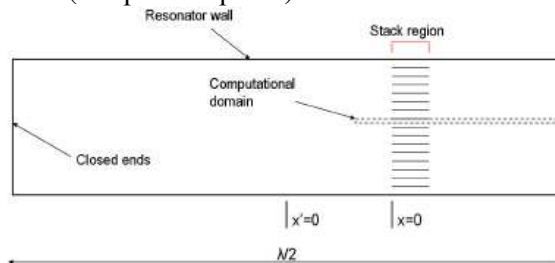


Рисунок 1 – Расположение расчетного объема пластинчатого регенератора в полуволновой резонансной трубе.

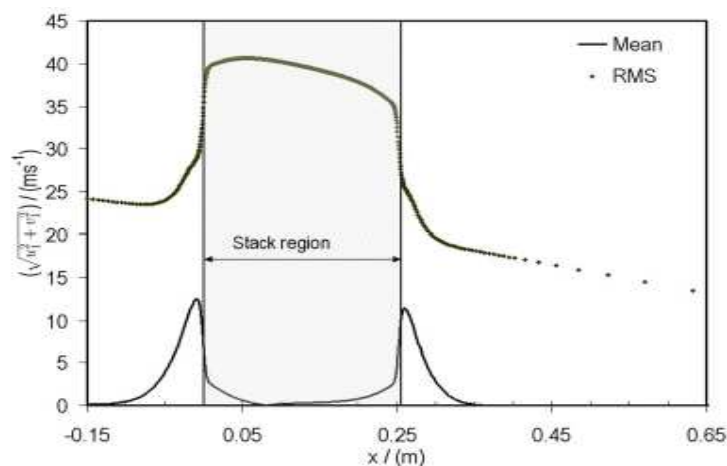


Рисунок 2 – Качественное распределение амплитуды средней и RMS скоростей вдоль пластины, период времени от 0.20280 с до 0.20480 с.

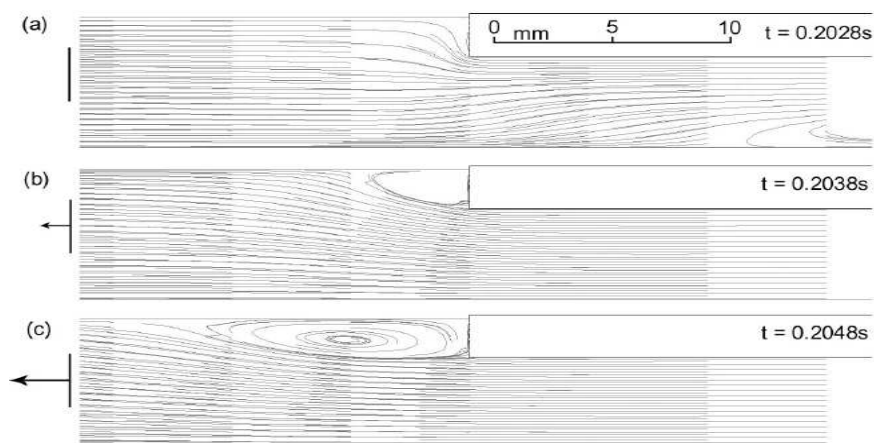


Рисунок 3 - Развитие поля скоростей у пластины регенератора

Приведенные результаты получены в упрощенной двумерной постановке. Для случая пластинчатой конструкции регенератора такое допущение представляется правомочной. В тоже время регенераторы на основе сеточных либо сотовых поверхностей, определяют существенную трехмерность гидродинамических процессов. Численное решение 3D задач требует больших затрат вычислительного времени. Поэтому выбор CFD пакета должен основываться на его сервисных возможностях, сроках подготовки задачи к расчетам. Авторами в качестве инструмента исследований Интернет-спільнота «Промислова екологія» <http://eco.com.ua/>

был выбран пакет Flow Vision [11]. Данный CFD комплекс ориентирован на решение нестационарных задач гидродинамики и переноса в трехмерной постановке, пакет поддерживает большое число моделей турбулентности, а также обеспечивает автоматическую генерацию адаптируемой расчетной сетки.

Планом исследований предусмотрено изучение влияния типа матрицы на характеристики термоакустического аппарата. При разработке регенератора рассматриваются цилиндрические матрицы в виде слоев плетеных плотно уложенных мелкоячеистых, наборы тонких пластинок с отверстиями сотового типа, а также, с отверстиями типа терки.

При численном моделировании приняты следующие основные допущения:

- расходы и температуры потоков остаются постоянными в течение всего цикла;
- продольная теплоемкость матрицы на несколько порядков ниже поперечной.
- параметры матрицы, собранной из плотно упакованных плетеных сеток, соответствуют параметрам идеальной матрицы.

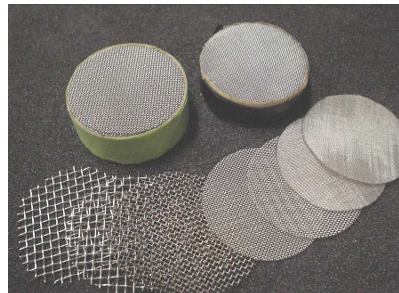


Рисунок 4 – Примеры матриц регенераторов термоакустических аппаратов

Выводы

Задача разработки экологически чистой установки кондиционирования на базе термоакустического эффекта является актуальной, сложной и многосторонней. Использование расчетных возможностей пакета Flow Vision и взаимодействие с CAD/CAM системами позволяет эффективно решить задачу моделирования рабочих процессов в элементах термоакустических установок кондиционирования воздуха на стадии эскизного проектирования. Разработаны 3D модели основных конструктивных элементов установки кондиционирования в CAD Solid Works.

Апробирована феноменологическая модель процессов, визуализация трехмерных полей давлений, скоростей, температур, концентраций компонентов в элементах установки, дающие возможность оценивать качество и эффективность предлагаемых конструктивных решений. Разработанный методологический подход позволяет оптимизировать конструкции установок КВ на базе термоакустического эффекта на стадии эскизного проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Backhaus S, Swift G W. A thermoacoustic-Stirling heat engine. *Nature*, 1999, 399: 335-338
2. Garrett S L, Backhaus S. The power of sound. *American Scientist*. 2000, 88: 516-525
3. Ward B., Clark J., and Swift G., Design Environment for Low-amplitude Thermoacoustic Energy Conversion «Delta EC». Los Alamos National Laboratory. LA-CC-01-13. 2008
4. Ward W C, Swift G W. Design environment for low-amplitude thermoacoustic engines. *J Acoust Soc Am*, 1994, 95(6): 3671-3672
5. Swift G W. Thermoacoustics: A unifying perspective for some engines and refrigerators. Condensed Matter and Thermal Physics Group, Los Alamos National Laboratory, USA, 1999
6. Karpov S, Prosperetti A. A nonlinear model of thermoacoustic devices. *J Acoust Soc Am*, 2002, 112(4): 1431~1444
7. Qiu L M, Chen G B, Jiang N. Optimum packing factor of the stack in a standing-wave thermoacoustic prime mover. *International Journal of Energy Research*, 2002, 26(8): 729~735
8. Matsubara Y, Dai W, Onishi T, et al. Thermally actuated pressure wave generators for pulse tube cooler. In: *Cryogenics and Refrigeration-Proceedings of ICCR'2003*, International Academic Publishers, 2003. 57~60

9. Swift G W. Hybrid thermoacoustic-Stirling engines and refrigerators. In: Proceedings of Int'l Symposium on Energy Engineering (SEE 2000), Hong Kong, 2000. 2~17
10. Zoontjens L., Howard C.Q., Zander A.C., Cazzolato B.S., A Numerical study of flow and energy fields in thermoacoustic couples of non-zero thickness School of Mechanical Engineering, The University of Adelaide, South Australia [International Journal of Thermal Sciences](#), [Volume 48, Issue 4](#), April 2009, Pages 733-746.
11. Система моделювання руху рідини та газу FlowVision. Версія 2.3. Інструкція користувача. ООО «Тесис» Москва, 2006. - 311 с.