

УДК 539.9

А.Ю.Павлов (асп., каф. МПУ), А.И.Боровков, к.т.н., проф.

## ОБЩАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПО СОЗДАНИЮ ПОЛНОМАСШТАБНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Методика проектирования на базе современных САПР обеспечивает полномасштабное моделирование геометрии, технологических процессов, механической обработки, позволяет произвести комплексный инженерный анализ в различных областях знаний и многое другое. В САПР высокого уровня, охватывающих все этапы жизненного цикла изделия, одна и та же математическая модель, служит основой для всех стадий этапа проектирования. При выполнении инженерных расчётов необходимо обеспечить преобразование модели к виду, пригодному для практического использования МКЭ.

На основании [1], возбуждение колебаний в трубках теплообменного оборудования происходит под действием возмущающих сил со стороны рамы и из-за наличия пульсаций внешней среды, окружающей их. Исследования вибрационных характеристик трубок, проведённые на экспериментальном конденсаторе [2], обеспечили высокую точность полученных результатов, так как схема постановки эксперимента в достаточной мере отражала реальные условия их нахождения. Для организации подобных исследований на базе компьютерного моделирования и МКЭ также необходимо обеспечить достаточную детализацию расчётной схемы.

Целью работы является общая оценка возможностей по созданию полномасштабных моделей для исследования колебательных процессов в трубках теплообменного оборудования. В ходе работ были выполнены следующие исследования:

1. Анализ математического описания элементов конструкций теплообменников.
2. Сравнительная оценка производительности техники и программного обеспечения.
3. Выявление основной проблематики при создании полномасштабных моделей.

Детальный анализ существующих конструкций показал, что теплообменные аппараты рекуперативного типа состоят в основном из деталей геометрически простой формы, которые описываются наборами простых математических поверхностей, а основную проблему для моделирования представляет большое число трубок, которое может достигать значений порядка  $10^5$ .

Для оценки скорости создания подобных моделей и возможности работы с ними был проведён тест, в котором измерялось время, затраченное САПР на построение массива из 1000 элементов с размерностью 100x100. Результаты теста представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Математическое описание поверхностей	1.5 ГГц, 512 Мб	3.0 ГГц, 2 Гб
NURBS	20 мин	9 мин
Plane, Cylindrical	20 мин	9 мин

Результаты теста показали, что скорость расчёта геометрии прямо пропорциональна тактовой частоте процессора и мало зависит от других характеристик оборудования и математического описания поверхностей [3]. Время создания оказывается небольшим, но работа с моделью напрямую значительно затруднена из-за большой задержки её обновления при модификации. Современные САПР включают средства для работы с большими сборками, число деталей в которых может достигать  $10^6$ - $10^7$  и выше, что подтверждается примерами создания в них моделей самолётов, автомобилей и других конструкций высокой сложности, и данная проблема решается применением механизмов управления памятью и алгоритмов, служащих для упрощения описания геометрии.

При реализации детального конечно-элементного исследования колебательных процессов в трубках теплообменного оборудования необходимо учесть наличие большого числа деталей, имеющих большое отношение линейных размеров к толщине. Например, для самих трубок оно составляет величину порядка  $10^3$ . Таким образом, полномасштабная геометрическая модель должна быть существенно преобразована для перехода от объёмов к поверхностям и возможности использования двумерных сеток.

Известно, что для конечно-элементного статического анализа трубных досок, имеющих тысячи периодически расположенных отверстий для крепления трубок, используется метод, в котором густоперфорированная трубная доска заменяется некоторой эквивалентной (эффективной) сплошной средой (проводится гомогенизация). Таким образом, устраняются проблемы с моделированием сложной геометрии и обеспечивается возможность построения конечно-элементной сетки для расчёта. Достаточно очевидно, что гомогенизация перфорированной среды с целью исследования спектральных характеристик будет иметь особенности по сравнению с гомогенизацией для статических расчётов.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что хотя создание полномасштабной математической модели теплообменного аппарата практически и осуществимо, расчётная модель, построенная на её основе, будет значительно отличаться по геометрии, поэтому для дальнейших исследований достаточно ограничиться некоторым конечным объёмом и исследовать вибрационные процессы в трубках в его пределах. При этом необходимо обеспечить максимальную автоматизацию процесса преобразования математической модели в расчётную для обеспечения практической ценности разработки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Технический отчёт ВВМИСЛУ. Исследование вибрационных характеристик трубок конденсаторов, 1968.
2. Технический отчёт ВВМИСЛУ. Определение вибрационных и прочностных характеристик трубок и напряжений в трубных досках на экспериментальном конденсаторе при резонансе или автоколебаниях, 1964.
3. Белкин Ю.В. Инженерная графика в судостроении, Справочник – Л., Судостроение, 1983.