

УДК 539.9

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

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ НА ЛМЗ ПРИ РЕШЕНИИ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ

При проектировании устройств, предназначенных для проведения процессов промышленного теплообмена, возникает необходимость определения собственных частот колебаний трубок, обеспечивающих провод одного из теплоносителей, для обеспечения их гарантированной отстройки от резонансных частот колебаний. Принципиальная схема подобного рода устройств, называемых кожухотрубными теплообменными аппаратами рекуперативного типа, представлена ниже (рис. 1).

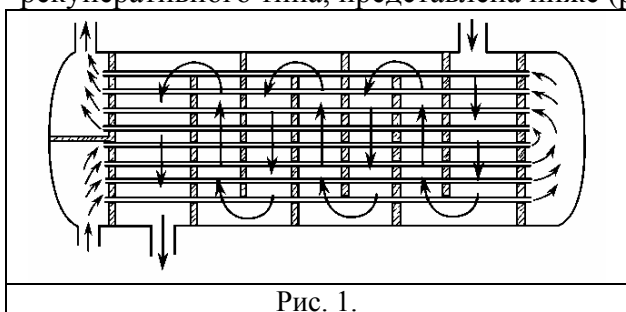


Рис. 1.

Целью одного из этапов работы является анализ существующих алгоритмов для вычисления собственных частот колебаний, практически применяемых при проектировании теплообменного оборудования, на примере машиностроительной отрасли. В ходе его проведения были выполнены следующие исследования:

1. Проведён анализ результатов стендовых испытаний теплообменного оборудования с разными схемами постановки экспериментов и степенью детализации опытов.
2. Изучена структура существующих расчётных моделей, заложенных в алгоритмы, используемые для реализации вычислений собственных частот колебаний.
3. Осуществлена сравнительная оценка результатов расчётов, полученных экспериментально и с помощью численных методов для трубок с идентичными параметрами.
4. Оценены возможности по усовершенствованию существующих алгоритмов за счёт учёта дополнительных факторов.

Анализ показал, что математические модели, заложенные в существующие алгоритмы, недостаточно полно характеризуют условия возникновения и протекания колебательных процессов в трубках. В большинстве случаев, они сводятся к решению дифференциального уравнения поперечных колебаний многопролётной балки (1) с определением собственных частот численными методами.

$$\frac{d^4 U_i(x)}{dx^4} - k^4 U_i(x) = 0, \quad (1)$$

где $k^4 = \frac{m\omega^2}{EI}$; $I = 1, 2, \dots, n$ - номер пролёта; m – масса участка балки единичной длины; ω - собственная частота колебаний; E – модуль упругости материала; I – момент инерции сечения.

Распространение такого подхода к решению задач по определению собственных частот колебаний можно объяснить достаточно близким совпадением результатов вычислений с данными, полученными экспериментальным путём при постановке опытов по упрощённой схеме. Наряду с этим, детальный анализ результатов стендовых испытаний, представленных в [1,2], показывает, что на величину собственных частот колебаний трубок оказывают

влияние не только их геометрические характеристики и взаимное расположение опор, но и условия закрепления, толщины перегородок, жёсткость рамы, наличие внешней среды и некоторые другие факторы, учёт которых традиционно компенсируется завышенными значениями расчётных критериев, служащих для оценки запасов от резонансных частот.

В работе изучена возможность усовершенствования существующих расчётных алгоритмов за счёт ввода в них дополнительных условий влияния на примере добавления в решение уравнения (1) учёта внешней среды по известному методу присоединённых масс [4]. Было выяснено, что в результате такой модификации расчётные значения собственных частот колебаний действительно находятся в соответствии с экспериментальными данными, отраженными в [1,2], но общее усложнение алгоритма отрицательно сказывается при его применении к различным расчётным схемам, и, в целом, снижает универсальность полученного метода. На основании этого можно сделать вывод, что при дальнейшем усовершенствовании алгоритма и добавлении в него новых аналитических зависимостей его универсальность будет и далее снижаться, если принять во внимание всё многообразие существующих конструктивных решений теплообменного оборудования. Таким образом, заметное повышение точности полученных результатов может быть достигнуто лишь наряду с неоправданным усложнением вычислительной части и программной реализации метода, поэтому такой подход к решению данной задачи представляется неэффективным.

Исходя из вышеизложенного, наиболее перспективной в данной ситуации видится реализация вычислений собственных частот колебаний трубок теплообменного оборудования с использованием технологий трёхмерного моделирования и метода конечных элементов, которые позволяют обеспечить высокую степень детализации математической модели, наряду с сохранением достаточной гибкости и универсальности метода. К тому же, только при таком подходе можно учесть специфику применения современного программного обеспечения, предназначенного для автоматизации процессов проектирования и инженерного анализа, а значит обеспечить комфортные условия для практического использования метода инженерами-конструкторами и инженерами-расчетчиками.

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. Описание программы 0330-702-00110 13 01-ЛУ “Расчёт частот и форм собственных колебаний конденсаторных трубок”, 1984.
4. Справочник по строительной механике корабля, т. 3, под общ. ред. Ю.А. Шиманского – Л.: Судпромгиз, 1960 .