

РАЗРАБОТКА ЛИНЕЙНОГО КОНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА, МОДЕЛИРУЮЩЕГО ВИБРОАКУСТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМАХ

Миронова Т.Б., Прокофьев А.Б.

Самарский государственный аэрокосмический университет

THE FINITE ELEMENT FOR SIMULATING THE VIBROACOUSTIC OF PIPE SYSTEM
Mironova T.B., Prokofiev A.B. The finite element describing vibroacoustic of pipe under force excitation by oscillating fluid are developed. The element has a smaller calculation time comparing Ansys.

Для расчета динамических процессов в трубопроводных системах используются САЕ-системы, базирующиеся на методе конечных элементов. При этом для моделирования виброакустических характеристик трубопроводных систем используются 2 типа конечных элементов: solid – твердотельный элемент, описывающий стенку трубопровода и fluid – элемент, описывающий рабочую среду. Полная конечно-элементная модель трубопровода содержит сотни тысяч конечных элементов и является довольно громоздкой при проведении расчётов. В связи с этим, разработка нового типа конечного элемента, учитывающего взаимодействие вибрационных и акустических процессов в жидкости и оболочке трубопровода является актуальной задачей.

Конечный элемент получен с помощью решения методом базисных функций обобщенной системы дифференциальных уравнений, описывающих динамику пространственно сложных разветвленных трубопроводных систем

$$\frac{\mathbb{Q}^2 \bar{u}}{\mathbb{Q} t^2} = \frac{\mathbb{Q} \bar{Q} \zeta}{\mathbb{Q} e} + \bar{q} + \bar{f} + \bar{g}_1, \quad \frac{\mathbb{Q} p}{\mathbb{Q} t} = -B_{mp} \frac{\mathbb{Q} w}{\mathbb{Q} e},$$

$$\bar{M} = A(\bar{c} - \bar{c}_0) + \bar{M}_0, \quad \frac{\mathbb{Q} \bar{w}}{\mathbb{Q} e} - \frac{\mathbb{Q} \bar{c}}{\mathbb{Q} t} = \bar{w} \cdot \bar{c}, \quad \frac{\mathbb{Q} \bar{u}}{\mathbb{Q} e} = \bar{e}_1 - \bar{e}_{10},$$

$$\frac{\mathbb{Q} \bar{M}}{\mathbb{Q} e} + \bar{e}_1 \cdot \bar{Q}_\delta \zeta + \bar{m} + \sum_{i=1}^m \bar{A}_i \bar{M}_i d(e - e_i) = 0, \quad \bar{f} = f_1 \bar{e}_1 + f_2 \bar{e}_2 + f_3 \bar{e}_3,$$

$$n \left(\frac{\mathbb{Q}^2 \bar{u}}{\mathbb{Q} t^2} + w \frac{\mathbb{Q}^2 \bar{u}}{\mathbb{Q} t \mathbb{Q} e} + \frac{\mathbb{Q} w \bar{e}}{\mathbb{Q} t \zeta} \bar{e}_1 + \frac{\mathbb{Q} \mathbb{Q} \bar{u} \ddot{e}}{\zeta \mathbb{Q} e} \bar{e}_2 + \frac{\mathbb{Q} \mathbb{Q} \bar{u} \ddot{e}}{\zeta \mathbb{Q} e} \bar{e}_3 \right) + w \frac{\mathbb{Q} w \bar{e}}{\mathbb{Q} e \zeta} \bar{e}_1 + \frac{\mathbb{Q} \mathbb{Q} \bar{u} \ddot{e}}{\zeta \mathbb{Q} e} \bar{e}_2 + \frac{\mathbb{Q} \mathbb{Q} \bar{u} \ddot{e}}{\zeta \mathbb{Q} e} \bar{e}_3 = - \frac{\mathbb{Q} (p \bar{e}_1)}{\mathbb{Q} e} + \bar{g}_2 - \bar{f}. \quad (1)$$

Введена функция Φ , удовлетворяющая дифференциальным уравнениям (1):

$$\Phi^T = \{\dot{u}_1, u_2, u_3, w_1, w_2, w_3, c_1, c_2, c_3, Q_1, Q_2, Q_3, p, w\}$$

Получены обобщенные уравнения метода взвешенных невязок. Система уравнений (1) была решена с помощью трехслой-

ной схемы интегрирования по времени методом простых итераций

$$M(\Phi^{g-1}) \frac{d^2 \Phi^g}{dt^2} + C(\Phi^{g-1}) \frac{d \Phi^g}{dt} + K(\Phi^{g-1}) \Phi^g = f^{g-1}. \quad (2)$$

Проведены экспериментальные исследования трубопровода при его нагружении пульсирующим потоком жидкости и расчет данного трубопровода в Ansys и по предложенному методу. Полученные экспериментальные и расчетные данные хорошо согласуются с результатами моделирования (рис.1).

Разработанный тип конечного элемента позволил сократить число элементов более чем в 100 раз по сравнению с Ansys, упростил построение геометрической модели трубопровода и сетки конечных элементов. Вычислительная трудоемкость модели по сравнению с известными методиками расчета сокращена более чем в 1000 раз при сохранении точности вычислений. Математический аппарат, описывающий разработанный конечный элемент, позволяет внедрять его в современные САЕ-системы.

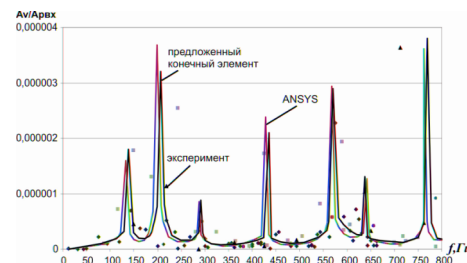


Рис. 1. Амплитудная частотная характеристика трубопровода