

Нелинейные эффекты в длинных упругих волноводах

Минченя В.Т., Степаненко Д.А.

Белорусский национальный технический университет

Гибкие волноводные системы для передачи ультразвуковых колебаний в настоящее время находят все более широкое применение в различных областях науки и техники: ультразвуковой тромболитизис, контактная литотрипсия, разогрев топлива при низких температурах, дистанционное управление ультразвуковыми двигателями, эндоскопическая нейрохирургия, очистка от загрязнений труднодоступных каналов технических систем. К сожалению, в настоящее время отсутствует теория, позволяющая производить расчет таких систем, и их анализ и синтез производятся исключительно опытно-экспериментальным путем. В статье предложена и исследована математическая модель, позволяющая исследовать продольные и изгибные колебания ступенчатых гибких волноводов с переходным участком без учета взаимного влияния различных типов колебаний. Модель основана на оригинальном численно-аналитическом методе расчета, использующем аналитические решения уравнений Эйлера-Бернулли и Вебстера, описывающих изгибные и продольные колебания ступеней волновода, и численные решения этих уравнений для переходного участка с непрерывным сопряжением решений на границах раздела ступеней и переходного участка. Численное решение уравнений Эйлера-Бернулли и Вебстера для переходного участка производится методом Рунге-Кутты. Профиль переходного участка аппроксимируется полиномиальной функцией. Предложенная модель может рассматриваться как первое приближение к решению проблемы расчета гибких волноводов, позволяющее выявить и обосновать эффективные методы ее решения. Для заданной частоты колебаний $f=25$ кГц построены резонансные кривые продольных и изгибных колебаний двухступенчатого волновода. Определены значения длин ступеней L_1 и L_2 , обеспечивающие совместный резонанс продольных и изгибных колебаний. Корректность предложенной модели подтверждена результатами моделирования с помощью метода конечных элементов с использованием программы ANSYS. С этой целью для каждого значения (L_1 , L_2) путем модального анализа определялась собственная частота колебаний и сравнивалась с заданной частотой $f=25$ кГц. Максимальное относительное отклонение расчетных частот от заданной для продольных колебаний не превысило 0,1 %, а для изгибных колебаний составило 12,6 %, что подтверждает корректность предложенной методики расчета.