3. Городецкий С.Ю., Гришагин В.А. Нелинейное программирование и многоэкстремальная оптимизация: учеб. пособие. – Н. Новгород: Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2007.

4. Кнут Д. Искусство программирования. Т. 2. Получисленные алгоритмы. – М.: Вильямс, Addison Wesley Longman, 2000.

5. Стронгин Р.Г. Численные методы многоэкстремальной оптимизации (информационно-статистические алгоритмы). – М.: Наука, 1978.

Л.Н. Бутымова, В.Я. Модорский, А.Ф. Шмаков, Д.Ф. Гайнутдинова

Пермский государственный технический университет

АНАЛИЗ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ АКУСТИЧЕСКОГО ТРАНСФОРМАТОРА

В целом ряде машиностроительных конструкций имеются каналы, заполненные жидкостью. Требуется создание методик, позволяющих прогнозировать поведение в динамической системе «жидкость-конструкция» при внешнем колебательном воздействии. Кроме того, авторам неизвестны модели, объясняющие эффект направленного движения жидкости в каналах упругих конструкций при их периодическом изгибе.

В полной постановке требуются моделирование источника колебаний, оптимизация его конструкции, обеспечение эффективности технологического процесса, моделирование самого технического объекта, что предполагает совместное решение гидродинамической задачи и задачи теории упругости (рис. 1).

В Центре высокопроизводительных вычислительных систем имеется необходимое программное обеспечение и оборудование для решения такого класса задач. В частности, Flow Vision, ABAQUS, ANSYS CFD, ANSYS CFX, STAR CD, LS DYNA, ANSYS WorkBench. В силу сложности поставленной задачи принято решение о ее поэтапной реализации. На первом этапе, рассматриваемом в данной работе, моделируется источник колебаний – акустический трансформатор (АТ).



Рис.1. Расчетная схема

Акустические трансформаторы или волноводы применяются для получения ультразвуковых колебаний большой амплитуды. Эти устройства представляют собой стержни переменного сечения из металла, пластика, стекла, керамики и других упругих материалов. В зависимости от характера изменения сечения применяются акустические трансформаторы, ступенчатые, конические и экспоненциальные (рис. 2).

Длина волновода должна иметь вполне определенное значение, чтобы частота собственных колебаний устройства совпадала с частотой возбуждающих колебаний, т.е. чтобы имел место механический резонанс (табл. 1).

Таблица 1

Габаритный размер	Размерность	Значение		
Длина по X	М	0,08		
Длина по Ү	М	0,05		
Длина по Z	М	0,1		

Размеры акустического трансформатора

Физико-механические, температурные и электромагнитные характеристики материала конструкции

Характеристика	Размерность	Значение		
Модуль Юнга	Па	20000000000		
Коэффициент	_	0,3		
Пуассона				
Плотность	$K\Gamma/M^3$	7850		
Коэффициент	1/°C	0,000012		
теплового расширения				
Предел текучести	Па	25000000		
при растяжении				
Предел текучести	Па	25000000		
при сжатии				
Предел прочности	Па	46000000		
на растяжение				
Предел прочности	Па	0		
на сжатие				
Тепловая	W/M·°C	60,5		
проводимость				
Удельная	Дж/кг·°С	434		
теплоемкость				
Относительная	-	10000		
проходимость				
Удельное	Ом·м	0,0000017		
сопротивление				

Поскольку в волноводах переменного сечения скорость распространения фронта волны является функцией скорости изменения сечения и физико-механических характеристик материала (табл. 2), вычисление резонансной волны волновода представляет определенные трудности. Кроме того, сложно вычислить амплитуды паразитных поперечных колебаний в волноводе, если его ширина или диаметр сравнимы с длиной волны или больше ее. В этом случае рабочая поверхность волновода колеблется несинфазно, что снижает качество генерируемых ультразвуковых колебаний.



Рис. 2. Общий вид твердотельной модели АТ

Для данной конструкции был проведен модальный анализ. Данный вид расчета используется для определения характеристик вибраций (собственных частот и форм колебаний) конструкции в процессе проектирования. Такой расчет может также являться начальной фазой другого, более подробного расчета, в том числе расчета переходных процессов, исследования вынужденных колебаний или случайных колебаний [Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с.].

Собственные частоты и формы колебаний являются важными параметрами, учитываемыми при проектировании конструкции в целях учета условий динамического нагружения. Они требуются также в дальнейшем расчете случайных колебаний, расчете вынужденных колебаний при помощи метода наложения форм или в расчетах переходных процессов [Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с.]. Для анализа собственных частот выбираем первые двадцать мод. Широкую грань закрепляем неподвижно. Материал–конструкционная сталь.

Рассмотрим результаты модального анализа (табл. 3).

Номер	Частота,	Номер	Частота,	Номер	Частота,	Номер	Частота,
моды	Γц	моды	Γц	моды	Γц	моды	Γц
1	10757	6	28028	11	35786	16	42337
2	12837	7	30335	12	38087	17	44410
3	15778	8	30801	13	38914	18	45250
4	18574	9	31048	14	40987	19	46213
5	26253	10	33385	15	41229	20	46837

Распределение частот по модам колебаний

Визуально определяем, какой частоте соответствуют колебания в направлении оси *Y* (см. рис. 2).

Переходим к гармоническому анализу. Для этого зададим перемещение широкой грани вдоль оси *Y* с амплитудой 5 мкм. По остальным граням зададим свободное перемещение.

Рассмотрим результаты гармонического анализа. Диапазон частот изменяется от 9,35 до 35 кГц (рис. 4).



Рис. 3. Зависимость частоты от номера моды колебаний



Рис. 4. Зависимость амплитуды перемещения рабочей поверности от частоты



Рис. 5. График зависимости коэффициента усиления от частоты

Модальный анализ показал, что резонансной является частота колебаний вдоль оси Y, равная 26,3 кГц. В ходе гармонического анализа был рассчитан коэффициент усиления K_y , равный отношению осредненной амплитуды перемещений узкой грани к отношению осредненной амплитуды перемещений широкой грани. График зависимости коэффициента усиления от частоты приведен на рис. 5.

Расчеты показали, что наибольший коэффициент усиления *K*_v равен 2,62 при частоте 26,5 кГц.

По результатам проведенных расчетов определены параметры нагружения экспериментальной установки, позволяющие получить максимальный коэффициент усиления K_y для заданных физико-механических и геометрических характеристик акустического трансформатора.

Л.Н. Бутымова, В.Я. Модорский

Пермский государственный технический университет

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Акустические трансформаторы (АТ), или волноводы применяются для получения высокочастотных колебаний большой амплитуды (рис. 1).

Размеры акустического трансформатора, физикомеханические, температурные и электромагнитные характеристики материала конструкции приводятся в статье¹.

¹ Анализ колебательных режимов акустического трансформатора / Л.Н. Бутымова [и др.] // Высокопроизводительные параллельные вычисления на кластерных системах (HPC-2010): материалы X Междунар. конф. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. 110