

## **МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАТЧИКА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

*Разработана методика оптимизации параметров ультразвукового датчика для повышения его динамической чувствительности. Отработаны принципы обеспечения хорошей обусловленности матрицы жесткости и численной устойчивости вычислительного процесса решения задачи для комбинированной системы*

Известно, что в полёте летучие мыши для ориентации пользуются отражением ультразвуковых волн, создаваемых специальными органами, которые могут колебаться с частотой до 70000Гц. Их уши реагируют на такую высокую частоту, и поэтому летучая мышь, издавая ультразвуковые волны, может слышать их отражение от препятствий, возникающих на пути её полёта, что помогает ей избежать столкновений. Подобным образом пытаются обеспечить безопасность движения автомобилей.

Для этого используется специальное оборудование - генератор импульсов, приёмник и селекторы для распознавания сигналов в определённых зонах.

Излучатель генерирует ультразвуковой импульс, который отражается от объекта. Часть лучей возвращается на приёмник. По амплитуде эхо-сигналов судят о величине объекта, а по времени от момента излучения импульса до момента приёма эхо-сигнала определяют расстояние до обнаруженного объекта.

Ультразвуковой датчик - наиболее важный элемент ультразвуковой системы, преобразующий электрическую энергию в механическую.

Ультразвук получают на основе пьезоэлектрического эффекта, с помощью специальной прямоугольной пластинки из сплава циркония и титана. Пластика соответственно закрепляется, и затем в ней возбуждаются резонансные колебания под действием переменного напряжения, прикладываемого к её поверхности, которая посеребрена для обеспечения электрического контакта.

Подобно многим другим электрическим механизмам, этот прибор имеет нелинейную характеристику, и его работа часто зависит от его элементов. Постоянство характеристик преобразователей пока ещё не обеспечивается промышленностью.

Для улучшения рабочих параметров, было проведено изучение динамической чувствительности датчиков к изменению параметров составляющих его конструктивных элементов при помощи программно-вычислительного комплекса SCAD [1].

В различных подходах построения расчетных схем ультразвуковых датчиков, опубликованных в литературе, учитываются только три основных конструктивных элемента – конический рожок, металлическая пластинка и пьезоэлектрическая пластинка. Однако, это может привести к погрешностям (в ряде случаев - значительным) при определении частот собственных колебаний датчика и параметров его амплитудно-частотных характеристик. В конструкции ультразвукового датчика необходимо учитывать и другие его конструктивные элементы, так как они играют роль не только связей, но и одновременно являются демпферами, увеличивающими вязкие потери энергии при колебаниях, тем самым, понижающими его добротность.

Поэтому в данной работе, учтены все конструктивные элементы ультразвукового датчика.

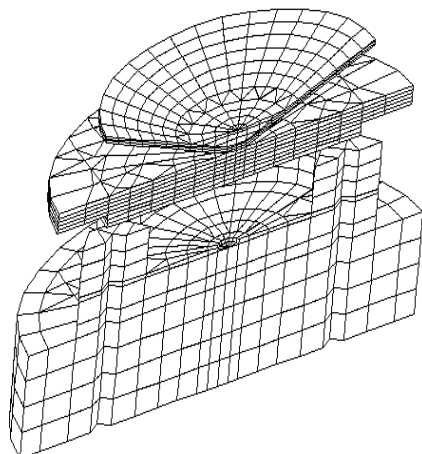


Рис. 1. Общая конечно-элементная модель датчика

Все конструктивные элементы, за исключением слоёв клея и серебряной пластинки, аппроксимировались объемными конечными элементами, а указанные выше элементы в связи с их очень малой толщиной - оболочечными конечными элементами. Материалы всех конструктивных элементов ультразвукового датчика в конечно-элементной модели приняты упругими и изотропными.

Для описанной выше конечно-элементной модели был выполнен динамический расчет, позволивший определить частоты и формы собственных колебаний.

Решение уравнения колебаний, при нулевой внешней нагрузке (т.е. собственных колебаний) имеет вид  $v(t) = A \sin \omega t + B \cos \omega t$ , где константы А и В определяются начальными условиями, которые вызывают свободные колебания системы. Величина  $\omega$  является круговой частотой. Циклическая частота колебаний  $f$  выражается соотношением

$$f = \frac{\omega}{2\pi}.$$

Важной задачей исследований, конечная цель которых состоит в улучшении рабочих параметров ультразвукового датчика, является изучение его динамической чувствительности к изменению параметров составляющих его конструктивных элементов: физико-механических характеристик материалов, толщины и других геометрических размеров.

Как оказалось, довольно существенное изменение модуля упругости клея от 912 МПа до 91.2 МПа практически не сказалось на общей работе прибора.

Полученный результат означает, что для улучшения рабочих параметров датчика необходимо варьировать, в первую очередь, толщиной и другими геометрическими размерами составляющих его конструктивных элементов, во вторую очередь, физико-механическими характеристиками материалов конструктивных элементов.

Анализ результатов выполненных расчетов позволил заключить, что 14 и 38 формы собственных колебаний ультразвукового датчика, которым соответствуют частоты - 46977.09 Гц и 67185.22 Гц, являются **рабочими**. Формы собственных колебаний- 10; 12; 16 и 35 которым соответствуют частоты - 37919.72 Гц; 40297.24 Гц; 47839.26 Гц и 65085.34 Гц, можно считать **близкими к рабочим**.

Для указанных форм собственных колебаний ультразвукового датчика определены:

- вертикальные относительные смещения узла, расположенного на верхнем обресе конического рожка и узла, находящегося в центре верхней поверхности металлической пластинки;
- отношение вертикальных относительных смещений этих узлов.

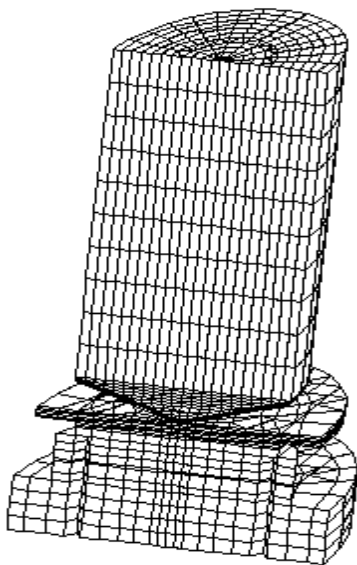
Одной из наиболее важных задач данного исследования является изучение взаимодействия ультразвукового датчика и металлической пластинки, соединенных друг с другом слоем воздуха.

Важность указанной задачи заключается в том, что она позволяет:

- отработать принципы и технику построения конечно-элементной модели датчика с учетом воздушных внешних слоев;
- выявить возможности используемого программного обеспечения (проектно-вычислительного комплекса SCAD) к решению задач подобного класса;
- выполнить первоначальную оценку демпфирующих свойств воздуха на работу прибора.

В частности на указанной задаче были отработаны принципы обеспечения хорошей обусловленности матрицы жесткости и численной устойчивости вычислительного процесса решения задачи для комбинированной системы, объединяющей в единое целое сильно разнородные по жесткостным параметрам конструктивные элементы - ультразвуковой датчик, металлическую пластинку и соединяющий их слой воздуха. Для решения указанной задачи, была создана вторая конечно-элементная модель ультразвукового датчика (с учетом воздуха, расположенного внутри базы датчика), дополненная, конечно-элементной моделью металлической пластинки и находящимся между ними слоем воздуха.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что реализованная конечно-элементная модель позволяет как качественно, так и количественно исследовать взаимодействие входящих в неё конструктивных элементов. Так, например, видно, что при некоторых формах собственных колебаний происходит достаточно сильное взаимодействие ультразвукового датчика и металлической пластинки через слой воздуха толщиной 10 мм. Так, например, отношение вертикального относительного перемещения узла N 2804 датчика и узла N 7276 металлической пластинки :



- 11 форма собственных колебаний составляет 24.313 (то есть коэффициент уменьшения вертикаль-ные относительные смещения равен  $k \approx 24$ );
- 17 форма собственных колебаний составляет 39.749 (то есть коэффициент уменьшения вертикаль-ных относительных смещений равен  $k \approx 40$ );
- 25 форма собственных колебаний составляет 354.945 (то есть коэффициент уменьшения вертикальных относительных смещений равен  $k \approx 355$ );
- 36 форма собственных колебаний составляет 216.822 (то есть коэффициент уменьшения вертикальных относительных смещений равен  $k \approx 217$ );
- 40 форма собственных колебаний составляет 5.117 (то есть коэффициент уменьшения вертикальных относительных смещений равен  $k \approx 5$ ).

Рис.2. Конечно-элементная модель, объединяющая ультразвуковой датчик, металлическую пластинку и соединяющий их друг с другом слой воздуха

воздух, расположенный между датчиком и его корпусом и других конструктивных элементов.

Очевидно, что указанный коэффициент уменьшения относительных смещений можно использовать при оптимизации параметров конструктивных элементов ультразвукового датчика, включая корпус датчика; слой клея;

Особо следует подчеркнуть, что решение рассматриваемой задачи позволяет оценить демпфирующее влияние воздуха на рабочие характеристики прибора. Так, например, для первой конечно-элементной модели рабочими являются 14 и 38 формы собственных

колебаний, которым соответствуют частота 46977.09 Гц и 67185.22 Гц. В свою очередь, для рассматриваемой конечно-элементной модели установлена уже только одна явная рабочая форма собственных колебаний - 17 форма, которой соответствуют частота 32362.97 Гц. Сопоставление 14 формы собственных колебаний для первой конечно-элементной модели датчика и 17 формы собственных колебаний для второй конечно-элементной модели позволяет установить их полную топологическую адекватность.

Таким образом, поскольку уменьшение значения частоты для этих форм собственных колебаний составляет 31.1%, то и демпфирующее влияние воздуха в этом случае можно оценить также в 31.1%.

Выполнено исследование влияния воздуха для ультразвукового датчика с крышкой на общую работу датчика - третья конечно-элементная модель (Рис. 3). При проведении расчетов с целью наиболее полного изучения работы и динамических характеристик третьей конечно-элементной модели датчика было определено 50 форм собственных колебаний.

Анализ полученных результатов позволил установить, что **рабочей формой** колебаний для третьей конечно-элементной модели датчика является 46 форма

Изучение полученных для третьей конечно-элементной модели результатов показало, что для этой формы характерны максимальные колебания воздуха, расположенного между конусом датчика и крышкой его корпуса

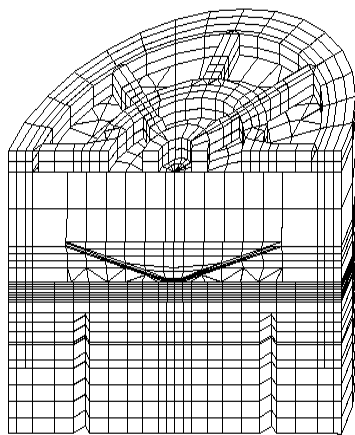


Рис.3. Конечно-элементная модель датчика с учетом воздуха, расположенного внутри базы и между датчиком и его крышкой.

**Близкими к рабочей формами** колебаний для третьей конечно-элементной модели являются 39, 44 и 48 формы. Для рабочей и близких к рабочей формам собственных колебаний крышки датчика характерны колебания конуса и воздуха над ним при практически неподвижных остальных конструктивных элементах, т.е. осуществляется «прокачка» воздуха сквозь решетку крышки корпуса датчика. Как следует из расчётов, для третьей конечно-элементной модели датчика - **рабочей форме** N 46 собственных колебаний соответствует частота 41050.67 Гц, а **близким к рабочей формам** собственных колебаний соответствуют следующие частоты: форма N 39

- 37669.38 Гц; форма N 44 - 39919.66 Гц и форма N 48 - 42870.46 Гц.

Таким образом, все эти частоты лежат в довольно узком частотном диапазоне.

Для третьей конечно-элементной модели ультразвукового датчика, определенная расчетом частота рабочей формы N 46 собственных колебаний датчика - 41050.67 Гц, является максимально близкой к его стандартной частоте 40000.0 Гц [2].

### Список литературы

1. Карпиловский В.С., Криксунов Э.З, Перельмутер А.В., Перельмутер М.А., Трофимчук А.Н. SCAD для пользователя. – К.: ВВП «Компас», 2000. –332с.
2. Johnson P. Ultrasonic Sensors и Their Application. Section 1 «MuRata Ultrasonic Sensors Specifications. Sketch of 40 КГц Air Transducer. Metallurgy & Materials Examination», Automotive Technologies International, Inc., San Diego, 4 December 1998, p. 1-20.