

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОТЕРМОУПРУГИХ МОДЕЛЕЙ

М.В. Богуш
«НКТЬ Пьезоприбор» ЮФУ

В работе рассматриваются методы анализа и синтеза пьезоэлектрических датчиков на основе инвариантных относительно геометрии изделия и способов приложения нагрузки численных моделей. Исследование пространственных электро- и термоупругих задач осуществляется методом конечных элементов (МКЭ) с использованием программного пакета ANSYS. В связи с отсутствием в ANSYS пьезоэлектрических конечных элементов и невозможностью прямого электротермоупругого анализа динамических задач рассматривались модели двух типов: динамические электроупругие модели при исследовании АЧХ датчиков и статические термоупругие модели при исследовании их напряженного состояния с учетом теплового расширения [1].

Цель анализа - расчет ожидаемых метрологических и эксплуатационных характеристик датчика выбранной базовой конструкции и поиск путей их оптимизации. Цель синтеза - создание датчика, удовлетворяющего заданным техническим требованиям. Поскольку датчик должен обладать совокупностью технических характеристик, включая метрологические, эксплуатационные, массогабаритные и, как правило, невозможно выделить одну функцию цели, то синтез осуществлялся путем перебора возможных базовых вариантов конструкций. При этом выполняются этапы работы, показанные на рис.1, где используются следующие обозначения:

1) характеристики конструкционных изотропных материалов (металлов и диэлектриков): ρ_k - плотность, E_k - модуль Юнга, ν_k - коэффициент Пуассона, β_k - коэффициент линейного теплового расширения (КЛТР), Q_k - добротность, $\sigma_{вк}$, $\sigma_{0,1k}$ - пределы текучести или пропорциональности для металлов, σ_k^+ , σ_k^- - пределы механической прочности на растяжение и сжатие керамических материалов, k - номер детали ($k = 1, 2, 3 \dots N$), N - общее число деталей.

2) Характеристики ПКМ: ρ - плотность, полный набор упругих s_{ij} , пьезоэлектрических d_{ij} и диэлектрических ϵ_{ii} модулей, β_i - КЛТР в направлении вдоль и поперек полярной оси, Q - добротность, σ^+ и σ^- - то же, что и в 1).

3) Характеристики внешней среды (жидкости или газа): ρ - плотность, μ - молекулярная масса, $v_{зв}$ - скорость звука.

4) Расчетные характеристики: f_i - собственные частоты ($i = 1, 2, 3$ - все значимые для анализа частоты датчика), K_i - коэффициент преобразования информационного параметра, $P_{рк}$ - несущая способность k -той детали при механических нагрузках, ΔT - диапазон рабочих температур датчика по условиям прочности, $K_{вj}$ - коэффициенты преобразования влияющих факторов, например,

виброэквивалент W_{ap} или деформационный эквивалент W_{sp} для датчиков давления и др, $j = 1, 2, 3 \dots$ – все значимые механические влияющие факторы).

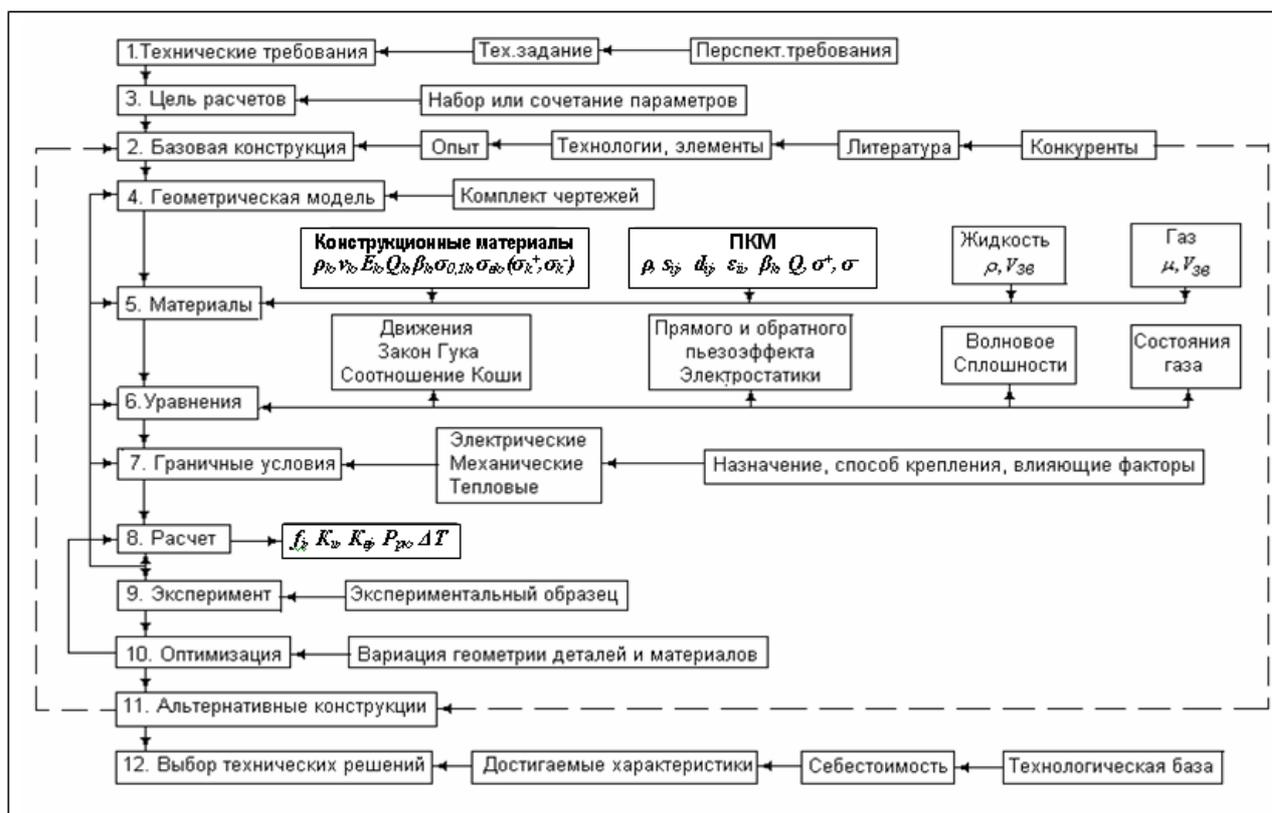


Рис. 1. Методы анализа и синтеза пьезоэлектрических датчиков

Новизна предлагаемых методов заключается в том, что пьезоэлектрический датчик рассматривается как система с распределенными параметрами и анализируется с помощью универсальных относительно геометрии изделия и способов приложения нагрузки численных пространственных электротермоупругих моделей и отличается от известных комплексным учетом требований к диапазону рабочих частот, чувствительности к информационному параметру и влияющим механическим факторам, прочности в условиях эксплуатации при действии сильных механических нагрузок и изменении температуры.

При этом для расчетов используется более совершенный математический аппарат (см. этап 6 «уравнения»), большой объем сведений о характеристиках материалов (см. этап 5 «материалы»), анализируются не только амплитудно-ча-

стотные характеристики датчика, но и влияющие на его метрологические характеристики факторы, а также сильные внешние воздействия (см. этап 8 «расчет»). Без комплексного анализа всех перечисленных характеристик невозможно полноценное проектирование и оптимизация конструкции пьезоэлектрических датчиков с учетом реальных условий эксплуатации.

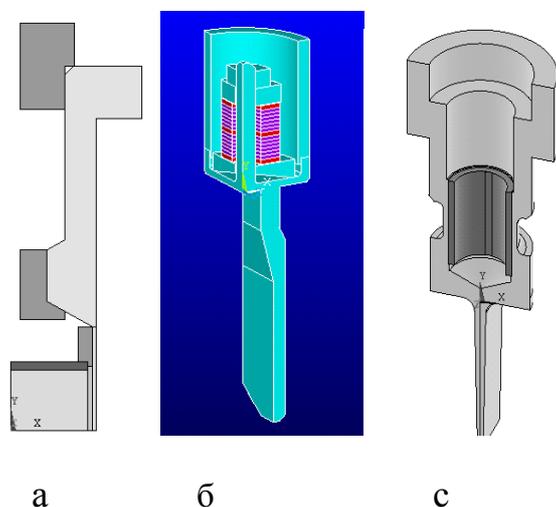


Рис. 2

Приводятся примеры проектирования (анализа и синтеза) различных типов пьезоэлектрических датчиков: излучателей - приемников для ультразвуковых расходомеров газа, рис. 2 а [2], работающих поочередно на прямом и обратном пьезоэффекте, где информационным параметром является разность времени прохождения ультразвуковой волны вдоль и навстречу потоку, вибрационных сигнализаторов уровня, рис.2 б [3], – измерительных преобразователей параметрического типа с частотным выходным сигналом, зависящим от глубины погружения ка-

мертона в жидкость, где одновременно используется прямой и обратный пьезоэффект, и датчиков изгибающего момента для вихревых расходомеров, рис.2 в [4], работающих на прямом пьезоэффекте, где информационным параметром является частота следования вихрей, возникающих за телом обтекания, пропорциональная скорости потока.

Благодаря применению при проектировании этих изделий принципиально новых методов анализа и синтеза, каждое из них обладает уникальными свойствами. Эти изделия выпускается серийно и используется в современных измерительных и управляющих системах.

Библиографический список:

1. Богуш М.В. Проектирование пьезоэлектрических датчиков с использованием конечно-элементных математических моделей//Приборы – 2007.- № 12.- с. 30-38.
2. Богуш М.В. Проектирование пьезоэлектрических преобразователей для ультразвуковых расходомеров газа//Датчики и системы –2007.- №8.-с. 8-11.
3. Богуш М.В., Гарковец А.А. Панич А.Е. Шатуновский О.В. Пьезорезонансные сигнализаторы уровня// В кн. Актуальные проблемы пьезоэлектрического приборостроения и нанотехнологий. Ростов-на-Дону. Изд-во ООО «ЦВВР». 2006. – с. 63-68.

4. Богуш М.В., Пикалев Э.М. Проектирование пьезоэлектрических датчиков изгибающего момента для вихревых расходомеров газа и пара// Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика – 2008. - № 4.