

*Воробьев Андрей Николаевич*

магистрант

ФГБОУ ВО «Московский технологический университет»

г. Москва

## **АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АКТЮАТОРОВ**

*Аннотация: в данной статье рассмотрены несколько различных моделей пьезоэлектрических актюаторов, факторы, влияющие на их расчетные характеристики, а также возможные перспективы и направления их развития и применения.*

**Ключевые слова:** пьезоэффект, пьезоэлектрический актюатор, пьезоактюатор.

В последнее время широкое применение в технике получают пьезоэлектрические актюаторы (ПЭА). В основе принципа действия этих актюаторов лежит обратный пьезоэффект, суть которого заключается в возникновении физической деформации вещества под действием электрического поля. Иными словами, при действии электрического поля на элементарные заряды в ячейке кристаллической решетки пьезовещества происходит их смещение и как следствие деформация.

Применяются ПЭА довольно широко: автомобилестроение (пьезоклапаны топливной системы, системы безопасности и т. д.), медицинская техника (терапевтические приборы), авиационная и космическая техника (системы демпфирования колебаний), в качестве приводов адаптивных оптических систем и систем управления лазерным лучом. И это далеко не полный список.

Конструктивные особенности актюаторов позволяют разделить их на две большие группы:

I группа. В нее входят актюаторы, которые крепятся на поверхности управляемых ими элементов;

II группа. В нее входят актиоаторы, которые размещаются внутри управляемых конструкций (т.е. встраиваются между слоями элементов управляемых конструкций).

Требования к свойствам пьезоматериалов, как основным частям актиоаторов, определяются тем, какие виды напряженно-деформированного состояния (НДС) в них действуют. Это могут быть изгиб, кручение, растяжение или сжатие.

В последнее время широкое распространение получили исследования в области создания так называемых силовых актиоаторов, которые характеризуются большими механическими усилиями и перемещениями что позволяет их использовать, в отличии от прецизионных актиоаторов, в системах демпфирования колебаний элементов летательных аппаратов. Таким образом, ставится задача максимально возможного повышения величины механических усилий, которые должны передаваться силовыми ПЭА на управляемые элементы, и величины их смещения.

Для этого в первую очередь нужно исследовать следующие основные факторы, которые оказывают влияние на выходные характеристики пьезоактиоаторов. К таким факторам относятся:

1. Способность пьезоэлемента превращать энергию в нашем случае из электрической в механическую. Эта способность пьезоэлемента характеризуется коэффициентом электромеханической связи (КЭМС).
2. Различие модулей упругости и сдвига пьезоэлемента (ПЭ) и подложки.
3. Зависимость модулей упругости и сдвига материалов, из которых выполняются пьезослой, клеевой слой и подложка от температуры.
4. Коэффициенты линейного расширения материалов ПЭ и подложки.
5. Взаимосвязь толщины клеевого слоя и его адгезию с величиной смещений торцов ПЭ.
6. Зависимость величины смещений ПЭ от однородности поляризации.

В литературе [6] изложены результаты исследований балочной биморфной конструкции консольного типа, которая состояла из ПЭ PZT Sonex P53 и чисто стальной, а также армированной углеродными волокнами подложки.

Экспериментальный образец представлял собой консольную балку толщиной  $d$ , на которой были размещены два пьезоэлектрических пленочных элемента. Крепление ПЭ элементов к балке осуществлялось посредством kleевого соединения. В ходе эксперимента были проведены исследования зависимости величин смещений торцов подложки и пьезоэлементов от жесткости и толщины kleевого слоя. К электродам ПЭ прикладывались различные уровни электрического потенциала, при которых и производилось измерение величин смещения. Также параллельно проводился расчет и анализ величин смещений и напряжений в тонкой пластине и методом конечных элементов.

Из исследуемой в работе [6] модели, согласно результатам анализа НДС и формам колебаний, видно, что в этой модели реализуется сложное напряженное состояние. Но здесь рассматривались только изгибные колебания актиоатора.

В работе [2] рассмотрена экспериментальная модель, состоящая из консольной пластины с расположенными с двух ее сторон пьезоэлементами. Соединение твердотельных пьезоэлементов и пластины – kleевое. В данном исследовании были учтены как изгибные, так и крутильные напряжения. То есть в [2] рассматриваемая задача не делилась на плоскую и изгибную.

Практическое исследование модели, описанной в работе [6], проводилось на пьезокерамических пластинах толщиной 0,25 мм. Исследуемая модель представляла собой трехслойную структуру квадратной формы 50мм×50мм: алюминиевый сплав-ПЭ-алюминиевый сплав. При этом модули упругости были равны:

- алюминиевых слоев – 70 ГПа;
- ПЭ – 63 ГПа.

Пьезомодули пьезокерамики составляли:

- $d_{31} = 256 \text{ К/Н}$ ,
- $d_{32} = 256 \text{ К/Н}$ .

В поперечном и продольном направлении под действием электрического поля 550 В/мм прогиб торцов этих пластин составил 141 мкм.

В работе [2] были получены уравнения движения для среды, состоящей из упругого тела с включениями пьезоматериала. Полученные данные были подтверждены экспериментально на модели, представляющей собой пластину из алюминиевого сплава размером  $300 \text{ мм} \times 25 \text{ мм} \times 3,2 \text{ мм}$ . К верхней и нижней поверхностям этой пластины посредством клеевого соединения крепились ПЭ (пьезокерамика G1195) толщиной 0,25 мм.

Был проведен анализ работ [4] и [5] (в них приводятся результаты исследований балочных моделей актюаторов), который показал, что при длине конструкции 200–300 мм диапазон предельного деформирования составляет 100–200 мкм.

Увеличение предельного радиуса кривизны может быть достигнуто использованием новой схемы размещения ПЭ со встречными направлениями векторов поляризации, на электроды которых подается знакопеременный потенциал, на противоположных поверхностях консольной балки. В данной конструкции возможно получение значительно большей величины смещения.

Также для повышения предельного радиуса кривизны возможно использование актюаторов с неоднородно электродированными пьезопластинами. При этом возможно возбуждение колебаний на нескольких резонансных частотах.

При анализе такой схемы был сделан вывод о перспективности ее использования в авиастроении для силовых элементов конструкций летательных аппаратов.

### ***Список литературы***

1. Киричок И.Ф. Радиальные колебания и разрыв кольцевой пьезопластины при подводе электрического возбуждения к неоднородно электродированным плоскостям // Прикл. мех. – 2004. – Т. 40. – №3. – С. 80–88.
2. Молодцов Г.А., Биткин В.Е., Симонов В.Ф. и др. Формостабильные и интеллектуальные конструкции из композиционных материалов. – М., 2002.
3. Akopyan V.A. Some physical-mechanical problems of piezoelectric actuators. Principal directions and ways of development of the piezoelectric actuators, some electromechanical models, factors causing characteristics of actuators and schemes of their

construction are considered / V.A. Akopyan, E.V. Rozhkov, A.N. Soloviev, S.N. Shevtsov, E.S. Lesnikh.

4. Grawley E.F. Use of piezoelectric actuators as elements of intelligent structures / E.F. Grawley, J. Luis // AIAA J. – 1987. – v. 25. – P. 1373–1385.

5. Wang X. Designing for piezoelectric ceramic wafers bonded on structures using force transfer criteria / X. Wang, L. Ye, Y.W. Mai, S.C. Galea // Smart Mater. Struct. – V. 9. – 2000. – P. 157–162.

6. Beckert W. Analysis of the deformational behaviour of a bimorph configuration with piezoelectric actuation / W. Beckert, G. Pfundther // Smart Mater. Struct. – V. 11. – 2002. – P. 599–609.