

УДК 539.3  
DOI: 10.7868/25000640240103

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПЕРЕМЕННЫХ СВОЙСТВ ПОРИСТОГО ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНОГО БИМОРФА

© 2024 г. А.Н. Соловьёв<sup>1,3</sup>, В.А. Чебаненко<sup>1,2</sup>

**Аннотация.** Рассматриваются установившиеся колебания пьезоактивного биморфа с функционально-градиентными пьезоэлектрическими слоями, обладающими неоднородными свойствами по толщине. Решены прямая и обратная задачи. На основе вариационного принципа построена прикладная теория колебаний для квадратичного распределения свойств (пористости) по толщине, задача сведена к системе обыкновенных дифференциальных уравнений с граничными условиями. В ходе построения теории были приняты гипотезы Кирхгофа для механических полей. Для электрического поля была принята квадратичная зависимость распределения электрического потенциала по толщине. По длине электрический потенциал считался неизвестной функцией, зависящей от продольной координаты. Использование квадратичной зависимости распределения электрического потенциала по толщине позволяет более точно описать поведение электрического поля в задачах изгибных устоявшихся колебаний. На основе полученной прикладной теории была решена обратная коэффициентная задача идентификации параметров неоднородности (пористость в середине и на поверхности биморфа). В качестве дополнительной информации для решения обратной задачи рассматривались характеристики установившихся колебаний биморфа, которые могут быть измерены в натурном эксперименте. Обратная задача решалась на основе построения поверхностей и их изолиний зависимостей от параметров пористости: первой резонансной частоты изгибных колебаний, выходного потенциала при механическом возбуждении колебаний и амплитуды смещения свободного конца биморфа при механическом и электрическом возбуждении колебаний. Выбранной информации достаточно для однозначного определения структуры неоднородности пьезоактивного материала в классе квадратичных функций. Использование этих характеристик позволяет однозначно определить пористость в середине и на поверхности биморфа.

**Ключевые слова:** электроупругость, пластина, изгибные колебания, функционально-градиентный пьезоэлектрический материал, пористая керамика, обратная задача.

### IDENTIFICATION OF VARIABLE PROPERTIES OF A POROUS PIEZOELECTRIC FUNCTIONAL-GRADIENT BIMORPH

A.N. Soloviev<sup>1,3</sup>, V.A. Chebanenko<sup>1,2</sup>

**Abstract.** The study examines steady-state vibrations of a piezoactive bimorph with functionally graded piezoelectric layers that have inhomogeneous properties across the thickness. Direct and inverse problems have been solved. Based on the variational principle, an applied theory of vibrations has been constructed for the quadratic distribution of properties (porosity) over thickness. The problem has been reduced to a system of ordinary differential equations with boundary conditions. During the construction of the theory, Kirchhoff's

<sup>1</sup> Южный федеральный университет (Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105

<sup>2</sup> Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук (Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: valera.chebanenko@yandex.ru

<sup>3</sup> Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова (Crimean Engineering and Pedagogical University named after Fevzi Yakubov, Simferopol, Republic of Crimea, Russian Federation), Российская Федерация, 295015, Республика Крым, г. Симферополь, пер. Учебный, 8

hypotheses for mechanical fields were accepted. For the electric field, a quadratic dependence of the distribution of the electric potential over the thickness was adopted. Along the length, the electric potential was considered an unknown function depending on the longitudinal coordinate. The application of quadratic dependence of the distribution of the electric potential over the thickness makes it possible to more accurately describe the behaviour of the electric field in problems of steady-state bending vibrations. Based on the obtained applied theory, the inverse coefficient problem of identifying heterogeneity parameters (porosity in the middle and on the surface of the bimorph) was solved. As the additional information for solving the inverse problem, the characteristics of steady-state oscillations of the bimorph, which can be measured in a full-scale experiment, were considered. The inverse problem was solved on the basis of constructing surfaces and their isolines of the dependences on the porosity parameters: the first resonant frequency of bending vibrations, the output potential during mechanical excitation of vibrations, and the displacement amplitude of the free end of the bimorph during mechanical and electrical excitations of vibrations. It is shown that the selected information is sufficient to unambiguously determine the structure of inhomogeneity of piezoelectric material in the class of quadratic functions. The use of these characteristics makes it possible to unambiguously determine the porosity in the middle and on the surface of the bimorph.

**Keywords:** electroelasticity, plate, bending vibrations, functional-gradient piezoelectric material, porous ceramics, inverse problem.