

coordinate system relative to particular axis of global coordinate system must be assumed only for determination of initial position of transformed system, this procedure in case of calibration of system before measurements of accelerations can be omitted. Successive orientations of local coordinate system, which result from performed rotations, are determinate with taking into account successive mean values of angular velocities for particular rotations, which are measured in specified time intervals.

Software, which will be elaborated and next will be applied for measurement data analysis obtained during measurements of accelerations of vehicles in spatial system, will use presented above procedure based on quaternion algebra.

1. Z. Dziopa, „Mechanika lotu”, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2007. 2. J. Gajda, „Zastosowanie kwaternionów w algorytmach wyznaczania orientacji przestrzennej obiektów ruchomych, Mechanika teoretyczna i stosowana”, Tom 28, Zeszyt 1-2, Warszawa 1990, pp. 583 – 592. 3. G. Hoffmann, „Application of Quaternions, translation of original report: Anleitung zum praktischen Gebrauch von Quaternionen”, Technische Universität Braunschweig, 2005. 4. Z. Lozia, „Analiza ruchu samochodu dwuosowego na tle modelowania jego dynamiki”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1998. 5. R. Róziecki, „Bifurkacyjna analiza dynamiki lotu samolotu supermanewrowego z wektorowaniem ciągu”, Wrocław 2007, rozprawa doktorska.

УДК 004.942

К.К. Колесник

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра систем автоматизованого проектування

## АВТОМАТИЗОВАНА ТЕХНОЛОГІЯ РОЗРАХУНКУ МІКРОСЕНСОРІВ ПЕ’ЗОРЕЗИСТИВНОГО ТИПУ

© Колесник К.К., 2009

**Розроблено технологію та підсистему для проведення автоматизованого розрахунку та створення проектної документації мікросенсорів п’езорезистивного типу за допомогою АРІ функцій САПР (CAD/CAM/CAE). За допомогою підсистеми одержано залежності між фізичними величинами, які вимірюються завдяки мікросенсорів, та вихідною напругою з мостової схеми п’езорезисторів мікропередачів.**

**Ключові слова – мікросенсор, п’езорезистор, документація, САПР**

**The technology and subsystem for execution of automated calculation and creation of the technical documentation of the piezoresistive microsensors with the help CAD/CAM/CAE is presented. The associations between physical values and voltage out from a bridge circuit of piezoresistive microtransmitters are obtained.**

**Keywords – microsensor, piezoresistor, documentation, CAD**

### Вступ

Продуктування мікроелектромеханічних систем – MEMS (MicroElectroMechanical Systems) дає змогу вирішити проблеми, що пов’язані з матеріалоємністю створюваних конструкцій та їх енергоспоживанням. Особливістю мікросистем є можливість суміщати в собі електричну та механічну

складові, і тим самим об'єднувати в собі такі основні елементи MEMS, як мікросенсори, актюатори та блоки керування [1–2]. Сьогодні особлива увага приділяється математичному моделюванню мікросенсорів на основі прямого п'єзоефекту [3–5]. Тому автоматизація процесів розрахунку та створення проектної документації мікросенсорів п'єзорезистивного типу є актуальною задачею сьогодення.

### Конструкції мікросенсорів

Типові конструкції п'єзорезистивних мікросенсорів наведені на рис. 1. Ці конструкції включають пружний кремнієвий елемент та п'єзорезистори, які можуть бути з'єднані за мостовою схемою (рис. 2).

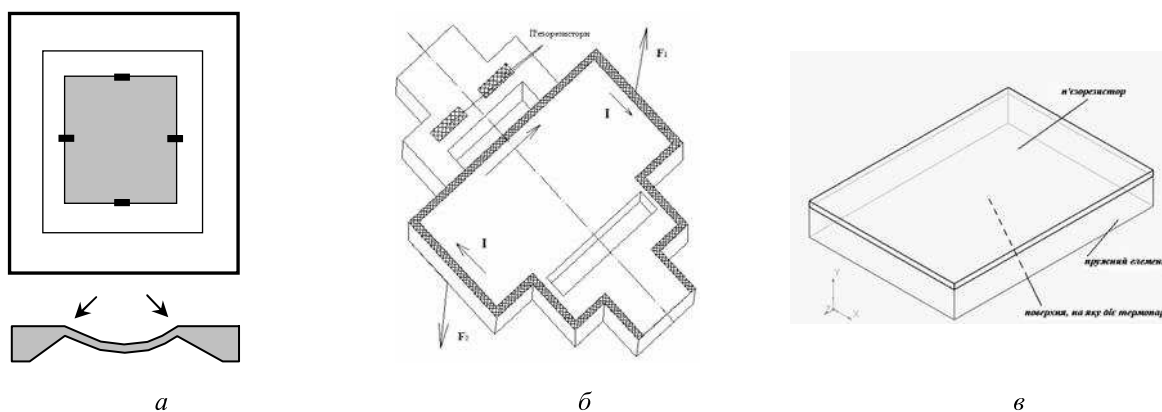


Рис. 1. Конструкції мікросенсорів п'єзорезистивного типу, де а, б, в – мікросенсори для вимірювання тиску, магнітного поля та температури відповідно

Принцип дії цих мікросенсорів полягає ось у чому. На пружний елемент інтегрального пристрою діє зовнішній фактор, який призводить до його деформації. Для фіксування зміни фізичних впливів на мікросенсори, на їх пружних елементах розміщені п'єзорезистори, які можуть бути з'єднані в мостову схему для одержання необхідного вихідного сигналу (напруги).

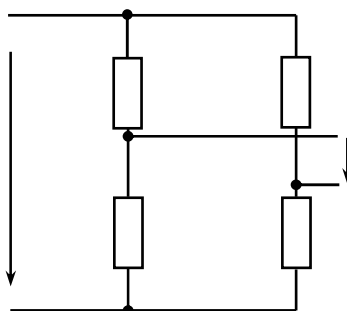


Рис. 2. Мостова схема для під'єднання п'єзорезисторів мікросенсорів

### Автоматизація процесу розроблення мікросенсорів

Реалізувати автоматизацію розрахунків та розробки проектної документації мікросенсорів п'єзорезистивного типу за допомогою CAD/CAM/CAE можна, якщо створити керуючу програму як COM Server Application DLL, застосовуючи API функції таких систем. Автоматизація побудови аналітичної моделі та розрахунку мікросенсорів за допомогою систем автоматизованого проектування (CAD/CAM/CAE) включатиме такі етапи:

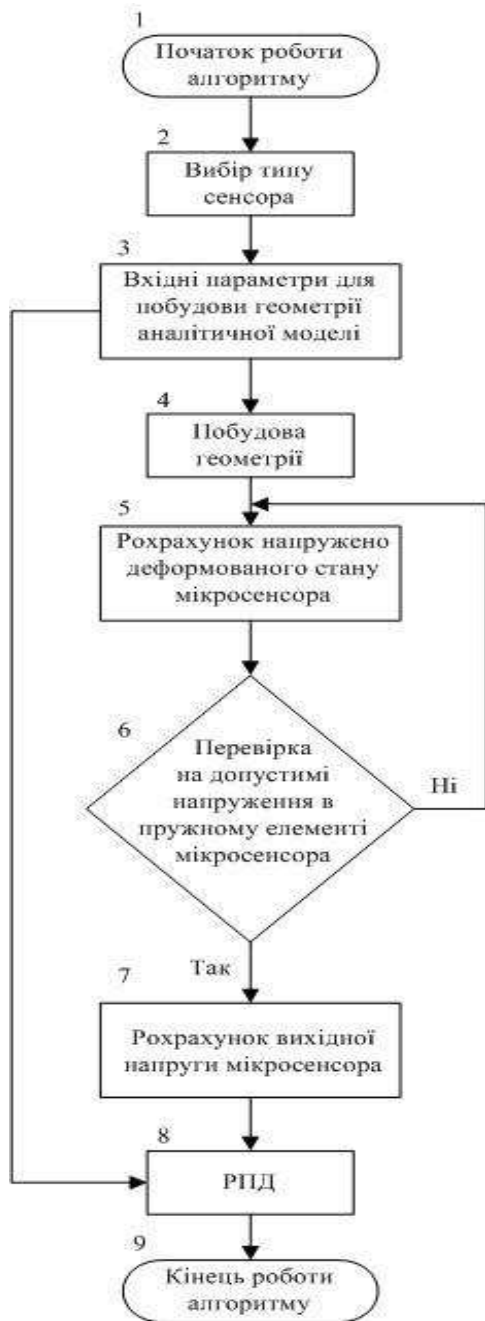


Рис. 3. Алгоритм роботи інтегрованої підсистеми для автоматизації процесу розроблення мікросенсора

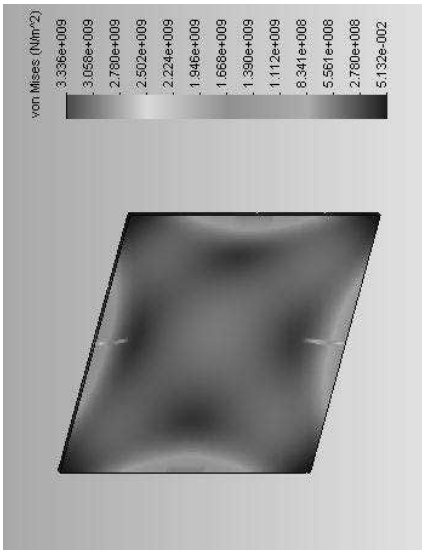
- побудова твердотільної моделі мікросенсора за допомогою API функцій САД-системи;
- вибір типу аналізу для проведення розрахунку сенсора;
- створення скінченно-елементної моделі мікродавача за допомогою API-функцій САЕ-системи та її розрахунок;
- аналіз результатів досліджень за допомогою оптимізаційного модуля САЕ-системи;
- автоматизація процесу створення проектної документації включатиме етапи побудови твердотільної моделі мікросенсора за допомогою API функцій САД-системи та створення складального креслення мікросенсора.

Функціональність інтегрованої системи для автоматизації процесу розроблення мікросенсора за даними етапами можна представити у вигляді алгоритму її роботи (рис. 3). Основним компонентом в процесі побудови твердотільної моделі виступає менеджер управління створеної геометрії викликом з бази даних або її створення за допомогою модуля побудови геометрії мікросенсора. Ця модель виступає вже основою для створення скінченно-елементної моделі за допомогою модуля для автоматизованого розрахунку мікросенсора. Результати розрахунків, які проведені модулем автоматизованого розрахунку мікросенсора, оптимізуються і передаються в базу даних. За остаточними результатами розрахунків створюється проектна документація на мікросенсор як інтегрованого компонента МЕМС.

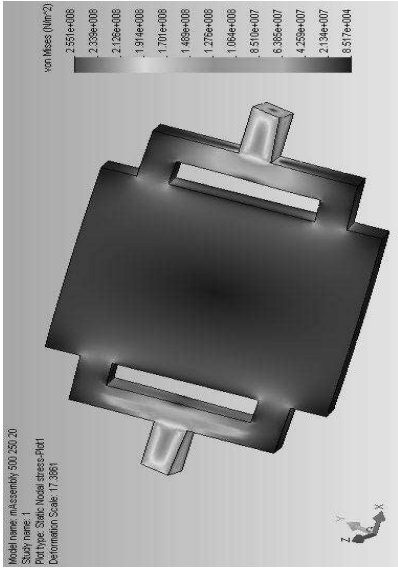
За допомогою розробленої підсистеми для автоматизації процесу розроблення мікросенсорів п'єзореzystивного типу проведено аналіз напружено-деформованого стану та отримано вихідні характеристики мікропередавачів для вимірювання тиску, магнітного поля та температури (рис. 4-5).

## Висновки

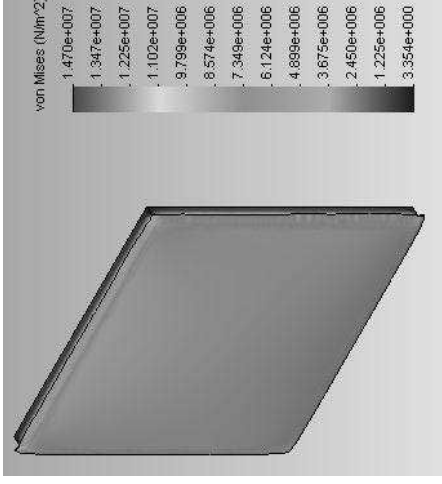
Розроблено інтегровану підсистему для автоматизованого проектування мікросенсорів п'єзореzystивного типу для вимірювання тиску, магнітного поля та термопар. Універсальність розробки дає змогу застосувати її для автоматизації процесу проектування мікросенсорів шляхом додавання модулів топологічних функцій та їх математичних моделей. Проаналізовано напружено-деформований стан мікросенсорів та отримано залежності між їх вхідними (зміна тиску, магнітного поля, температури) і вихідними (вихідна напруга) параметрами для подальшого системного аналізу мікропередавачів в МЕМС.



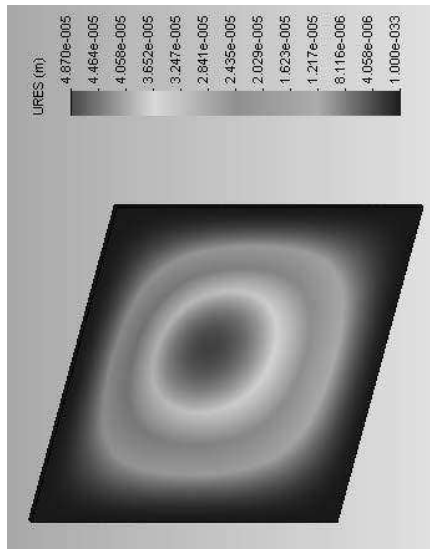
a



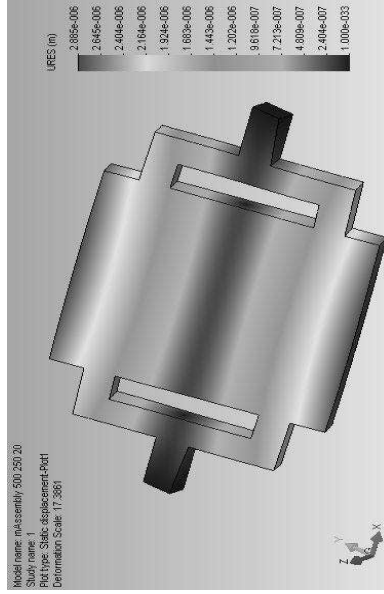
б



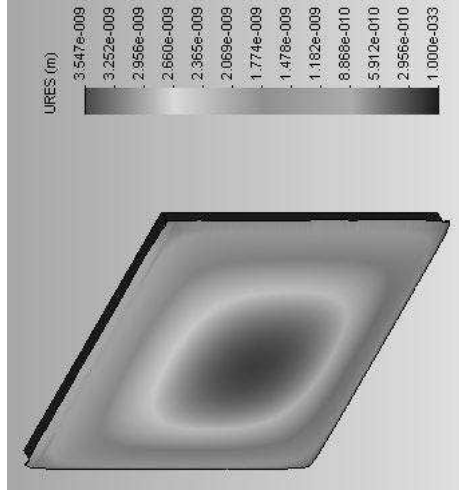
в



г

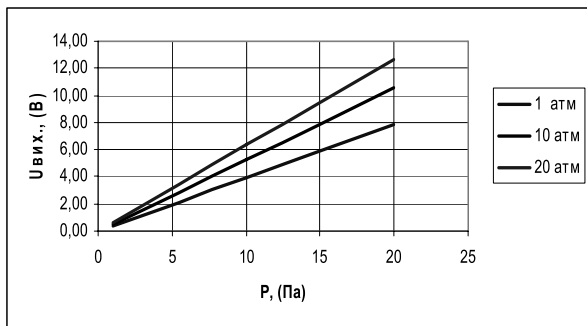


д

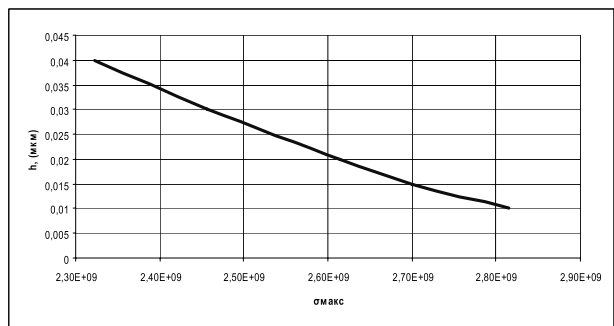


е

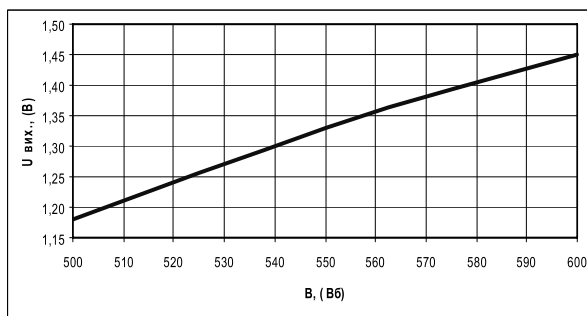
Рис. 4. Напружено-деформовані стани мікроелементів п'єзореzистивного типу для вимірювання: а, г – тиску; б, д – магнітного поля; в, е – температури



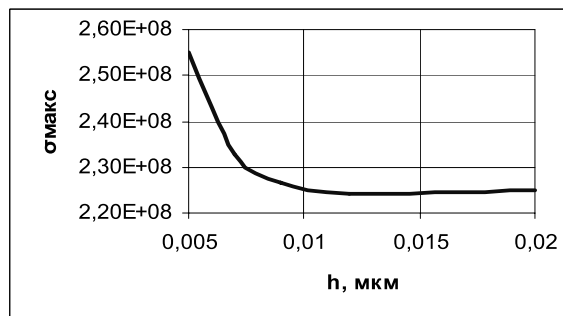
а



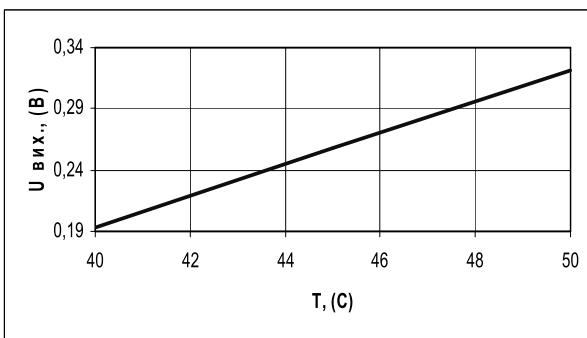
б



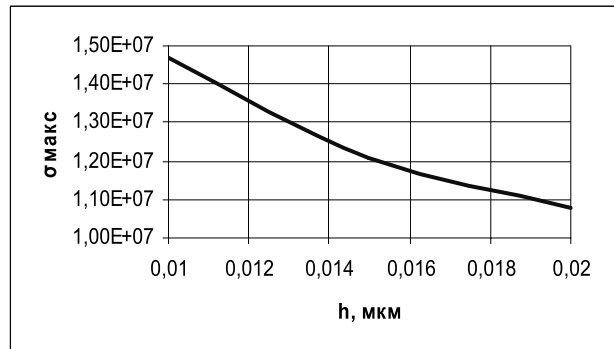
в



г



д



е

Рис. 5. Вихідні характеристики та залежності з адекватності розрахунку мікросенсорів п'єзорезистивного типу для вимірювання:  
а, б – тиску; в, г – магнітного поля; д, е – термопари

1. Лысенко И.Е. Проектирование сенсорных и актюаторных элементов микросистемной техники. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. –103 с. 2. Varadan V.K., Vinooy K.J. and Gopalakrishnan S. Smart Material Systems and MEMS: Design and Development Methodologies // John Wiley & Sons, Ltd., 2006. – P. 401. 3. Лобур М. В., Теслиук В.М., Колесник К.К. Математична модель для аналізу вихідних характеристик інтегрального сенсора тиску на компонентному рівні проектування // Наук.-техн. збірн. „Електроніка і зв'язь”, Тем. вип. „Проблеми електроніки”, Ч.2. – К.: НТУУ “КПІ”, 2005. – С. 109–111. 4. В.М. Теслиук, П.Ю. Расвський, К.К. Колесник, Р.Т. Панчак Математична модель магнітного інтегрального мікросенсора // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. “Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика”, № 548. – Львів, 2005. – С. 125–129. 5. Лобур М.В., Теслиук В.М., Колесник К.К., Денисюк П.Ю. Математична модель для обчислення термонапружень та переміщень в актюаторі на базі двошарової пластини // Вісн. Держ. ун-ту “Львівська політехніка”. “Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології”, № 496. – Львів, 2003. – С. 94–98.