

ния толкателя), найти параметры смещения этих контактных плоскостей, найти максимум деформации. В результате математического моделирования были найдены частоты при различных геометрических размерах актюатора и сделан сравнительный анализ с экспериментальными результатами.

**Ключевые слова:** математическая модель, пьезоэлектрический двигатель, математический анализ.

**S. F. Petrenko, O. A. Koshovuy**

*National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine*

#### **SIMULATION OF RESONANCE STATES PIEZOELECTRIC MOTOR**

Development of piezoelectric motor starts with the design of its piezoelectric resonator. Previously, this created a large number of work samples and conducted experiments on them, to their optimization. Usually it took a lot of time and resources. To date all the technology development has become much easier. Created mathematical models and all the necessary analysis conducted on computers with different conditions and loads. Therefore, prior to the creation of any working model is necessary to carry out mathematical analysis, which gives the results that coincide with the experimental research. To develop piezoelectric motor must first conduct a thorough analysis of its piezoelectric element, find its own frequency plane that can be taken as a contact (for attaching the pusher), find the displacement parameters of contact area, find the maximum strain. As a result, mathematical modeling, we found the frequency of various geometric dimensions and actuators made a comparative analysis with experimental results.

**Keywords:** mathematical model piezoelectric motor, the mathematical analysis.

*Надійшла до редакції*

*2 червня 2011 року*

УДК 62.799:628.87

#### **ВПЛИВ МІКРОКЛІМАТУ ВИРОБНИЧОГО ПРИМІЩЕННЯ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГІРОСКОПІЧНИХ ПРИЛАДІВ ПРИ ЇХ СКЛАДАННІ**

*Антонюк В. С., Мережаний Ю. Г.*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
м. Київ, Україна*

*Проведено аналіз експлуатаційних характеристик гіроскопічних приладів та виконано експертний аналіз технологічних похибок, на які можуть впливати параметри мікроклімату виробничого приміщення під час процесу їх складання. Виконано математичний аналіз експлуатаційних параметрів гіроскопічних приладів та проведено їх розподіл за ранжиром по ступеню впливу на них технологічного середовища. Запропонована методика аналізу ризиків і критичних контрольних точок (НАССР) для визначення критичних контрольних точок технологічного процесу складання.*

**Ключові слова:** мікроклімат, складання, прецизійність, гіроскопічні прилади, надійність.

#### **Вступ**

Постійне підвищення вимог до технічних та експлуатаційних характеристик прецизійних приладів та механізмів вимагає високої точності і стабільності їх характеристик. В більшості випадків причиною відмов приладів є висока інтен-

сивність зношування поверхонь деталей, заїдання у парах тертя, недостатні антифрикційна якість змащування вузлів тертя, а також, крім інших факторів, і технологічна спадковість від запиленості повітря, та рухливості пилу в робочих приміщеннях під час операцій складання.

Істотним чинником оцінки якості технологічних процесів складання прецизійних приладів є аналіз їх надійності з застосуванням математичних методів і моделей. Однак, повна математична формалізація техніко-економічних параметрів технологічних процесів часто нездійсненна внаслідок їх значної кількості і складності взаємозв'язків.

У ситуаціях, коли вибір, обґрунтування і оцінка наслідків рішень не можуть бути виконані на основі точних розрахунків рекомендується застосовують експертні методи [1]. У зв'язку з цим доцільно використовувати експертні методи, під якими розуміють комплекс логічних і математико-статистичних методів і процедур, спрямованих на отримання від фахівців інформації, необхідної для підготовки і вибору раціональних рішень, а також методику аналіз ризиків і критичних контрольних точок НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Points) [2]. Наявність як числових даних, так і змістовних оцінок експертів призводить до необхідності застосування якісних і кількісних методів обробки результатів групового експертного оцінювання. Питома вага цих методів істотно залежить від класу проблем, що вирішуються експертним оцінюванням. Приймаючи рішення, ми зазвичай припускаємо, що інформація, яка використовується для їх обґрунтування, достовірна й надійна. Практика показує, що основні труднощі, що виникають під час пошуку та виборі рішень, обумовлені передусім недостатньо високою якістю і неповнотою наявної інформації. Обробкою результатів експертного оцінювання можна визначати залежності між ранжирами різних експертів, і тим самим встановлювати єдність і відмінність в думках експертів.

При виготовленні сучасних прецизійних приладів, зокрема гіроскопічних приладів та систем, в цехах складального виробництва, необхідно забезпечувати з великою точністю мікрокліматичні параметри повітряного середовища, що в основному забезпечується системами вентиляції, які відіграють ключову роль у функціонуванні приміщень з підвищеним класом чистоти. Відповідно до вимог стандарту ISO 14644-1 ці виробничі приміщення повинні мати високу надійність і забезпечувати підтримку заданої чистоти повітря, бути оснащеними засобами контролю, діагностики стану мікрокліматичних параметрів повітряного середовища і здійснення моніторингу встановлених параметрів [3].

**Метою роботи** є визначення впливу параметрів зовнішнього середовища на характеристики гіроскопічних приладів при їх складанні на основі узагальнених даних і інформації, що міститься в експертних оцінках.

### **Виклад основного матеріалу**

В робочих приміщеннях складання приладів та систем орієнтації і навігації, зокрема в цехах прецизійного складального виробництва гіроскопічних прила-

дів, необхідно забезпечувати з великою точністю мікрокліматичні параметри повітряного середовища.

З метою проведення аналізу впливу мікроклімату виробничого приміщення на експлуатаційні характеристики гіроскопічного приладу, необхідно визначити чинники, які найбільше впливають на якість технологічного процесу складання.

Проведений аналіз технологічного процесу складання гіроприладу дозволяє створити математичну модель прогнозування, тобто інтерполювання зміни параметрів технологічного середовища під час складального процесу. Залежно від цілей експертного оцінювання і обраного методу вимірювання при обробці результатів опитування, згідно [4] формуються такі основні завдання:

- 1) побудова узагальненої оцінки об'єктів на основі індивідуальних оцінок експертів;
- 2) побудова узагальненої оцінки на основі парного порівняння об'єктів кожним експертом;
- 3) визначення відносних ваг об'єктів;
- 4) визначення узгодженості думок експертів;
- 5) визначення залежностей між рангами;
- 6) оцінка надійності результатів обробки.

Завдання побудови узагальненої оцінки об'єктів за індивідуальними оцінками експертів виникає при груповому експертному оцінюванні. При цьому експерт присвоював ранг кожному  $a_{km}$  фактору від 1 до 10. По кожному фактору поводилась сумарна оцінка рангів  $\Delta_k$  всіх експертів [4]:

$$\Delta_k = \sum_{m=1}^m a_{km}, \quad (1)$$

де  $a_{km}$  – відповідний ранг фактора.

Максимальний ранг по кожному фактору  $a_{km}$  не може бути більше числа порівнюваних факторів  $k$ . Максимальне значення суми рангів з кожного фактору не може бути більше множення максимально можливого рангу на число експертів. Мінімальна можлива сума рангів по кожному фактору не може бути менше мінімального рангу, помноженого на число експертів.

Розрахунок середньої суми рангу  $\bar{\Delta}$  здійснювалось за формулою:

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum_{k=1}^k \Delta_k}{k}, \quad (2)$$

де  $\sum_{k=1}^k \Delta_k$  – сума рангів;  $k$  – кількість порівнюваних факторів.

При цьому ступінь узгодженості думки експертів оцінюється за допомогою коефіцієнта конкордації Кенделла  $W$  [5]:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2(k^3 - k)}, \quad (3)$$

де  $k$  – число факторів;  $m$  – число експертів;  $S = \sum_{k=1}^k (\Delta'_k)^2$ , а відхилення суми рангів

кожного фактора від середньої суми рангів визначається, як  $\Delta'_k = \Delta_k - \bar{\Delta}$ .

Для перевірки гіпотези про не випадковість співпадання думок експертів використовується критерій Пірсона [6]. За сумою рангів  $\Delta_k$  виконується ранжування факторів. Мінімальній сумі рангів  $(\Delta_k)_{\min}$  відповідає найбільш важливий фактор, який отримує перше місце  $M = 1$ , всі інші фактори розміщуються в міру зростання суми рангів.

Вагові коефіцієнти визначались за наступною формулою:

$$K_k = 1 - \frac{a_k - a_{k\min}}{m - 1} \cdot d, \quad (4)$$

де  $a_k$  – ранг поточного  $k$ -го фактора;  $a_{k\min}$  – ранг  $k$ -го фактора, що має найважливіше значення;  $m$  – число експертів;  $d$  – діапазон зміни вагових коефіцієнтів показників (0,5...1);  $K_k$  – ваговий коефіцієнт  $k$ -го показника.

Розрахунок комплексного показника оцінки якості вихідного параметру проводився за формулою:

$$R_{\text{lop}} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i K_i}{\sum_{i=1}^n K_i}, \quad (5)$$

де  $n$  – кількість показників;  $a_i$  – середнє значення показника;  $k_i$  – ваговий коефіцієнт;

Наведені формули (1-5) дозволяють об'єктивно визначити ранг та рейтинг кожного фактора.

**Вирішення проблеми.** Для вирішення задачі оцінки впливу параметрів мікроклімату (концентрації аерозольних часток в повітрі, температури повітря та відносної вологості повітря) при складанні гіроскопічних приладів на їх експлуатаційні характеристики проведено опитування групи експертів Київського заводу автоматики ім. Г.Петровського.

Для цього проведено експертне опитування і визначалась ступінь впливу параметрів мікроклімату виробничого середовища на експлуатаційні характеристики гіроскопічного приладу:

- приріст величини моментів інерції;
- приріст величини моментів сил сухого тертя в опорах через похибку монтажу;
- моменти залишкового дебалансу системи при довільному положенні рамок карданового підвісу;
- зміна кінетичного моменту гіроскопа;
- непересічність та не перпендикулярність вісі обертання карданового підвісу та ротора;
- точність знімання показань за допомогою вимірників кутів різних типів
- заданий запасу стійкості системи;
- відхилення гіроскопа при разарретуванні.

За результатами проведеного експертного опитування, для ранжиру експлу-

таційних характеристик гіроскопічних приладів та ступеня їх залежності від якості технологічного середовища, тобто власне від параметрів мікроклімату виробничого приміщення, складено відповідну таблицю.

Кожний експерт вносить у таблицю данні, незалежно один від одного, і присвоював свій ранг кожному  $a_{km}$  фактору. Наприклад, експерт 1 ( $m = 1$ ) перший з восьми факторів ( $k = 1$ ) може оцінити рангом  $a_{11} = 2$ , другий фактор ( $k = 2$ ), оцінити рангом  $a_{12} = 4$ , і т.д.

За сумою рангів  $\Delta_k$  виконується ранжування факторів. Мінімальній сумі рангів  $(\Delta_k)_{\min}$  відповідає найбільш важливий фактор, який отримує перше місце  $M = 1$ , всі інші фактори розміщуються по мірі зростання суми рангів.

За формулою (1) визначено оцінку суму рангів всіх експертів кожного фактора, звідки отримали:  $\Delta_1 = 10$ ;  $\Delta_2 = 58$ ;  $\Delta_3 = 14$ ;  $\Delta_4 = 29$ ;  $\Delta_5 = 31$ ;  $\Delta_6 = 61$ ;  $\Delta_7 = 37$ ;  $\Delta_8 = 48$ .

Після чого визначено максимальний ранг по кожному фактору ( $a_{km}$ ), що становить:  $(\Delta_k)_{\max} = 61$ ; і мінімально можливу суму рангів по кожному фактору, яка становить:  $(\Delta_k)_{\min} = 10$ .

Середню суму рангу розраховано за формулою (2):  $\bar{\Delta} = 36$ .

Згідно формули (3) коефіцієнта конкордації Кенделла  $W$  становить:  $W = 0,93$ , де  $S = 2488$ . Оскільки коефіцієнт конкордації Кенделла  $W$  наближається до 1, то можна стверджувати, що між думками експертів є значний збіг і тому такі результати можна вважати достовірними.

Далі визначається критерій Пірсона  $\chi_p^2 = 52,08$ , а оскільки теоретичне його значення  $\chi_T^2 = 18,47$  і при цьому  $\chi_p^2 \geq \chi_T^2$ , то результати експертизи можна вважати адекватними.

За результатами апріорного ранжиру розглянуто основні характеристики гіроскопічних приладів, вплив на які чиниться під час виконання операцій складання. Якість розглянутих характеристик значною мірою залежать від стану технологічного середовища, тобто мікроклімату виробничого приміщення, в якому виконуються операції складання.

Згідно проведених розрахунків, розглянуті експлуатаційні характеристики гіроприладів проранжовані по ступеню значущості:

1. Приріст величини моментів інерції;
2. Моменти залишкового дебалансу системи при довільному положенні рамок карданового підвісу;
3. Зміна кінетичного моменту гіроскопа;
4. Непересічність та неперпендикулярність осі обертання карданового підвісу та ротора;
5. Заданого запасу стійкості системи;
6. Відхилення гіроскопа при разарретуванні;
7. Приріст величини моментів сил сухого тертя в опорах через похибку монтажу;
8. Точність знімання показань за допомогою вимірників кутів різних типів.

Відповідно до розрахунків, було визначено, що найбільший вплив зі сторони зовнішнього середовища чиниться такими параметрами мікроклімату, як концентрація аерозольних часток у повітрі, температура повітря та відносна вологість повітря. Перші три означені характеристики є найбільш залежними від стану параметрів мікроклімату виробничого приміщення, та достатньо впливовими на якість роботи гіроскопічних приладів.

### **Висновки**

Одержані результати дозволяються провести додатковий аналіз технологічного процесу складання на предмет визначення критичних технологічних операцій, на яких необхідно проводити додатковий моніторинг параметрів мікроклімату виробничого приміщення, для забезпечення високої якості вихідної продукції.

Метою подальшої роботи є аналіз за методикою НАССР технологічного процесу складання конкретного гіроскопічного приладу, де необхідно виділити етапи технологічного процесу, а саме операції та переходи, на яких вплив мікроклімату на критичні параметри гіроприладу є найбільшим, тим самим визначивши критичні точки процесу складання та порогові значення параметрів мікроклімату.

### **Література**

1. Миркин Б. Г. Проблема группового выбора / Б. Г. Миркин. – М.: Наука, 1974. – 256 с.
2. Севостьянов А. Г. Моделирование технологических процессов: учебник / А. Г. Севостьянов, П. А. Севостьянов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 344 с.
3. Резников Г. В. Системы прецизионного кондиционирования воздуха с «гибкой» технологией работы для помещений с компьютерной техникой / Г. В. Резников // «С.О.К.». – 2002. – № 10. – С. 60–67.
4. Бешелев С. Д. Экспертные оценки / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – М.: Наука, 1973. – 246 с.
5. Добров Г. М. Экспертные оценки в научно-техническом прогнозировании. / Г. М. Добров, Ю. В. Ершов, Е. И. Левин, Л. П. Смирнов. – К.: Наукова думка, 1974. – 263 с.
6. Евланов Л. Г. Экспертные оценки в управлении / Л. Г. Евланов, В. А. Кутузов. – М.: Экономика, 1978. – 133 с.

### **References**

1. Myrkyn B. G. The problem hruppovoho choice / B.G. Myrkyn. – M.: Nauka, 1974. – 256 p. [rus]
2. Sevost'yanov A. G. Modeling technological processes: textbook / A. G. Sevost'yanov, P. A. Sevost'yanov. – M.: Lehkaya i pischevaya promyshlennost, 1984. - 344 p. [rus]
3. Reznykov G. V. Systems pretsyzyonnoho air conditioning with "hybkoy" technology to work with the premises of computer tehnykoy / G. V. Reznykov // «COK» – 2002. - № 10. – P. 60-67. [rus]
4. Beshelev S. D. Eksperts assessment / S. D. Beshelev, F. G. Gurvich. – M.: Nauka, 1973. – 246 p. [rus]
5. Dobrov G. M. Eksperts in assessing the scientific-technical forecasting. / G. M. Dobrov, Y. V. Ershov, E. I. Levin, L. P. Smirnov. – K.: Naukova Dumka, 1974. – 263 p. [rus]

6. Evlanov L. G. Eksperts in assessing the management / L. G. Evlanov, V. A. Kutuzov. – М.: Ekonomika, 1978. – 133 p. [rus]

**В. С. Антонюк, Ю. Г. Мережаний**

*Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", Киев, Украина*

ВЛИЯНИЕ МИКРОКЛИМАТА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ ПРИ СБОРКЕ ГИРОСКОПИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ НА ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
Проведен анализ эксплуатационных характеристик гироскопических приборов и выполнен экспертный анализ технологических погрешностей, на которые могут влиять параметры микроклимата производственного помещения во время процесса их составление. Выполнен математический анализ эксплуатационных параметров гироскопических приборов и проведено их распределение за ранжиром по степени влияния на них технологической среды. Предложенная методика анализа рисков и критических контрольных точек (НАССР) для определения критических контрольных точек технологического процесса составления.

**Ключевые слова:** микроклимат, .сборка, прецизионность, гироскопические приборы, надежность.

**V. Antoniuk, Y. Merezhan**

*National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine*

INFLUENCE OF A MICROCLIMATE OF AN INDUSTRIAL ROOM AT DRAWING UP OF GYROSCOPIC DEVICES ON THEIR OPERATIONAL CHARACTERISTICS

The analysis of the performance of gyroscopic instruments and performed an expert analysis of technological errors, which may affect microclimate parameters of the production facilities during the process of their assembly. Done mathematical analysis of operational parameters of gyroscopic devices and conducted their distribution ranzhyrom on the degree of exposure to the technological environment. The proposed technique is Hazard Analysis and Critical Control Points (НАССР) to identify critical control points of the process assembly.

**Keywords:** a microclimate, assembly, accuracy, gyroscopic devices, reliability.

*Надійшла до редакції  
14 листопада 2011 року*