

рианти комплексирования не дают ожидаемого повышения эффективности из-за больших погрешностей или значительных габаритов блоков прицела. Целью данной работы является анализ возможных вариантов комплексирования информации в прицеле для его модернизации, учитывая возможность их реализации. Была предложена схема комбинированной визирной головки с жидкокристаллическим индикатором для комплексирования информации в прицеле. Предыдущие расчеты подтверждают возможность практической реализации предложенного решения. В дальнейшем предусматривается дорабатывать схему комплексирования в направлении оценки ее конструктивного воплощения.

Ключевые слова: комплексирование изображений, авиационный прицел, визирная головка.

¹⁾N. V. Senatorov, ²⁾V. I. Mykytenko

¹⁾State enterprise SDB «Arsenal», Kyiv, Ukraine, ²⁾National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

AVIATION SIGHT MODERNIZATION BY MEANS OF INFORMATION CHANNELS FUSION

The article is devoted the increase of efficiency of domestic aviation park due to modernization of aviation sight. Information fusion is one of main sight modernization directions. The existent variants of information fusion in sight do not give the expected increasing of efficiency on account of large errors or considerable sizes of sight units. The purpose of this work is an analysis of possible variants of information fusion in a sight for it's modernization, taking into account possibility of their realization. The chart of the combined liquid-crystal viewfinder was offered for information fusion. Previous calculations confirm possibility of practical realization of the decision. In future it is foreseen to finish off the fusion chart to estimate its structural embodiment.

Keywords: image fusion, aviation sight, viewfinder.

*Надійшла до редакції
15 жовтня 2010 року*

УДК 681.317

МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ДИНАМІЧНОГО ТИСКУ В УМОВАХ НЕСТАЦІОНАРНОГО ТЕРМОВПЛИВУ

Тихан М.О., Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів, Україна

На сьогодні тензорезистивні датчики тиску все частіше використовуються у середовищах з швидкозмінною температурою. Тому проблема підвищення точності вимірювань у цих умовах є актуальною. Для вирішення цієї проблеми пропонується метод вимірювання. Який передбачає швидкодіюче автоматичне коригування температурної похибки. При цьому покладається, що вимірюваний тиск і температура мають нестационарний характер. Суть методу полягає у тому, що вимірюваний тиск одночасно діє на дві мембрани. Ці мембрани є абсолютно ідентичні за статичними та динамічними характеристиками і фізико-механічними характеристиками своїх матеріалів, за винятком коефіцієнту лінійного теплового розширення. Тому, при вимірюванні тиску середовища з нестационарною температурою мембрани зазнаватимуть різних прогинів. За різницею таких прогинів встановлюють значення вимірюваного тиску, яке “очищене” від температурної похибки. Завдяки простоті математичного опрацювання вихідних сигналів метод дозволяє швидкодіюче і точно коригування температурної похибки, а тому придатний для вимірювання суттєво нестационарних процесів у системах автоматичного керування.

Ключові слова: тензорезистивний датчик динамічного тиску, температурна похибка, корекція.

Вступ. Постановка проблеми

На сьогодні тензорезистивні датчики тиску все частіше використовуються у середовищах зі швидкозмінною температурою (контроль тиску у камерах згорання двигунів, відпрацювання виробів аерокосмічного комплексу, наукові дослідження тощо) [1, 2]. Тому розроблення методів точного вимірювання тиску в цих умовах, причому з швидкодіючим коригуванням температурної похибки, є вельми актуальною проблемою.

Низкою досліджень [3 - 10] доведено первинну роль термонапружень мембрани тензорезистивних датчиків тиску у формуванні їхньої температурної похибки, особливо при нестационарному термовпливі. Існують методи так званої термокомпенсації, спрямовані на зменшення залежності результату вимірювання від температури [11 - 13]. Однак, немає ефективних методів, які б дозволяли розрахувати і внаслідок вимірювання усунути температурну складову, що виникла саме через термонапруження у мембрані.

Для вирішення цієї проблеми пропонується метод, спрямований на врахування впливу термонапружень у мембрані датчика на температурну похибку і передбачаючому швидкодіюче автоматичне коригування такої похибки. При цьому покладається, що вимірюваний тиск і температура мають нестационарний характер.

Теоретичні аспекти методу

Нехай маємо дві мембрани з абсолютно ідентичними геометричними параметрами, умовами закріплення та фізико-механічними характеристиками своїх матеріалів, за винятком коефіцієнту лінійного теплового розширення λ_{ε} . Такими матеріалами є, наприклад, залізо-нікель-титанові сплави 36НХТЮ ($\lambda_{\varepsilon} = 13 \cdot 10^{-6} 1/\tilde{N}^0$) та 44НХТЮ ($\lambda_{\varepsilon} = 8 \cdot 10^{-6} 1/\tilde{N}^0$). Інші ж параметри цих сплавів, а саме: коефіцієнт теплопровідності, коефіцієнт температуропровідності, питома теплоємність, є однаковими.

Зрозуміло, що такі мембрани володіють цілком ідентичними динамічними характеристиками, а також будуть ідентичними характер і динаміка температурних полів у мембранах, якщо вони перебуватимуть в одному і тому ж тепловому середовищі. Проте, завдяки різним коефіцієнтам лінійного теплового розширення, такі мембрани будуть зазнавати різних термонапружень і, таким чином, їхня динаміка, а, отже, і результат вимірювання тиску при термовпливі буде різний. Саме цей факт покладений в основу пропонованого методу.

Нехай датчик тиску має дві жорстко защемлені мембрани з описаними щойно властивостями. Мембрани з певною тензорезистивною структурою сприймають динамічний тиск $p(t)$, та зазнають впливу нестационарної температури $T(t)$. Тоді, термонапруження, що виникнуть у мембранах, становитимуть

$$\sigma_r(t)_1 = \sigma_{\varphi}(t)_1 = \frac{-E\lambda_{\varepsilon 1}}{1-\nu} \frac{1}{R} \frac{1}{l} \int_0^R \int_0^l T(r, z, t) dz dr$$

та

$$\sigma_r(t)_2 = \sigma_\varphi(t)_2 = \frac{-E\lambda_{\varepsilon_2}}{1-\nu} \frac{1}{R} \frac{1}{l} \int_0^R \int_0^l T(r, z, t) dz dr,$$

де $T(r, z, t)$ - температурне поле у мембрані з радіусом R , товщиною l , модулем пружності E , коефіцієнтами лінійного теплового розширення λ_{ε_1} та λ_{ε_2} , ν - коефіцієнт Пуассона.

Еквівалентні цим напруженням зусилля на одиницю периметра є такими

$$N_1(t) = \frac{-E\lambda_{\varepsilon_1}}{1-\nu} \frac{1}{R} \int_0^R \int_0^l T(r, z, t) dz dr$$

та

$$N_2(t) = \frac{-E\lambda_{\varepsilon_2}}{1-\nu} \frac{1}{R} \int_0^R \int_0^l T(r, z, t) dz dr$$

При наявності цих зусиль і вимірюваного тиску $p(t)$ динаміки мембран описуються інтегральними рівняннями [14]

$$w_1(r, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_n(k_n \cdot r) \cdot \frac{\zeta_n}{\eta_{n1}} \int_0^t p(\tau) \cdot e^{-\beta_n(t-\tau)} \cdot \sin(\eta_{n1}(t-\tau)) d\tau, \quad (1)$$

$$w_2(r, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_n(k_n \cdot r) \cdot \frac{\zeta_n}{\eta_{n2}} \int_0^t p(\tau) \cdot e^{-\beta_n(t-\tau)} \cdot \sin(\eta_{n2}(t-\tau)) d\tau, \quad (2)$$

де r - біжуча координата по площині мембрани,

$\Phi_n(k_n \cdot r) = J_0(k_n \cdot r) \cdot I_0(\mu_n) - J_0(\mu_n) \cdot I_0(k_n \cdot r)$ - власна функція відповідної межевої задачі,

$J_0(\mu_n)$ і $I_0(\mu_n)$ - функції Бесселя першого і другого роду,

$k_n = \frac{\mu_n}{R}$, μ_n - власні значення відповідної межевої задачі,

$\eta_{n1} = \sqrt{\xi_{n1}^2 - \beta_n^2}$, $\eta_{n2} = \sqrt{\xi_{n2}^2 - \beta_n^2}$ - частоти власних коливань мембран з демпфуванням,

β_n - коефіцієнт демпфування,

$$\xi_{n1}^2 = c^4 \cdot \frac{\mu_n^4}{R^4} \pm \frac{N_1(t) \mu_n^2}{\gamma R^2}, \quad \xi_{n2}^2 = c^4 \cdot \frac{\mu_n^4}{R^4} \pm \frac{N_2(t) \mu_n^2}{\gamma R^2},$$

$$c^4 = \frac{D}{\gamma} = \frac{El^2}{12(1-\nu^2)\rho},$$

D - циліндрична жорсткість,

$\gamma = \rho \cdot l$ - питома вага одиниці площі мембрани,

ρ - густина матеріалу мембрани,

$$\zeta_n = \frac{J_1(\mu_n) \cdot I_0(\mu_n) - J_0(\mu_n) \cdot I_1(\mu_n)}{\mu_n \cdot J_0^2(\mu_n) \cdot I_0^2(\mu_n)}.$$

Використовуючи той чи інший спосіб відновлення вхідного динамічного сигналу [15, 16] отримуємо два (з кожної мембрани) значення тиску $p_1(t)$ і $p_2(t)$. Зрозуміло, що ці значення не є істинними, оскільки спотворені термонапруженнями у мембранах, і завдяки різним значенням коефіцієнтів лінійного розширення є різні.

Беручи до уваги (1) і (2) при дії цих тисків мембрани мали б зазнати таких деформацій

$$w_1^*(r,t) = p_1(t) \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \Phi_n(k_n \cdot r) \cdot \frac{\zeta_n}{\xi_n^2}, \quad (3)$$

$$w_2^*(r,t) = p_2(t) \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \Phi_n(k_n \cdot r) \cdot \frac{\zeta_n}{\xi_n^2}, \quad (4)$$

де $\xi_n^2 = c^4 \cdot \frac{\mu_n^4}{R^4}$.

З іншого боку, таку ж деформацію повинна отримати мембрана під дією істинного значення тиску $p_0(t)$, але при дії стискуючих (розтягуючих) сил в її площині, що залежать від термонапружень. Тобто при дії зусиль $N_1(t)$ чи $N_2(t)$. Отже

$$w_1^*(r,t) = p_0(t) \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \Phi_n(k_n r) \cdot \frac{\zeta_n}{\xi_n^2} = p_0(t) \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \Phi_n(k_n r) \cdot \frac{\zeta_n}{c^4 \cdot \frac{\mu_n^4}{R^4} \pm \frac{N_1(t) \mu_n^2}{\gamma R^2}}, \quad (5)$$

$$w_2^*(r,t) = p_0(t) \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \Phi_n(k_n r) \cdot \frac{\zeta_n}{\xi_n^2} = p_0(t) \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \Phi_n(k_n r) \cdot \frac{\zeta_n}{c^4 \cdot \frac{\mu_n^4}{R^4} \pm \frac{N_2(t) \mu_n^2}{\gamma R^2}}, \quad (6)$$

Тому, прирівнюючи (3), (4) і (5), (6), маємо

$$p_1(t) \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \Phi_n(k_n r) \cdot \frac{\zeta_n}{\xi_n^2} = p_0(t) \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \Phi_n(k_n r) \cdot \frac{\zeta_n}{\xi_n^2 \pm \frac{N_1(t) \mu_n^2}{\gamma R^2}},$$

$$p_2(t) \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \Phi_n(k_n r) \cdot \frac{\zeta_n}{\xi_n^2} = p_0(t) \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \Phi_n(k_n r) \cdot \frac{\zeta_n}{\xi_n^2 \pm \frac{N_2(t) \mu_n^2}{\gamma R^2}}.$$

Таким чином, з першого рівняння дістаємо

$$p_0(t) = p_1(t) \frac{\xi_n^2 \pm \frac{N_1(t) \mu_n^2}{\gamma R^2}}{\xi_n^2} = p_1(t) \frac{\xi_n^2 \pm \frac{-E\lambda_{e1}}{1-\nu} \frac{1}{R} \int_0^R \int_0^l T(r,z,t) dz dr}{\xi_n^2} \frac{\mu_n^2}{R^2}, \quad (7)$$

а з другого

$$p_0(t) = p_2(t) \frac{\xi_n^2 \pm \frac{N_2(t) \mu_n^2}{\gamma R^2}}{\xi_n^2} = p_2(t) \frac{\xi_n^2 \pm \frac{-E\lambda_{e2}}{1-\nu} \frac{1}{R} \int_0^R \int_0^l T(r,z,t) dz dr}{\xi_n^2} \frac{\mu_n^2}{R^2}. \quad (8)$$

Прирівнюючи (7) і (8) отримуємо

$$\int_0^R \int_0^l T(r,z,t) dz dr = \pm \frac{\xi_n^2 (p_1(t) - p_2(t)) (1-\nu) R^3 \gamma}{E \mu_n^2 (p_1(t) \lambda_{e1} - p_2(t) \lambda_{e2})}.$$

Тому

$$p_0(t) = p_2(t) \left[1 + \frac{\lambda_{e2} (p_1(t) - p_2(t))}{p_1(t) \lambda_{e1} - p_2(t) \lambda_{e2}} \right].$$

Отримана залежність дає змогу обчислювати дійсне значення вимірюваного динамічного (або статичного) тиску при дії нестационарної температури. Причому таке обчислення завдяки простоті математичних процедур здійснюється практично в реальному часі, а отже, можна здійснювати швидкодіюче коригування додаткової похибки. У наведеній на рис. 1 схемі реалізований спосіб сумісного вимірювання для відновлення вхідного значення динамічного тиску [15].

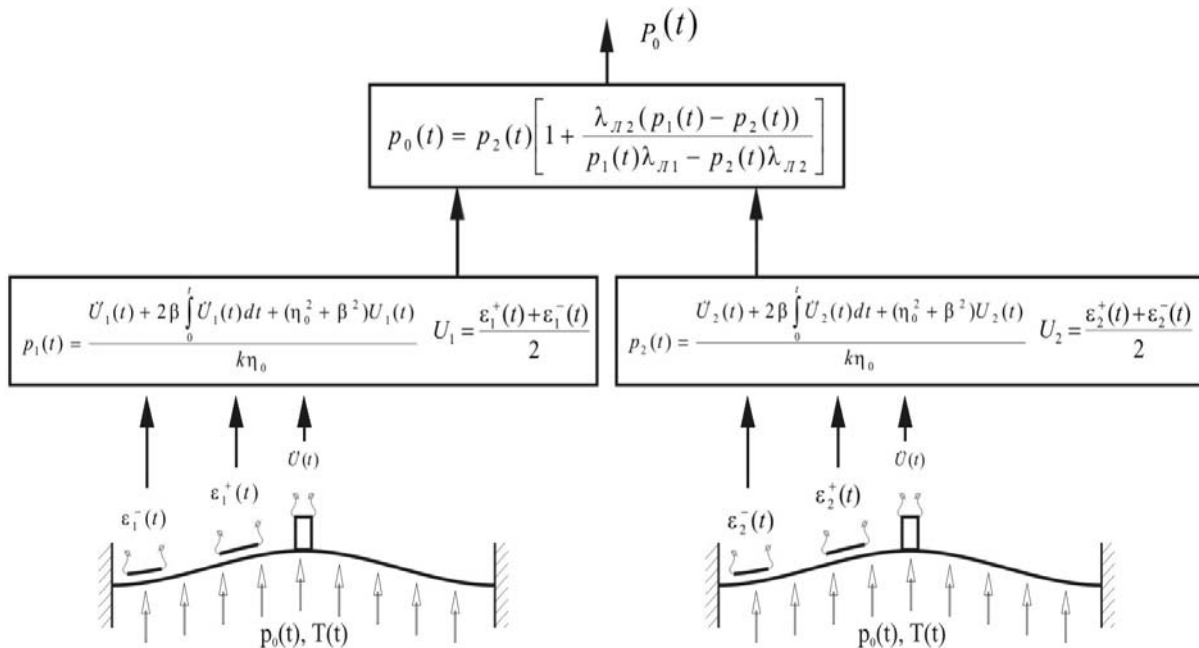


Рис.1. Логіко-структурна схема датчика, який реалізує метод спарених мембран при вимірюванні динамічного тиску в умовах нестационарної температури

Висновки

Вочевидь розроблений метод має переваги і недоліки, а саме:

– Температурний діапазон, в якому може бути застосований метод, обмежується тільки межею незмінності від температури фізико-механічних

властивостей матеріалів, температурною стійкістю мембран і можливостями тензорезисторів.

– Завдяки простоті математичного опрацювання вихідних сигналів метод дозволяє швидкодіюче і точне коригування температурної похибки, а тому придатний для вимірювання суттєво нестационарних процесів у системах автоматичного керування.

Попри переваги, для реалізації методу необхідно забезпечити точне співпадіння динамічних характеристик і фізико-механічних параметрів мембран. Крім цього, необхідним є метрологічне забезпечення кожного вимірювального каналу і сумісного вимірювання, що вочевидь внесе певне ускладнення.

Література

1. Мокров Е.А. Базовая системная модель нового поколения тонкопленочных тензорезисторных датчиков давления для ракетной и авиационной техники / Е.А. Мокров, Е.М. Белозубов // Датчики и системы. - 2005. - № 6. - С. 10 - 14.
2. Маркелов И.Г. Комплекс датчиков давления для эксплуатации на объектах атомной энергетики // Датчики и системы. – 2009. - № 11 – 12. - С. 24 – 25.
3. I. Maryamova, M. Tykhan et al. Piezoresistive sensors based on silicon microcrystals for extreme conditions. Сб. трудов Междун. научно-техн. конф. "Приборостроение-97". ч. II. Приложение к науч.- техническому журналу "Вибрация в технике и технологиях", 1997. Винница-Симеиз. с. 244 - 247.
4. I.Maryamova, M. Tykhan, E.Lavitska, A.Kuttrakov. Semiconductor mechanical sensors for adverse and dynamic conditions. XIV IMEKO World Congress. V. IX A, p. 99 - 103. Tampere, Finland.1997.
5. Тихан М.О., Моделювання термомеханічних процесів в конструктивних елементах вимірювачів тиску / М.О. Тихан, Р.Б. Малець, Г.А. Шинкаренко // Машинознавство. Всеукраїнський щомісячний науково-технічний і виробничий журнал. - 2008.- № 6. - С. 26 - 31.
6. Тихоненков В.А. Влияние конструкции упругого элемента на температурные погрешности тензорезисторного датчика давления / В.А. Тихоненков, А.И. Жучков, А.Д. Клопов // Приборы и системы управления. – 1991. - № 6. - С. 28 - 29.
7. Тихонов А.И. Структурный анализ температурных погрешностей тензорезисторных датчиков / А.И. Тихонов, В.А. Тихоненков, А.И. Жучков // Приборы и системы управления. – 1988. - № 8. - С.27 - 28.
8. Похвалинский С.М. Температурные погрешности мембранных преобразователей давления // Измерительная техника. – 1981. - С.36 - 38.
9. Богданов В.В. Влияние нагрева мембраны индуктивных датчиков на погрешности измерения давления / В.В. Богданов, Н.Н. Евтихийев, С.М. Похвалинский // Электрические машины и автоматика: Труды НИРЭА. – 1970. - Вып. 47. - С. 134 - 140.
10. Педоренко Н.П. К вопросу о точности измерения давления при воздействии термоудара / Н.П. Педоренко, А.И. Ворожбитов // Датчики систем измерения, контроля и управления: Межвуз. сб. науч. тр. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. техн. ун-та, 1994. – Вып. 13. - С. 92 – 94.
11. Мокров Е.А. Применение термозащитных пленок для минимизации влияния нестационарных температур на тонкопленочные тензорезистивные датчики давления / Е.А. Мокров, В.А. Васильев, Е.М. Белозубов // Датчики и системы. - 2005. - № 9. - С. 21 - 23.
12. Мокров Е.А., Васильев В.А., Белозубов Е.М. Применение элементов системологии для минимизации влияния дестабилизирующих факторов на тонкопленочные тензорезисторные датчики давления / Е.А. Мокров, В.А. Васильев, Е.М. Белозубов // Датчики и системы. - 2005. - № 3. - С. 10 - 12.
13. Тихан М.О. Исследование термоупругих процессов в корпусах тензометрических датчи

ков давления. Труды международной научно – технической конференции (Россия, Пенза, 9 – 10 сентября 2002 г.). - Пенза: Информационно – издательский центр Пенз. гос. ун-та, 2002, с. 203 - 204.

14. Тихан М.А. Тензометрические датчики переменного давления для систем автоматики с нестационарными термовлияниями: Автореф. диссер. на соискание ученой степени канд. техн. наук. - Пенза, 1995. – 18 с.
15. Патент №45961 Україна. Спосіб вимірювання динамічного тиску / М. Тихан., Бюл. №23, 2009.
16. Патент №88936 Україна. Спосіб вимірювання динамічного тиску / М. Тихан. Бюл. №23, 2009.

М. О. Тихан

Национальный университет “Львовская политехника”, Львов, Украина

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕРМОВЛИЯНИЯ.

Современные тензорезистивные датчики давления все чаще используются в средах с быстрой температурой. Поэтому проблема повышения точности измерений в этих условиях является актуальной. Для решения этой проблемы предлагается метод измерения, который предусматривает быстродействующую автоматическую коррекцию температурной погрешности. При этом полагается, что измеряемое давление и температура имеют нестационарный характер. Суть метода заключается в том, что измеряемое давление одновременно действует на две мембраны. Эти мембраны абсолютно идентичны за статическими и динамическими характеристиками и физико-механическими характеристиками своих материалов, за исключением коэффициента линейного теплового расширения. Поэтому, при измерении давления среды с нестационарной температурой мембраны будут испытывать разные прогибы. За разницей таких прогибов устанавливают значение измеряемого давления, которое “очищено” от температурной погрешности. Благодаря простоте математической обработки выходных сигналов метод позволяет быстродействующую и точную коррекцию температурной погрешности, а потому пригодный для измерения существенно нестационарных процессов в системах автоматического управления.

Ключевые слова: тензорезистивный датчик динамического давления, температурная погрешность, коррекция.

М.О. Tykhan

Lviv Politechnic National University, Lviv, Ukraine

THE WAYS OF MEASUREMENT DYNAMICS PRESSURE UNDER NONSTATIONARY THERMAL INFLUENCE

Nowadays piezoresistive pressure sensors are all more frequent used in environments with a nonstationary thermal influence. Therefore a problem of increase of exactness of measurings in these terms is actual. For the decision of this problem a measuring method which foresees the fast-acting automatic correction of temperature error is offered. Laid thus, that measureable pressure and temperature have non-stationary character. Essence of method consists in that measureable pressure simultaneously operates on two diaphragms. These diaphragms having absolutely identical static and dynamic descriptions and physical and mechanical descriptions of the materials, after an exception the coefficient of linear thermal expansion. Therefore, at measuring of pressure of environment with the non-stationary temperature of diaphragms will test the different bendings. This difference of such bendings set the value of measureable pressure, which is “cleared” from a temperature error. Due to simplicity of the mathematical prosedi of initial signals a method is allowed by the fast-acting and precision correction of temperature error, and that is why suitable for measuring substantially of transients in the systems of automatic control.

Keywords: piezoresistive sensor of dynamic pressure, temperatures error, compensation.

*Надійшла до редакції
16 серпня 2010 року*