

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕРМОМЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У МЕМБРАНІ ТЕНЗОМЕТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДИНАМІЧНОГО ТИСКУ ПРИ ТЕРМОУДАРІ НА ЙОГО ДОДАТКОВУ ПОХИБКУ

© Тихан М.О., 2007

На підставі аналізу термомеханічних процесів у мембрані тензометричного перетворювача динамічного тиску при термоударі виявлено найбільш вагомий фактор, що впливає на значення додаткової похибки перетворювача.

The dependence, based on the analysis influence of thermalmechanics processes in the diaphragm of the dynamics pressure piezoresistive sensor during thermal shock has been reveal very important factor which influence on the additional sensors error .

1. Вступ

Численні сучасні високотехнологічні галузі промисловості –двигунобудування, авіакосмічна техніка, тепло і ядерна енергетика, нафтогазовидобування та інш. потребують високоточних перетворювачів тиску, які можуть працювати в середовищах, в котрих відбуваються істотні зміни температури. При цьому визначальною ознакою температурних змін є їхній швидкоплинний і різкозмінний характер. Такі умови часто зустрічаються, наприклад, при відпрацюванні різноманітних двигунів, силових установок чи виробів аерокосмічного комплексу тощо.

Відомо, що вплив температури на перетворювач породжує певну складову його додаткової похибки, а при нестационарному термовпливі ця похибка матиме динамічний характер [1].

Сучасні тензометричні перетворювачі тиску, незважаючи на удавану зовнішню простоту, являють собою досить складні мехатронні пристрої, у яких конструктивні елементи виконані з різнорідних матеріалів з використанням високих технологій точної механіки та електроніки. Тому, при дії температури, особливо нестационарної, у перетворювачі відбуваються складні термомеханічні процеси, які є причиною значної складової додаткової температурної похибки приладу, причому динамічного характеру. Практика вимірювань свідчить, що амплітуда такої похибки може сягати 60%, а інколи і більше [2]. Отже, актуальність досліджень, спрямованих на зменшення температурної похибки, є поза сумнівом. Однак численні спроби у цьому напрямку поки що не дали бажаних результатів. Така ситуація, поміж іншим, пояснюється складністю фізико-математичного моделювання термомеханічних процесів у перетворювачі, складністю експериментальної перевірки такого теоретичного моделювання, випереджувальними щодо теоретико-експериментального рівня досягненнями технологій і матеріалознавства, а отже, і випереджувальними появами конструктивних рішень перетворювачів. Тому активізація моделювання термомеханічних процесів у перетворювачах тиску, а також дослідження наслідків цих процесів на вимірювальне перетворення є вкрай бажаною.

У цій роботі аналізується характер додаткової похибки тензометричного перетворювача тиску, спричиненої впливом нестационарної температури вимірювального середовища.

У сучасній практиці проектування тензометричних перетворювачів тиску утвердилися певні тенденції щодо принципового вирішення конструкції приладу. Такі тенденції переважно зумовлені фізико-технологічними аспектами та особливостями конструкційних матеріалів, що використовуються. Отже, принципова конструктивна схема тензометричного перетворювача тиску містить первинний сприймаючий елемент-мембрану у вигляді круглої або квадратної тонкої пластини, що жорстко защемлена у масивному корпусі, а механо-електричні перетворювачі-тензорезистори розташовані на мембрані або на вторинному пружному елементі, що спряжений з мембраною (рис. 1).

При вимірюванні мембрана перетворювача як первинний сприймальний елемент насамперед відчуває вплив температури середовища, а отже, термомеханічні процеси в ній найбільш вагомо впливають на формування характеру та значення температурної похибки.

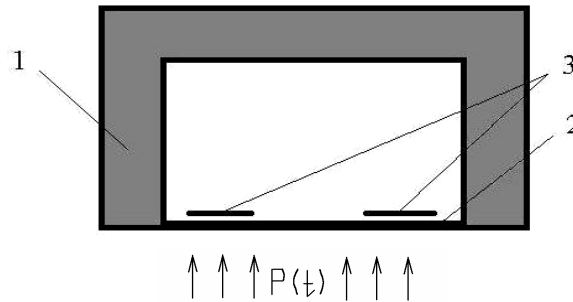


Рис. 1. Структурна схема типового тензометричного перетворювача динамічного тиску (1 – корпус, 2 – мембрана, 3 – тензорезистори)

2. Аналіз температурного поля та термодформації в мембрані перетворювача

Проаналізуємо термомеханічні процеси в круглій мембрані (найпоширеніший тип) при дії термоудару як найбільш різкозмінного процесу.

Мембрана є тонкою круглою пластинкою з радіусом R , товщиною l , яка виконана з ізотропного матеріалу, модуль пружності якого E , густина ρ , коефіцієнт Пуасона ν , теплофізичні сталі K, c, χ . В момент часу $t = l$ на верхній площині пластинки (в області $z = 0$) з'являється середовище з температурою T_0 . Початкова температура пластинки і навколишніх середовищ дорівнює T_n .

Покладаємо, що деформації, які викликані в пластинці температурою, допускають застосування закону Гука і на основі принципу суперпозиції можуть бути розраховані окремо. Покладаємо, що температурне поле в пластинці осесиметричне і описується рівнянням:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - \frac{1}{\chi} \frac{\partial T}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

де r – поточна координата точки на мембрані вздовж радіуса; z – поточна координата точки на мембрані по товщині.

При початковій умові

$$T(r, z) = T_n, \quad t \leq 0.$$

Граничні умови:

1. На поверхні $z = 0$ відбувається теплообмін з середовищем, яке має постійну температуру T_0 :

$$\frac{\partial T}{\partial z} - h_0(T - T_0) = 0 \quad (2)$$

2. На поверхні $z = l$ відбувається теплообмін з середовищем, яке має постійну температуру T_n :

$$\frac{\partial T}{\partial z} - h_1(T - T_n) = 0 \quad (3)$$

3. На поверхні $r = R$ відбувається теплообмін з середовищем, яке має постійну температуру T_n :

$$\frac{\partial T}{\partial r} - h_2(T - T_n) = 0 \quad (4)$$

Тут h_0, h_1, h_2 – нормовані коефіцієнти теплообміну.

Відомо, що температурне поле в круглій пластинці (мембрані) при заданих граничних умовах описується рівнянням [2]:

$$T(r, z, t) = T_n + T_\delta(r, z, t) + T_y(r, z), \quad (5)$$

де T_n – початкова температура пластинки;

– динамічна, або перехідна складова

$$T_{\partial}(r, z, t) = -\frac{4\Delta T \cdot h_0 \cdot h_2}{R} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Phi_1(z, \beta_m) \cdot e^{-\chi(\alpha_n^2 + \beta_m^2)t} \cdot \beta_m}{(\alpha_n^2 + \beta_m^2) \cdot \Phi_2(\beta_m)} \cdot \Phi(r, \alpha_n) \quad (6)$$

– усталена складова

$$T_y(r, z) = -\frac{2\Delta T \cdot h_0 \cdot h_2}{R} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\alpha_n \cdot ch(\alpha_n \cdot (l-z)) + h_1 \cdot sh(\alpha_n \cdot (l-z))}{(h_0 + h_1) \cdot \alpha_n \cdot ch(\alpha_n \cdot l) + (h_0 \cdot h_1 + \alpha_n^2) \cdot sh(\alpha_n \cdot l)} \cdot \Phi(r, \alpha_n) \quad (7)$$

де $\Delta T = T_0 - T_n$; α_n – корені рівняння $\alpha_n \cdot J_1(\alpha_n R) - h_2 \cdot J_0(\alpha_n R) = 0$; $J_0(\alpha_n R)$ і $J_1(\alpha_n R)$ – функції Бесселя; β_m – корені рівняння $ctg\beta_m l = \frac{1}{h_0 + h_1} (\beta_m - \frac{h_0 \cdot h_1}{\beta_m})$; $\Phi(r, \alpha_n) = \frac{J_0(\alpha_n r)}{(h_2^2 + \alpha_n^2) \cdot J_0(\alpha_n R)}$.

Радіальна деформація мембрани породжена нестационарним температурним полем (1)

$$\varepsilon_r(r, t) = (1 + \mu) \cdot \alpha_l \frac{R^2 - 3r^2}{8R} \cdot h_2 [\Theta_{cp} + 0,5\Theta_{np} - 2\Theta_{cp}(t) - \Theta_{np}(t)], \quad (8)$$

де α_l – температурний коефіцієнт лінійної деформації;

$$\Theta_{cp} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\alpha_n^2}{\alpha_n^2 + h_2^2} \cdot \frac{\alpha_n \cdot ch(\alpha_n \cdot l/2) + h_1 \cdot sh(\alpha_n \cdot l/2)}{(h_0 + h_1) \cdot \alpha_n \cdot ch(\alpha_n \cdot l) + (h_0 \cdot h_1 + \alpha_n^2) \cdot sh(\alpha_n \cdot l)},$$

$$\Theta_{cp}(t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \left[\frac{\alpha_n^2}{\alpha_n^2 + h_2^2} \cdot \frac{\alpha_n \cdot ch(\alpha_n \cdot l/2) + h_1 \cdot sh(\alpha_n \cdot l/2)}{(h_0 + h_1) \cdot \alpha_n \cdot ch(\alpha_n \cdot l) + (h_0 \cdot h_1 + \alpha_n^2) \cdot sh(\alpha_n \cdot l)} \right] \times \right.$$

$$\left. \times \left[\frac{\beta_m \cdot (\beta_m \cdot \cos \beta_m (l/2) + h_1 \cdot \sin \beta_m (l/2)) \cdot e^{-\chi(\alpha_n^2 + \beta_m^2)t}}{(\alpha_n^2 + \beta_m^2) \cdot (\beta_m (2 + l \cdot (h_0 + h_1) \sin \beta_m l - [l(h_0 h_1 - \beta_m^2) + h_0 + h_1] \cdot \cos \beta_m l))} \right] \right\}$$

$$\Theta_{np} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\alpha_n^2}{\alpha_n^2 + h_2^2} \cdot \frac{\alpha_n \cdot (1 - ch(\alpha_n \cdot l) - h_1 \cdot sh(\alpha_n \cdot l))}{(h_0 + h_1) \cdot \alpha_n \cdot ch(\alpha_n \cdot l) + (h_0 \cdot h_1 + \alpha_n^2) \cdot sh(\alpha_n \cdot l)}$$

$$\Theta_{np}(t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \left[\frac{\alpha_n^2}{\alpha_n^2 + h_2^2} \cdot \frac{\alpha_n \cdot ch(\alpha_n \cdot l/2) + h_1 \cdot sh(\alpha_n \cdot l/2)}{(h_0 + h_1) \cdot \alpha_n \cdot ch(\alpha_n \cdot l) + (h_0 \cdot h_1 + \alpha_n^2) \cdot sh(\alpha_n \cdot l)} \right] \times \right.$$

$$\left. \times \left[\frac{\beta_m \cdot (1 - \cos \beta_m l) - h_1 \cdot \sin \beta_m l \cdot e^{-\chi(\alpha_n^2 + \beta_m^2)t}}{(\alpha_n^2 + \beta_m^2) \cdot (\beta_m (2 + l \cdot (h_0 + h_1) \sin \beta_m l - [l(h_0 h_1 - \beta_m^2) + h_0 + h_1] \cdot \cos \beta_m l))} \right] \right\}$$

Числовий аналіз (5) і (8) з використанням системи MCD дав результати, зображені на рис. 2–4.

З проведеного числового аналізу видно, що температурне поле по площині мембрани є практично рівномірне, нерівномірність спостерігається на межі мембрани і корпуса в зоні $0,1R$. Такий факт є дуже важливим, оскільки дає змогу розраховувати термомеханічне напруження, як при звичайному лінійному температурному розширенні.

Як відомо, такі напруження є еквівалентні зусиллю, розрахованою за такою залежністю

$$N = Eh\alpha(1 + \nu)\Delta T,$$

де N – зусилля в площині мембрани за умови їх жорсткого зацмлення.

Отриманий висновок дає змогу відповідно поставити задачу розрахунку коливань мембрани при вимірюванні динамічного тиску в умовах нестационарних термовпливів.

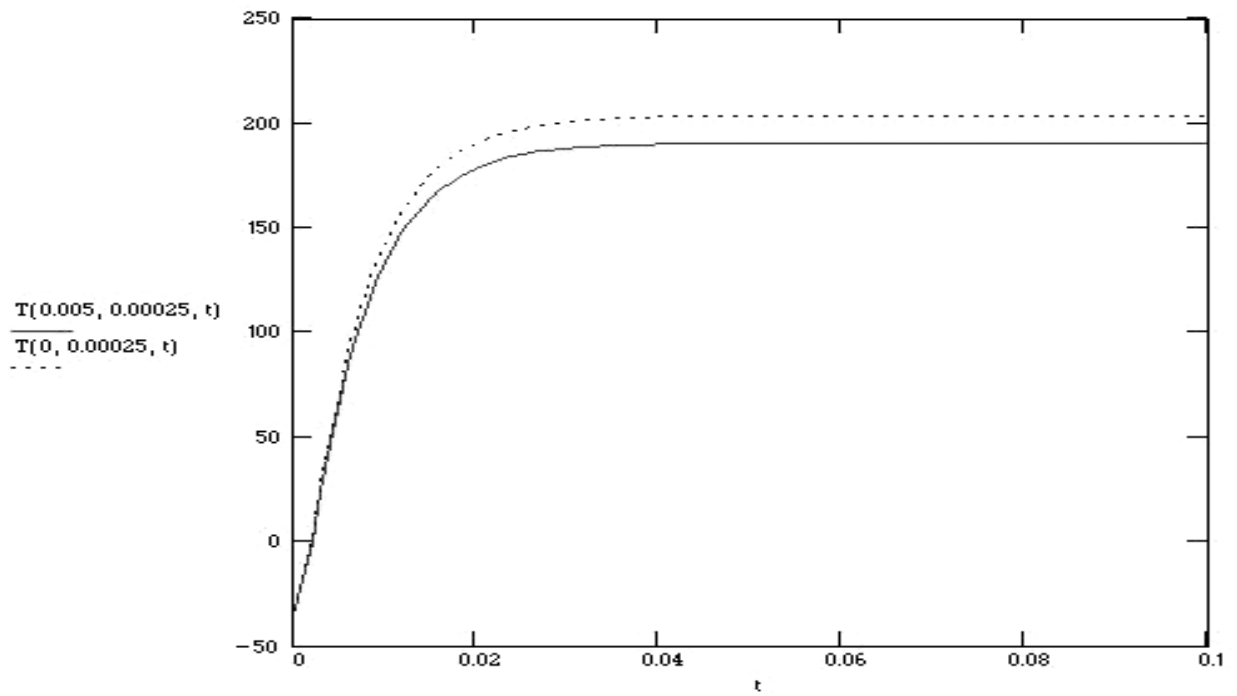


Рис. 2. Динаміка температури центра і контура мембрани

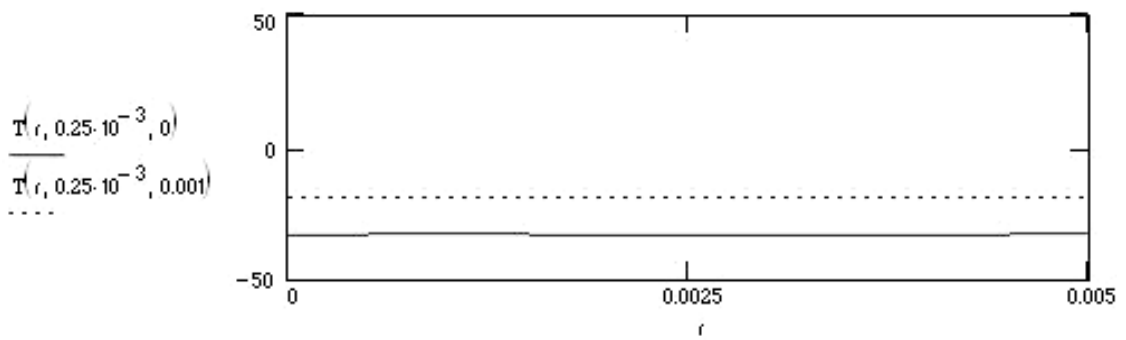


Рис. 3. Характер температурного поля вздовж радіуса мембрани

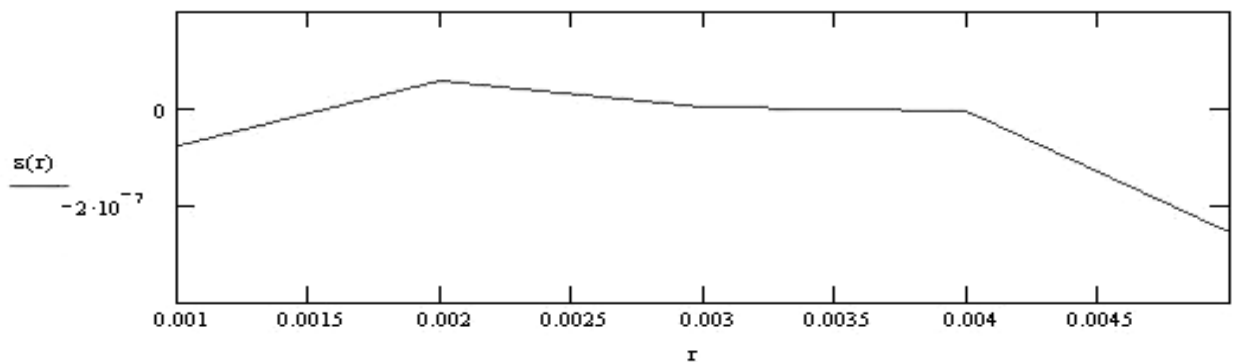


Рис.4. Радіальна відносна деформація мембрани

Оскільки перепад температури на верхній і нижній площинах мембрани по радіусу є практично незмінним, то мембрана не зазнаватиме температурних прогинів, а отже, температурна похибка перетворювача буде спричинена термофізичними процесами в самих тензорезисторах і зміною динаміки мембрани внаслідок дії в її площині зусиль N .

Зрозуміло, що зменшення цієї похибки може йти шляхом вибору типу тензорезисторів з слабкою залежністю зміни своїх параметрів від температури, а також залежністю значень зусиль N . Останнє можна здійснювати шляхом „нагрівання” верхньої площини мембрани.

3. Аналіз впливу термомеханічних процесів у мембрані на температурну похибку перетворювача

Відомо, що якщо мембрана жорстко защемлена по контуру і піддана дії тиску $p(t)$, та стискувального чи розтягувального зусилля N , то її динаміка описується рівнянням [2]

$$c^4 \Delta \Delta w(r, t) \pm \frac{N}{\gamma} \Delta w(r, t) + \frac{\partial^2 w(r, t)}{\partial t^2} + 2\beta \frac{\partial w(r, t)}{\partial t} = \frac{p(t)}{\gamma} \quad (9)$$

де β – коефіцієнт демпфування, $c^4 = \frac{D}{\gamma} = \frac{Eh^2}{12(1-\nu^2)\rho}$, E – модуль пружності, ρ і γ – густина і питома вага одиниці площі мембрани, D – циліндрична жорсткість.

Розв’язок рівняння (9) представляється у вигляді [2]

$$w(r, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_n(k_n \cdot r) \cdot \frac{\zeta_n}{\eta_n} \int_0^t p(\tau) \cdot e^{-\beta(t-\tau)} \cdot \sin(\eta_n(t-\tau)) d\tau \quad (10)$$

де $\eta_n = \sqrt{\zeta_n^2 - \beta^2}$, $\zeta_n = c^4 \frac{\mu_n^4}{R^4} (J_0^2(\mu_n) \cdot I_0^2(\mu_n)) \pm \frac{N}{\gamma} \frac{\mu_n^2}{R^2}$, $J_0(\mu_n)$ і $I_0(\mu_n)$ – функції Бесселя першого і другого роду; $\Phi_n(k_n \cdot r) = J_0(k_n \cdot r) \cdot I_0(k_n \cdot r) - J_0(\mu_n) \cdot I_0(\mu_n)$ – власні функції відповідної межової задачі; $\mu_n = k_n \cdot R$ – власні значення відповідної межової задачі.

Припустимо, що мембрана має можливість вільного теплового розширення вздовж радіуса. Тоді у рівнянні, що описує її прогин від дії тиску, необхідно покласти $N=0$, але при цьому $R = R_0(1 + \alpha \Delta T)$, де R_0 – початкове значення радіуса при нормальних умовах.

Отже, виникає задача: яка похибка при термоударі буде більшою – та, що спричинена зусиллями N (при цьому радіус мембрани не змінюватиметься), чи зміною радіуса внаслідок теплового розширення? Зрозуміло, що в останньому випадку таке розширення необхідно забезпечити конструктивно.

Задаючись відповідними параметрами мембрани та іншими необхідними даними, проведено числовий аналіз рівняння (10) при згаданих умовах. При цьому покладалося, що на мембрану діяв стрибок тиску, тобто у формулу (10) покладалось $p(\tau) = p_0 = const$. Результати числового аналізу подано на рис. 5–8.

Отримані результати чітко показують більш відчутний вплив на динаміку мембрани зусиль в площині мембрани, що породжені термомеханічними процесами в ній та її умовами закріплення.

Саме така різниця динаміки мембрани при термовпливі і при нормальних умовах є значущою складовою додаткової похибки перетворювача. Для кращого розуміння подамо цю похибку у відносній формі (рис. 8). Тобто

$$\Delta(t) = \frac{w(t, T^0) - w(t)}{w(t)},$$

де $w(t, T^0)$ і $w(t)$ – динаміка мембрани при термоударі і при нормальних умовах. Тут при розрахунку покладалося, що в одному випадку $w(t, T^0)$ розраховувалось за залежністю (10) при $N = Eh\alpha(1+\nu)\Delta T$ – абсолютно жорстке защемлення, а в іншому випадку $N=0$, але $R = R_0(1 + \alpha \Delta T)$ – мембрана умовно могла вільно деформуватися у своїй площині.

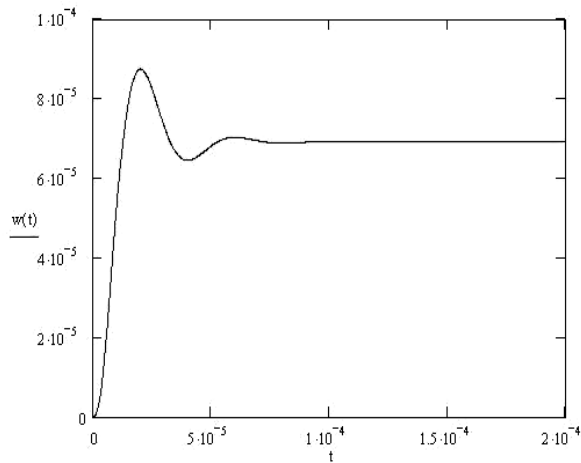


Рис. 5. Динаміка мембрани при нормальних умовах

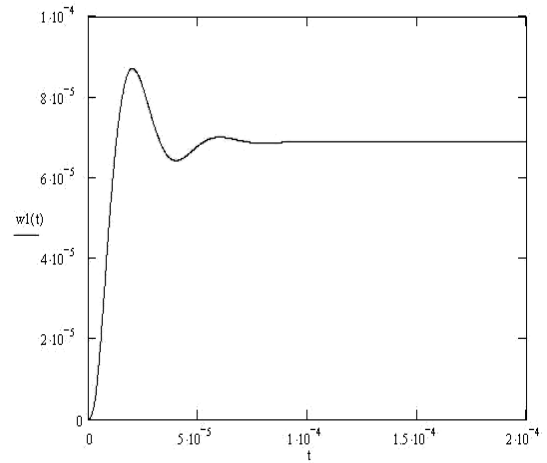


Рис. 6. Динаміка мембрани при тепловій зміні радіуса

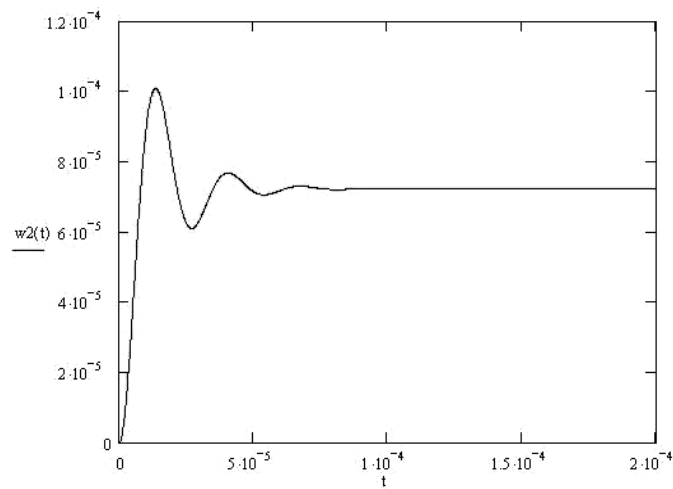
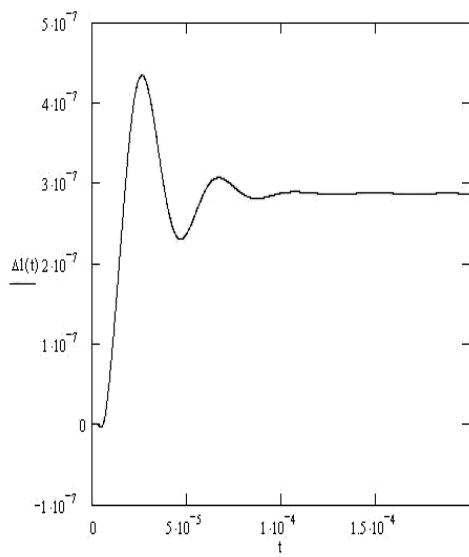
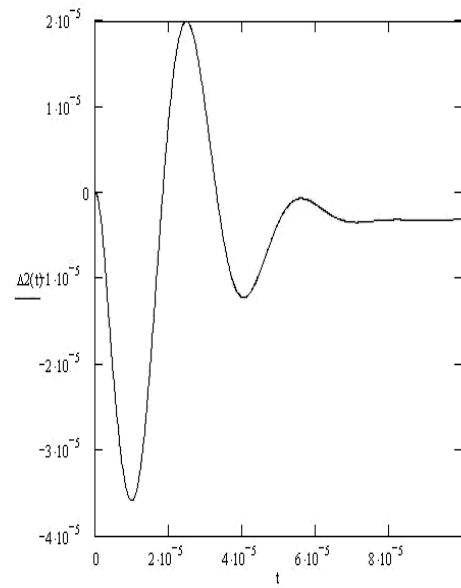


Рис. 7. Динаміка мембрани при дії стискувальних зусиль



а



б

Рис. 8. Відносні додаткові похибки тензометричного перетворювача динамічного тиску внаслідок термоудару: а – внаслідок теплової зміни радіуса мембрани; б – внаслідок дії стискувальних зусиль

4. Висновок

З проведеного аналізу впливу термомеханічних процесів у мембрані тензOMETричного перетворювача динамічного тиску на його додаткову похибку при дії термоудару впливає вагомий факт, що дія стискувальних зусиль N значно "шкідливіша" ніж можлива теплова зміна радіуса. Отже, конструктивні удосконалення повинні йти у напрямку надання мембрані можливості термомеханічної деформації у своїй площині.

1. Тихан М.А. Тензометрические датчики переменного давления для систем автоматики с нестационарными термовлияниями. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Пенза, 1995. – 18 с.
2. Tykhan M., Maryamova I, etc. Semiconductor Mechanical Sensors for Adverse and dynamic conditions. XIV IMEKO World Congress. V. IX A, p. 99-103. Tampere, Finland. 1997.

УДК 004.032.26

С.І. Шаповалова, Г.І. Шараєвський

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут”,

кафедра автоматизації проектування енергетичних процесів і систем

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КАРТИ САМООРГАНІЗАЦІЇ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ РОЗПІЗНАВАННЯ СИГНАЛІВ

© Шаповалова С.І., Шараєвський Г.І., 2007

Розроблено універсальну програмну систему на основі двомірних ґрат карти самоорганізації, яка дає змогу вирішувати завдання розпізнавання і класифікації.

Developed in the article the universal programmatic system on the basis of two-dimensional lattice of self-organization card, which allows to decide the recognition and classification tasks.

Вступ

З урахуванням сучасних високих вимог до безпеки головного обладнання ядерних енергоблоків високої потужності незаперечним пріоритетом є забезпечення високої надійності елементів та систем їх головного обладнання, зокрема, парових турбоагрегатів АЕС. Досвід їх експлуатації підтверджує той факт, що безаварійна експлуатація ядерних енергоблоків суттєво залежить від надійності їх підшипникових вузлів. Досягнення високого рівня використання встановленої потужності ядерного енергоблоку сьогодні стає вже неможливим без розроблення та впровадження принципово нових підходів до створення систем діагностики головного обладнання АЕС. Надзвичайно перспективним в цьому плані є використання штучних нейронних мереж.

Постановка проблеми

Існуюче програмне забезпечення моделювання штучних нейронних мереж має ряд недоліків. Так, зокрема, його інтеграція в систему, для якої задача розпізнавання є однією з багатьох, хоч і вирішальною, може спричинити втрату ефективності програмного комплексу. У більшості нейроімітаторів недостатньо представлені можливості моделювання нейронної мережі, перебудовування її архітектури, зміни параметрів налагодження й навчання. Концептуальним недоліком для вирішення промислових прикладних задач є універсальність нейропакетів, яка приводить до того, що не завжди можна відобразити всі особливості розв'язуваної задачі. Тому для вирішення задачі розпізнавання сигналів технічного обладнання необхідно розробити програмне забезпечення за такими вимогами:

1. Коректність отримуваних результатів.
2. Надійність за стійкістю обчислень.
3. Виведення рішень у реальному часі.
4. Достатня гнучкість і сумісність з іншими програмними засобами.