

ТЕНЗОМЕТРИЧНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ТИСКУ ДЛЯ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ СЕРЕДОВИЩ

© Тихан М.О., 2008

Пропонується тензометричний перетворювач тиску для високотемпературних середовищ.

The pressure piezoresistive sensor for operation in high temperature conditions has been proposed.

1. Вступ. Для багатьох галузей промисловості необхідні перетворювачі тиску, котрі спроможні працювати за високих температур, наприклад при відпрацюванні силових і енергетичних установок, двигунів тощо.

Відомо, що вплив температури на перетворювач породжує певну складову його додаткової похибки, а також загрожує конструктивній надійності приладу[1].

Сучасні тензометричні перетворювачі тиску, незважаючи на удавану зовнішню простоту, являють собою доволі складні мехатронні пристрої, у яких конструктивні елементи виконані з різномірних матеріалів з використанням високих технологій точної механіки та електроніки. Тому у разі дії температури у перетворювачі відбуваються складні термомеханічні процеси, які є причиною значної складової додаткової температурної похибки приладу. Практика вимірювань показує, що амплітуда такої похибки може сягати 60 %, а інколи і більше [2]. Отже, поза сумнівом, є актуальними дослідження, спрямовані на зменшення температурної похибки і підвищення надійності роботи приладів.

У цій роботі на підставі аналізу температурного поля у первинному пружному елементі перетворювача–мембрані розроблена конструкція його корпусної частини, яка дає змогу зменшити термонапруження у мембрані.

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 пластинки, що жорстко защемлена у масивному корпусі, а механо-електричні перетворювачі-тензорезистори розташовані на мембрані (рис. 1).

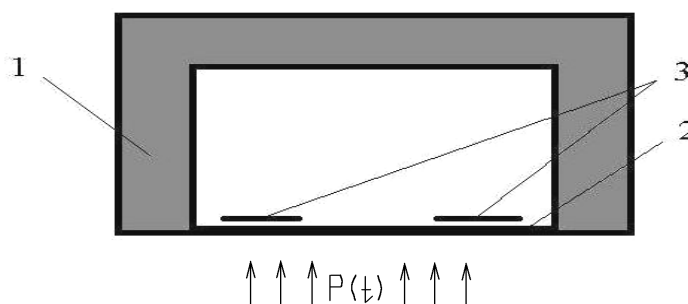


Рис. 1. Структурна схема типового тензометричного перетворювача динамічного тиску:
1 – корпус; 2 – мембрана; 3 – тензорезистори

При вимірюванні мембрана перетворювача як первинний сприймаючий елемент передовсім відчуває вплив температури середовища, а, отже термомеханічні процеси в ній найвагомніше впливають на формування характеру та значення температурної похибки.

2. Аналіз температурного поля та термодформації у мембрані перетворювача. Відомо [1], що під впливом змінної температури вимірювального середовища термомеханічні напруження у мембрані описуються залежностями

$$s_r(r, z, t) = \frac{E}{1-\nu^2} [e_r + \nu e_j - (1+\nu)I_{,l}T(r, z, t)] \quad (1)$$

$$s_j(r, z, t) = \frac{E}{1-\nu^2} [e_j + \nu e_r - (1+\nu)I_{,l}T(r, z, t)] \quad (2)$$

де E – модуль пружності; ν – коефіцієнт Пуассона; α_0 – коефіцієнт лінійного розширення; e_r, e_j – радіальна і дотична деформації, котрі породжені нерівномірністю температурного поля у мембрані; $T(r, z, t)$ – значення температури в точці мембрани з координатами r, z і момент часу t ; r – поточна координата точки на мембрані вздовж радіуса; z – поточна координата точки на мембрані по товщині.

Як відомо [2], температурне поле у мембрані описується рівнянням

$$T(r, z, t) = T_n + T_{дин}(r, z, t) + T_{уст}(r, z) \quad (3)$$

де

$$T_{дин}(r, z, t) = -\frac{4\Delta T \cdot h_0 \cdot h_2}{R} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Xi_1(z, b_m) \cdot e^{-c(a_n^2 + b_m^2)t} \cdot b_m}{(a_n^2 + b_m^2) \cdot \Xi_2(b_m)} \cdot \Xi(r, a_n) \quad (4)$$

– перехідна, або динамічна складова;

$$T_{уст}(r, z) = -\frac{2\Delta T \cdot h_0 \cdot h_2}{R} \times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_n \cdot ch(a_n \cdot (l-z)) + h_1 \cdot sh(a_n \cdot (l-z))}{(h_0 + h_1) \cdot a_n \cdot ch(a_n \cdot l) + (h_0 \cdot h_1 + a_n^2) \cdot sh(a_n \cdot l)} \cdot \Xi(r, a_n) \quad (5)$$

– усталена складова;

$$b_m \text{ – корені рівняння } ctg b_m l = \frac{1}{h_0 + h_1} (b_m - \frac{h_0 \cdot h_1}{b_m});$$

$$a_n \text{ – корені рівняння } a_n J_1(a_n R) - h_2 J_0(a_n R) = 0,$$

$$\Xi(r, a_n) = \frac{J_0(a_n r)}{(h_2^2 + a_n^2) \cdot J_0(a_n R)}, \quad (6)$$

$$\Xi_1(z, b_m) = b_m \cdot \cos(b_m \cdot (l-z)) + h_1 \cdot \sin(b_m \cdot (l-z)), \quad (7)$$

$$\Xi_2(b_m) = b_m [2 + l(h_0 + h_1)] \cdot \sin(b_m l) - [l(h_0 h_1 - b_m^2) + h_0 + h_1] \cdot \cos(b_m l), \quad (8)$$

R, l, r – радіус, товщина, густина матеріалу мембрани; c – коефіцієнт температуропровідності; h_0, h_1, h_2 – нормовані коефіцієнти теплообміну на площинах мембрани; ΔT – перепад температури на площинах мембрани.

При жорсткому закріпленні мембрани $e_r = e_j = 0$, тому

$$s_r(r, z, t) = \frac{E}{1-m} [-a_0 T(r, z, t)] \quad (9)$$

$$s_j(r, z, t) = \frac{E}{1-m} [-a_0 T(r, z, t)] \quad (10)$$

Відомо [2–4], що напруження (1)–(2) істотно менші, ніж (9)–(10). Тому напруження, що визначаються (9)–(10) і еквівалентні їм зусилля в площині мембрани є значно "шкідливіші" ніж можливі термодформації мембрани. А тому є найвагомішою причиною значної додаткової похибки перетворювача тиску при впливі температури і, тим самим, низької точності вимірювання та надійності. Отже, якщо б закріплення мембрани уможливило її температурну деформацію у своїй площині, то у такому разі мембрана мала би тільки напруження, котрі породжені нерівномірністю температурного поля в ній.

Отже, з метою надання мембрані можливості температурної деформації у своїй площині нижня частина корпусу 2 виконана у формі чвертини тора. Геометричні параметри тора і його матеріал підібрані так, щоби лінійна деформація мембрани дорівнювала горизонтальній деформації торця тора.

На рис. 2–7 показані температурні і термомеханічні процеси у системі мембрана-корпус при дії термоудару з амплітудою 420 C^0 .

3. Висновки.

Виконане числове моделювання дає змогу стверджувати таке.

Система мембрана-тороподібний корпус є цілком працездатною і за певних геометричних розмірів працює як термопружний шарнір, забезпечуючи рівність горизонтальної термодформації мембрани і торця корпусу. Тобто реалізується вільне защемлення мембрани і, тим самим, вона зазнає тільки термодформацій.

Певним недоліком пропонованого перетворювача є необхідність контролю термодформацій мембрани і коригування вихідного сигналу відносно них.

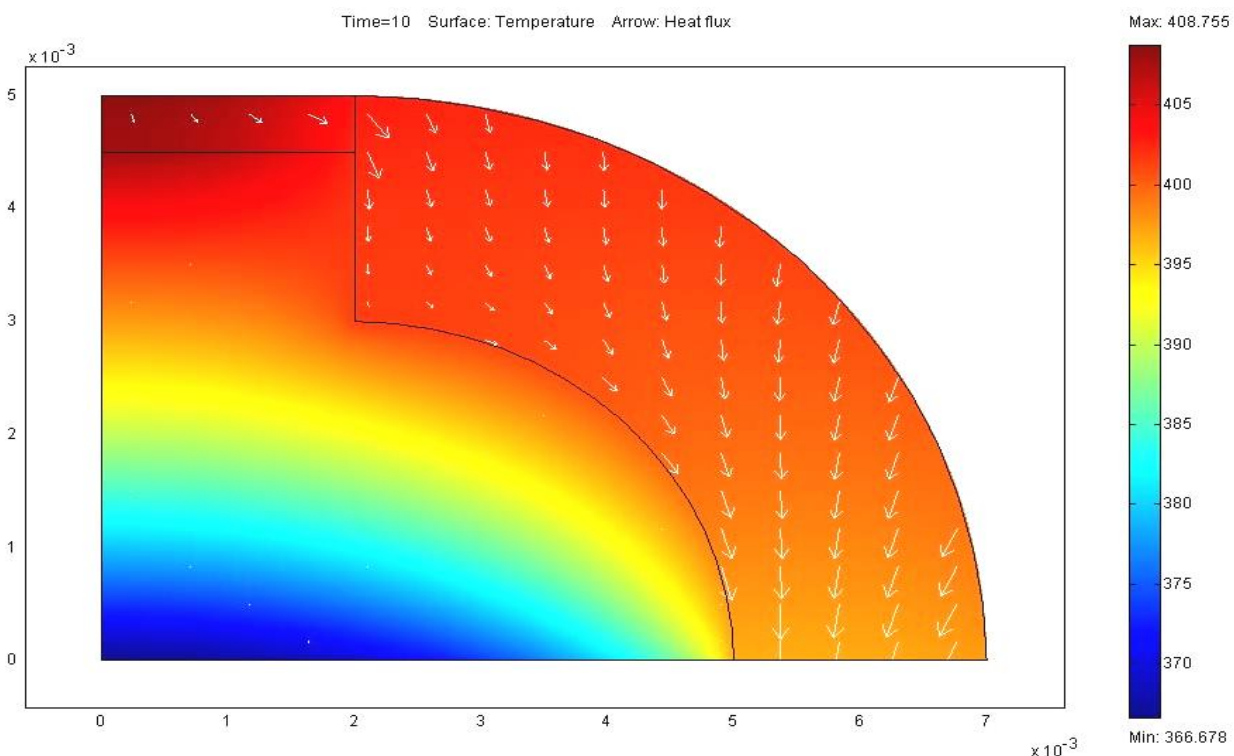


Рис. 2. Стан температурного поля у системі мембрана-корпус у момент часу $t=10 \text{ с}$. після термоудару

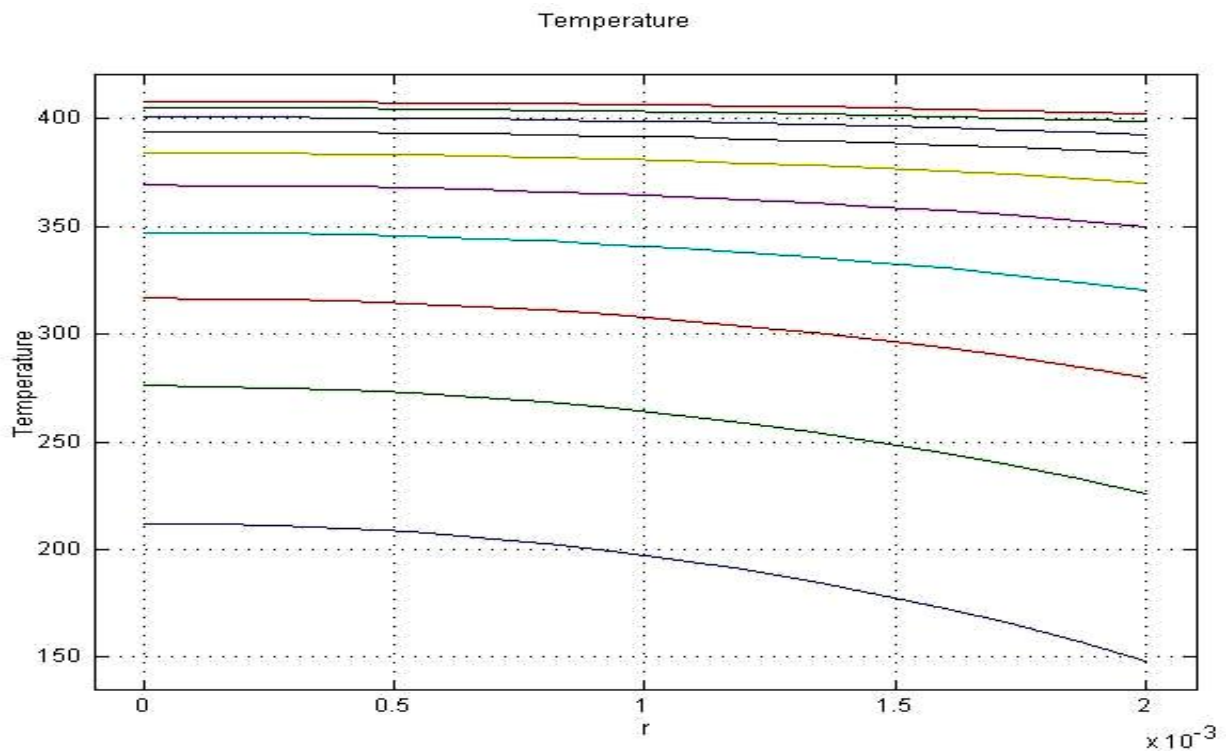


Рис. 3. Динаміка температурного поля на внутрішній стороні мембрани у системі мембрана-корпус після термоудару

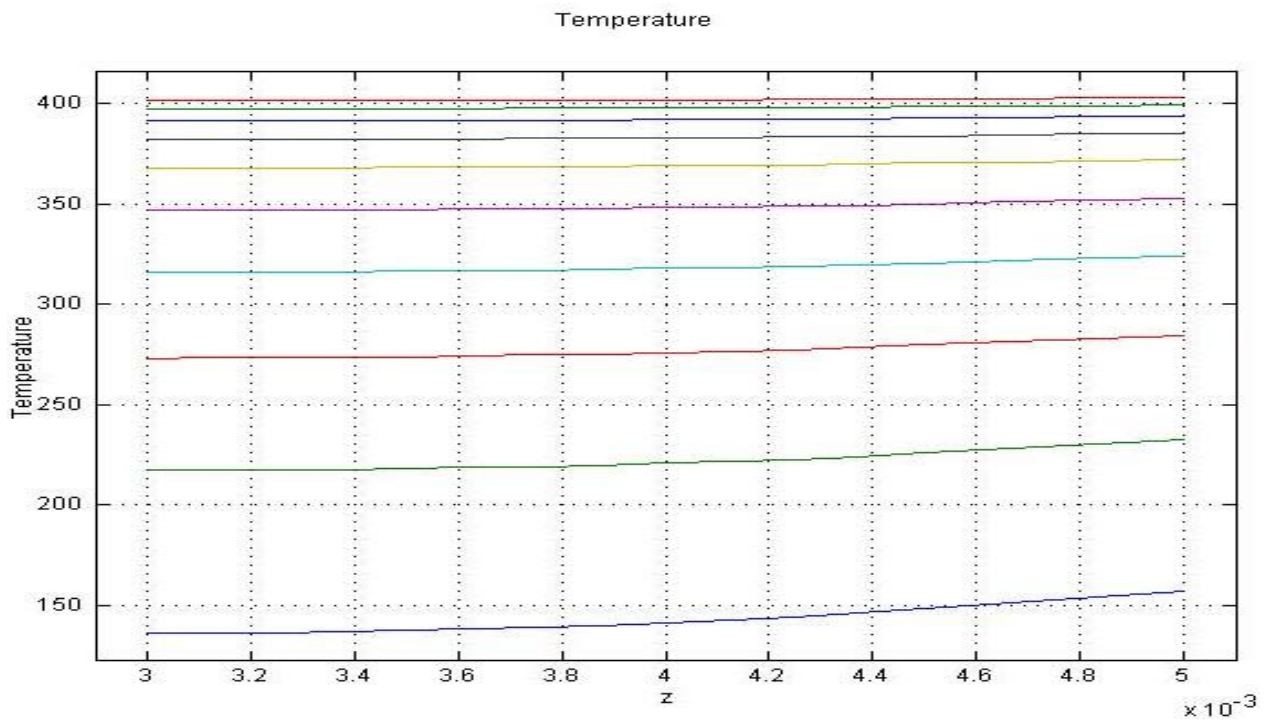


Рис. 4. Динаміка температури на торці корпусу у зоні закріплення мембрани після термоудару

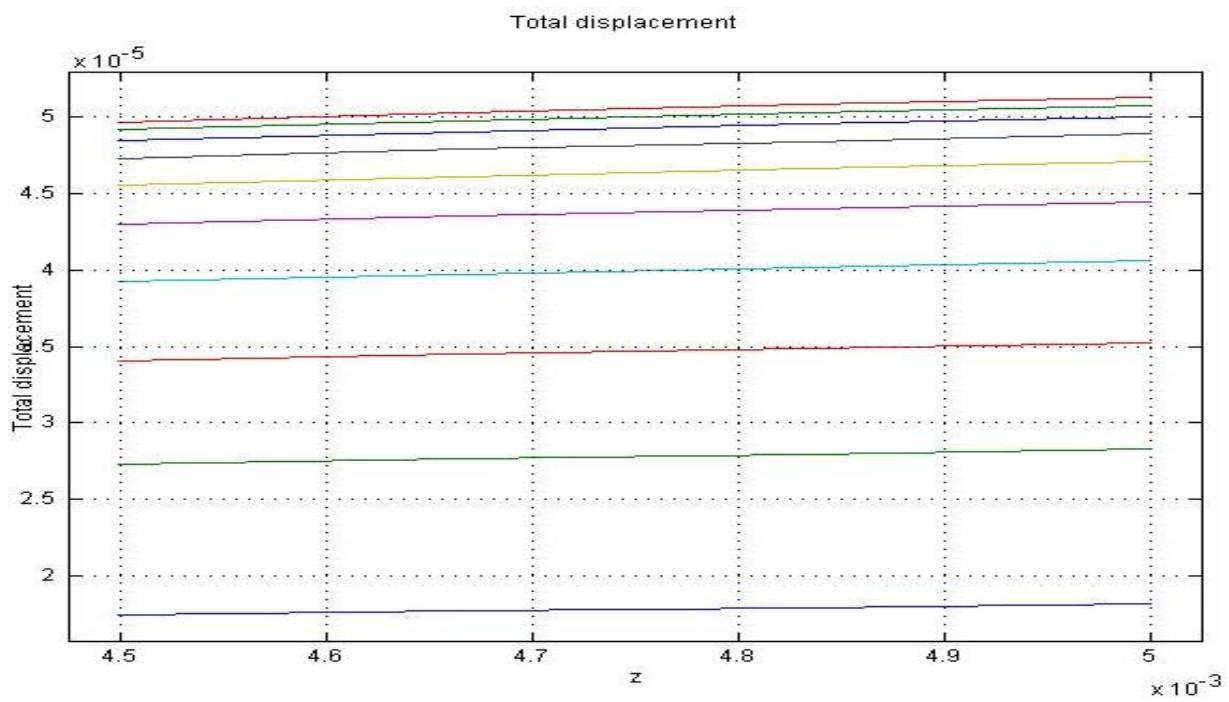


Рис. 5. Динаміка вертикальної деформацій на торці корпусу у зоні закріплення мембрани після термоудару

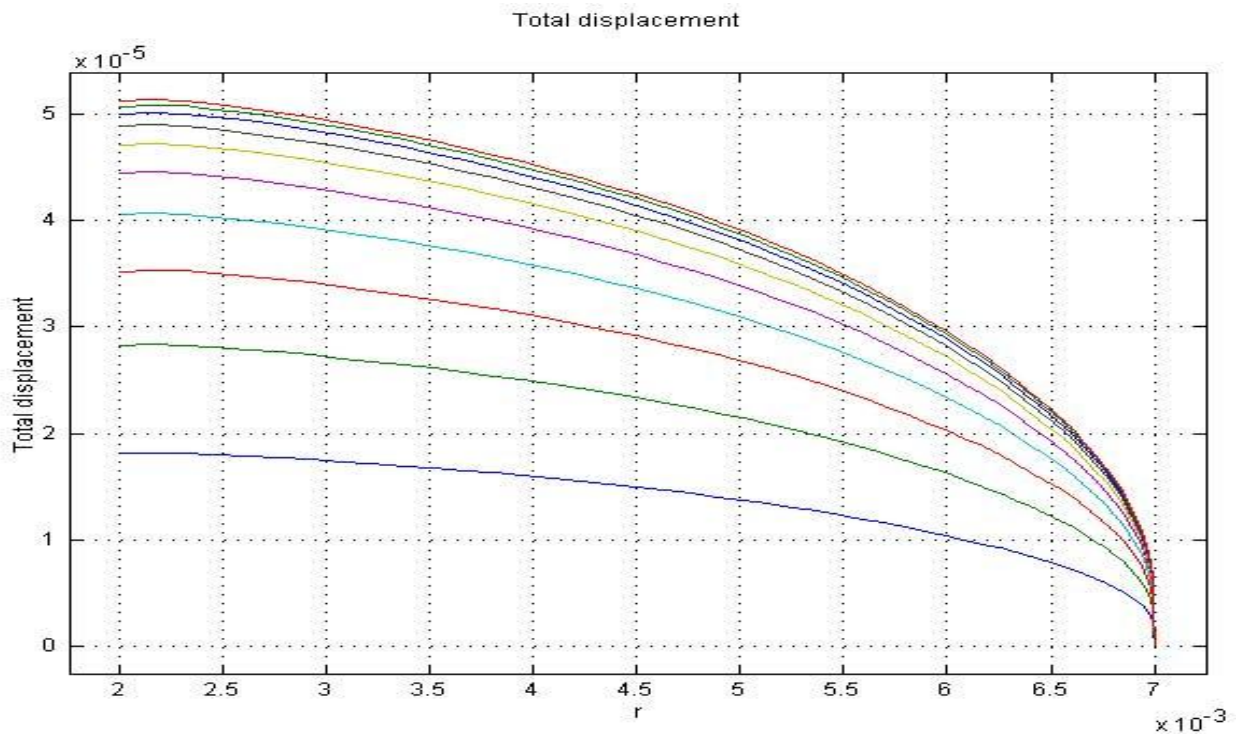


Рис. 6. Динаміка радіальної деформацій на торці корпусу у зоні закріплення мембрани після термоудару

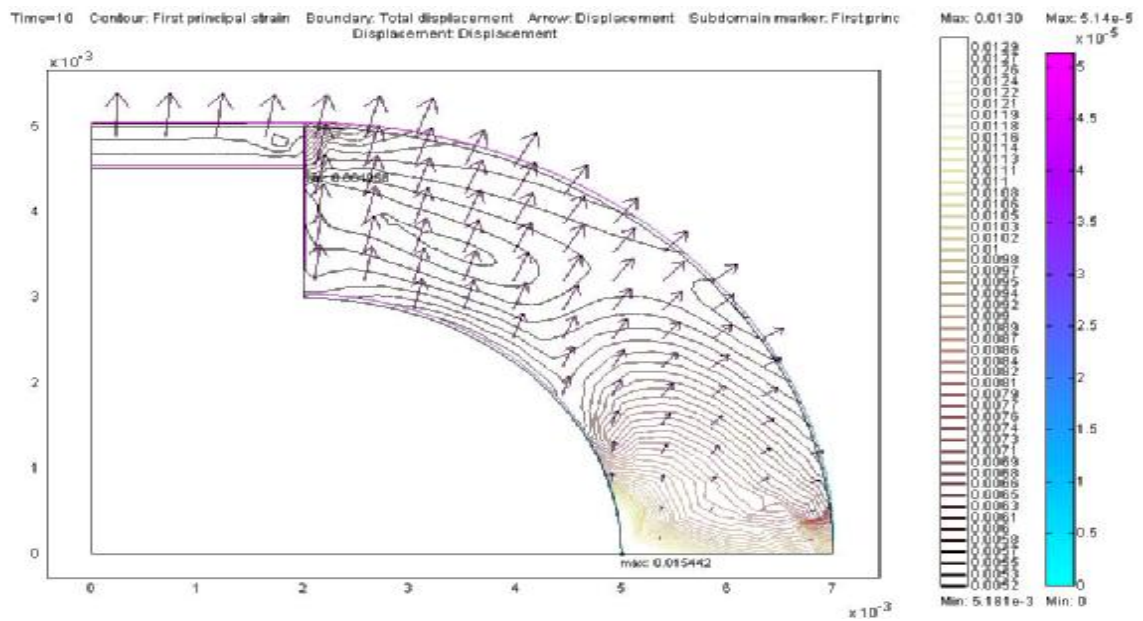


Рис. 7. Стан відносних деформацій і напружень у системі мембрана-корпус після термоудару

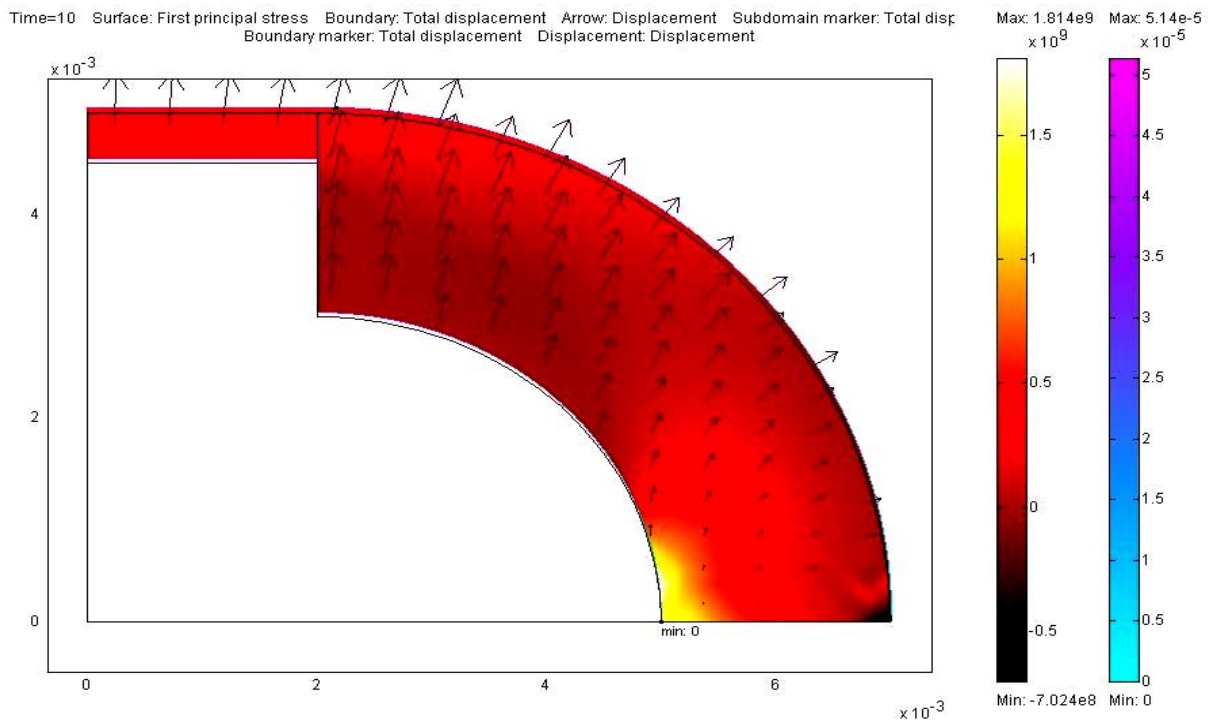


Рис. 8. Стан термонапружень і термодформації у системі мембрана-корпус в момент часу $t=10$ с. після термоудару

1. Боли Б., Уэйнер Дж. Теория температурных напряжений. – М.: Мир, 1964. – С. 518
2. Тухан 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.
3. Tuhkan M., Maryatova I., etc. Semiconductor Mechanical Sensors for Adverse and dynamic conditions. XIV IMEKO World Congress. V. IX A, p. 99103. Tampere, Finland. 1997.
4. Тухан М. Аналіз впливу термомеханічних процесів у мембрані тензометричного перетворювача динамічного тиску при термоударі на його додаткову похибку // Автоматика, вимірювання та керування. Вісник Національного університету "Львівська політехніка", №574, 2007. – С. 69–75.