

ТЕМПЕРАТУРНІ НАПРУЖЕННЯ І ПЕРЕМІЩЕННЯ В КОАКСІАЛЬНИХ ПЛАСТИНЧАСТИХ КОНСТРУКЦІЯХ ПРИ ЗМІНІ ТЕМПЕРАТУРИ

Запропонована методика визначення значень температурних напружень в коаксіальних пластинчастих конструкціях з отвором при зміні температури. Результати числових досліджень зображені графічно

Пластинчасті елементи круглої форми широко застосовуються в приладобудуванні, хімічній нафтовій та будівельній промисловості. Це тарілки ректифікаційних колон, днища і люки різноманітних резервуарів, цементних бункерів, елементи конструкції елеваторів, різноманітного перекриття, зливоналивних цистерн та інших ємкостей для зберігання рідин тощо. При дії високих температур, наприклад теплової сонячної енергії або факторів пожежі, вони деформуються, оскільки в них виникають температурні напруження [1,2]. На величину напружень впливають геометричні розміри, фізико-механічні характеристики матеріалу, який застосовується при виготовленні пластинчастих конструкцій, та умови їх закріплення.

Значну частину конструкцій можна змоделювати закріпленими або вільно опертими циліндричними пластинами. Розглянемо круглу пластинчасту конструкцію радіуса R_2 з коаксіальним включенням у вигляді шайби радіусом R_1 і отвором радіуса R_0 . Теплофізичні характеристики включення відрізняються від відповідних характеристик пластинки.

Усі величини, які належать до включення, будемо позначати індексом 1, а пластинки – 2. Температуру, при якій відсутні напруження в пластинці, приймемо за нульову. Для аналітичних досліджень вибрано полярну систему координат $(r;\varphi)$, початок якої розміщено в центрі пластинки.

Якщо температура в пластинці та включенні зміниться на величину ΔT , то в них виникнуть переміщення і температурні напруження, які знаходять за формулами [3]

$$\begin{aligned} u_i &= A_i \cdot r + \frac{B_i}{r}, \\ \sigma_r^{(i)} &= k_i \left[A_i (1 + \nu_i) - \frac{1 - \nu_i}{r^2} B_i - \beta_i \right], \\ \sigma_\varphi^{(i)} &= k_i \left[A_i (1 + \nu_i) + \frac{1 - \nu_i}{r^2} B_i - \beta_i \right], \end{aligned} \quad (1)$$

де $k_i = \frac{E_i}{1 - \nu_i^2}$; $\beta_i = \alpha_i^{(i)} (1 + \nu_i^2) T$, u_i – переміщення в напрямі радіуса r , A_i і B_i – сталі інтегрування, які знаходяться з умов закріплення коаксіальної пластинчастої конструкції по її краях $r=R_0$, $r=R_2$. Краї даної коаксіальної конструкції з отвором можуть закріплюватися або бути вільними від навантажень.

Розглянемо три варіанти можливого закріплення і один варіант вільного опирання по краях коаксіальної пластинки.

1) *Пластинка закріплена по краю $r = R_0$.*

В цьому випадку граничні умови запишемо у вигляді:

$$\begin{aligned} u_1 &= u_2, \quad \sigma_r^{(1)} = \sigma_r^{(2)} \quad \text{при } r = R_1, \\ u_1 &= 0 \quad \text{при } r = R_0, \quad \sigma_r^{(2)} = 0 \quad \text{при } r = R_2. \end{aligned} \quad (2)$$

Задовольняючи умови (2) знаходимо сталі інтегрування:

$$\begin{aligned} A_1 &= -B_1 \cdot \rho_0; A_2 = \nu_2^* \cdot \rho_2 \cdot B_2 + \alpha_2; \\ B_1 &= a/d; B_2 = -(B_1 \cdot l + \beta_2)/c; \end{aligned} \quad (3)$$

де

$$\begin{aligned} \vartheta_2^* &= \frac{1-\nu_2}{1+\nu_2}; \rho_{12} = \vartheta_2^* \cdot \rho_2 + \rho_1; \rho_{10} = \rho_1 - \rho_0; \\ l &= \rho_0(1-\nu_1) + \rho_1(1-\nu_1); c = (1-\nu_2) \cdot \rho_{21}^* \cdot \frac{k_2}{k_1}; \\ \rho_{21}^* &= \rho_2 - \rho_1; d = \rho_{10} + \frac{l}{c} \cdot \rho_{12}; a = \alpha_2 - \frac{\beta_1 \cdot \rho_{12}}{c}; \\ \alpha_1 &= \frac{\beta_1}{1+\nu_1} = \alpha_i^{(1)} \cdot \Delta T; \alpha_2 = \frac{\beta_2}{1+\nu_2} = \alpha_i^{(2)} \cdot \Delta T; \rho_i = \frac{r}{R_i^2}; i = 0,1,2. \end{aligned}$$

За формулами (1) з врахуванням виразів (3) для A_i і B_i проведені дослідження температурних напружень і переміщень результати яких зображені графічно на рисунках 1 і 2. Характеристики для матеріалів приймалися рівними:

а) для металу $E_1 = 1,9 \cdot 10^{11} \text{ Па}$; $\nu_1 = 0,3$; $\alpha_i^{(1)} = 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$;

б) для кераміки $E_2 = 2,35 \cdot 10^{11} \text{ Па}$; $\nu_1 = 0,22$; $\alpha_i^{(2)} = 6,2 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$;

при цьому $R_1 = 2R_0$, $R_2 = 8R_0$, $T = 100^\circ\text{C}$.

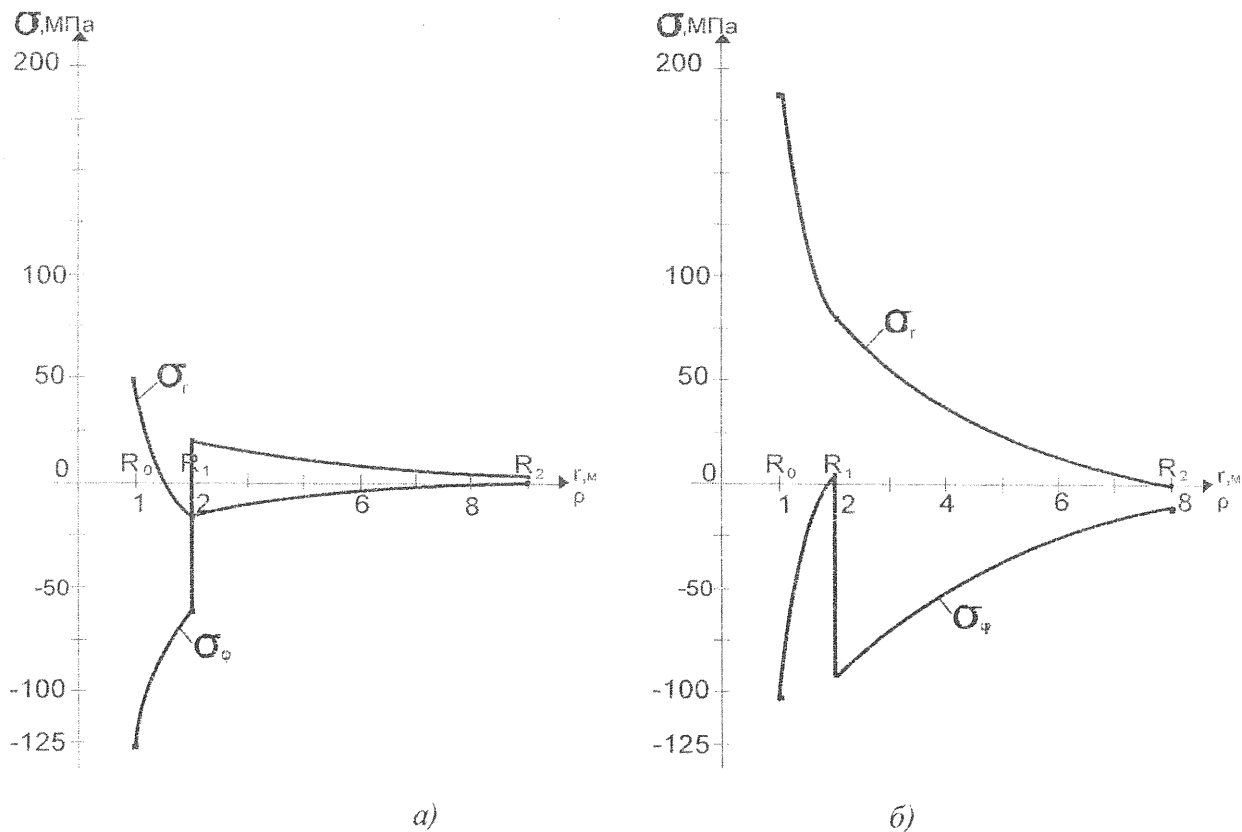


Рис 1. Зміна значень температурних напружень вздовж радіуса коаксiальної пластини закріпленої по краю $r = R_0$.
а) температурні напруження в керамічній пластині з металевим включенням;
б) температурні напруження в металевій пластині з керамічним включенням.

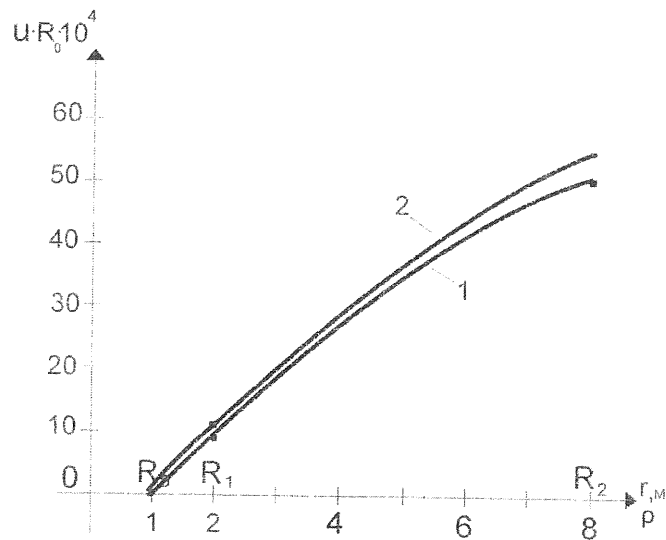


Рис 2. Зміна значень переміщень вздовж радіуса коаксіальної пластини закріпленої по краю $r = R_0$.
 1) переміщення в керамічній пластині з металевим включенням;
 2) переміщення в металевій пластині з керамічним включенням.

2) Пластина закріплена по краю $r = R_2$.

В цьому випадку граничні умови запишуться у вигляді:

$$\begin{aligned} u_1 = u_2, \quad \sigma_r^{(1)} = \sigma_r^{(2)} \text{ при } r = R_1, \\ \sigma_r^{(1)} = 0 \text{ при } r = R_0, \quad u_2 = 0 \text{ при } r = R_2. \end{aligned} \quad (4)$$

Задовольняючи умови (4) знаходимо сталі інтегрування:

$$\begin{aligned} A_1 = \nu_1^* \cdot B_1 \cdot \rho_0 + \alpha_1; \quad A_2 = -\frac{M}{N} \cdot \rho_2; \\ B_1 = \frac{1}{\rho_{01}} \left(\frac{M}{N} \cdot \rho_{12} - \alpha_1 \right); \quad B_2 = \frac{M}{N}; \end{aligned} \quad (5)$$

де

$$\begin{aligned} \mathcal{G}_1^* = \frac{1 - \nu_1}{1 + \nu_1}; \quad \rho_{12} = \rho_1 c = \frac{k_2}{k_1} [\rho_2 (1 + \nu_2) + \rho_1 (1 - \nu_2)] - \rho_2; \quad \rho_{01} = \mathcal{G}_1^* \rho_0 + \rho_1; \\ N = \frac{\rho_{12}}{\rho_{01}} \cdot d_1 + c_1; \quad c_1 = \frac{k_2}{k_1} [\rho_2 (1 + \nu_2) + \rho_1 (1 - \nu_2)]; \quad d_1 = (1 - \nu_1) (\rho_0 - \rho_1); \\ M = d_1 \cdot \frac{\alpha_1}{\rho_{01}} - \frac{k_2}{k_1} \cdot \beta_2 \\ \alpha_1 = \frac{\beta_1}{1 + \nu_1} = \alpha_i^{(1)} \cdot \Delta T; \quad \rho_i = \frac{1}{R_i}; \quad i = 0, 1, 2. \end{aligned}$$

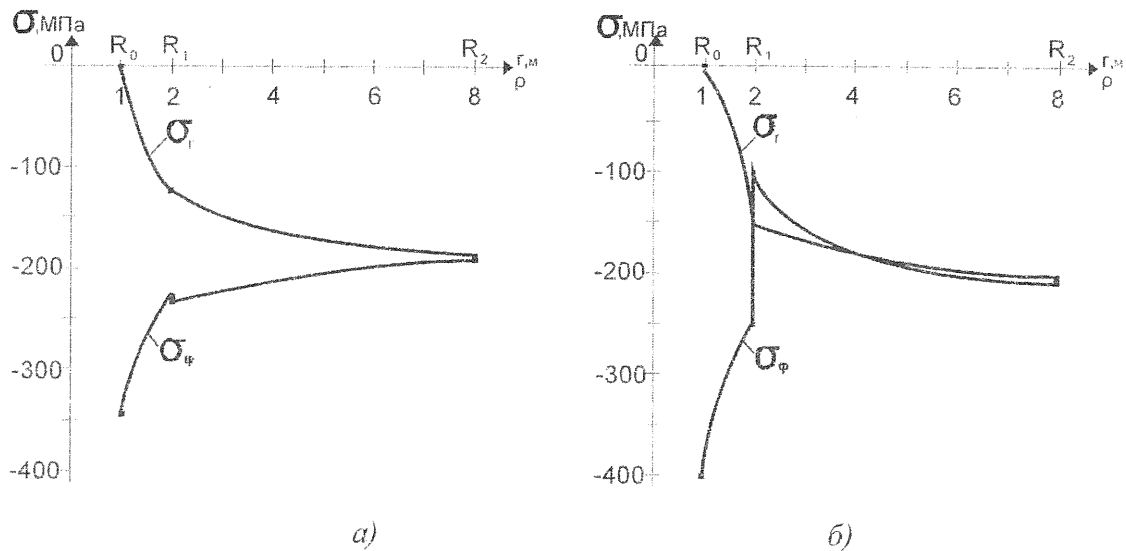


Рис 3. Зміна значень температурних напружень вздовж радіуса коаксіальної пластини закріпленої по краю $r = R_2$. а) температурні напруження в керамічній пластині з металевим включенням; б) температурні напруження в металевій пластині з керамічним включенням.

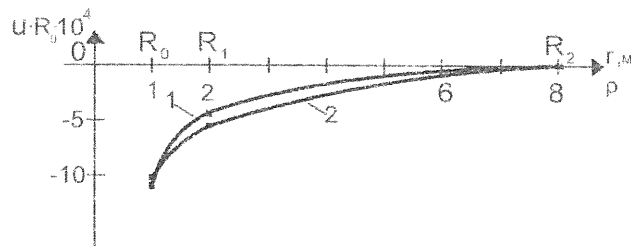


Рис 4. Зміна значень переміщень вздовж радіуса коаксіальної пластини закріпленої по краю $r = R_2$. 1) переміщення в керамічній пластині з металевим включенням; 2) переміщення в металевій пластині з керамічним включенням.

3) Пластина закріплена по обох краях $r = R_0$ і $r = R_2$.

В цьому випадку граничні умови запишуться у вигляді:

$$u_1 = u_2, \quad \sigma_r^{(1)} = \sigma_r^{(2)} \quad \text{при } r = R_1, \quad (6)$$

$$u_1 = 0 \quad \text{при } r = R_0, \quad u_2 = 0 \quad \text{при } r = R_2.$$

Задовольняючи умови (6) знаходимо сталі інтегрування:

$$A_1 = -B_1 \cdot \rho_0; \quad A_2 = -B_2 \cdot \rho_2;$$

$$B_1 = -\frac{n}{a}; \quad B_2 = \frac{B_1 \cdot m + n}{d}; \quad (7)$$

де

$$n = \beta_1 - \beta_2 \cdot \frac{k_2}{k_1}; \quad a = m - \frac{d \cdot \rho_{01}}{\rho_{12}}; \quad m = \rho_0(1 + \nu_1) + \rho_1(1 - \nu_1);$$

$$d = \frac{k_2}{k_1} [\rho_2(1 + \nu_2) + \rho_1(1 - \nu_2)]; \quad \rho_{01} = \rho_1 - \rho_0; \quad \rho_{12} = \rho_1 - \rho_2;$$

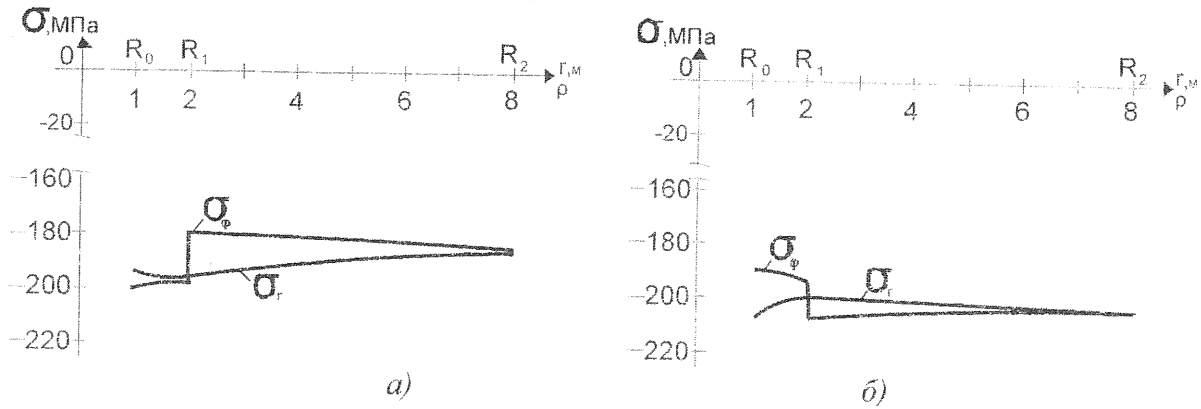


Рис 5. Зміна значень температурних напружень вздовж радіуса коаксіальної пластини закріпленої по обох краях $r = R_0$ і $r = R_2$.
 а) температурні напруження в керамічній пластині з металевим включенням;
 б) температурні напруження в металевій пластині з керамічним включенням.

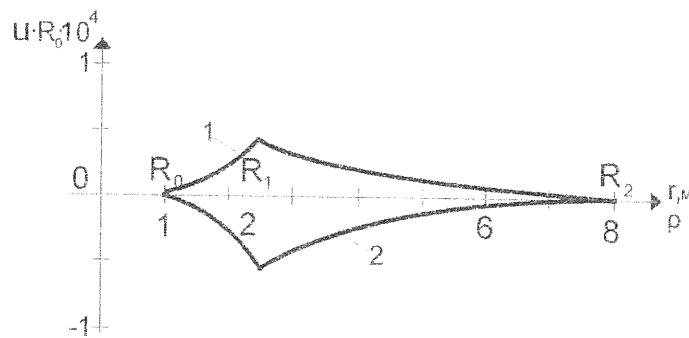


Рис 6. Зміна значень переміщень вздовж радіуса коаксіальної пластини закріпленої по обох краях $r = R_0$ і $r = R_2$.
 1) переміщення в керамічній пластині з металевим включенням;
 2) переміщення в металевій пластині з керамічним включенням.

4) Пластина вільно оперта.

В цьому випадку граничні умови запишуться у вигляді

$$u_1 = u_2, \quad \sigma_r^{(1)} = \sigma_r^{(2)} \text{ при } r = R_1, \\ \sigma_r^{(2)} = 0 \text{ при } r = R_2, \quad \sigma_r^{(1)} = 0 \text{ при } r = R_0. \quad (8)$$

Задовольняючи умови (8), знаходимо сталі інтегрування:

$$B_1 = \frac{a_2}{a_1} \cdot B_2 + \frac{R_1^2 (\alpha_2 - \alpha_1)}{a_1}; \quad B_2 = \frac{c}{d} \cdot B_1; \\ A_1 = B_1 \cdot \nu_1^* \cdot \rho_0 + \alpha_1; \quad A_2 = B_2 \cdot \nu_2^* \cdot \rho_2 + \alpha_2. \quad (9)$$

де

$$\rho_i = \frac{1}{R_i^2}; \quad i = 0, 1, 2; \quad a_1 = 1 + \nu_1^* \cdot \frac{R_1^2}{R_0^2}; \quad a_2 = 1 + \nu_2^* \cdot \frac{R_1^2}{R_2^2}; \quad \nu_1^* = \frac{1 - \nu_1}{1 + \nu_1}; \quad \nu_2^* = \frac{1 - \nu_2}{1 + \nu_2};$$

$$c = (1 - \nu_1) \cdot (\rho_0 - \rho_1); \quad d = k^* \cdot (1 - \nu_2) \cdot (\rho_2 - \rho_1); \quad k^* = \frac{k_2}{k_1};$$

$$\alpha_1 = \frac{\beta_1}{1 + \nu_1} = \alpha_1^{(1)} \cdot \Delta T; \quad \alpha_2 = \frac{\beta_2}{1 + \nu_2} = \alpha_1^{(2)} \cdot \Delta T.$$

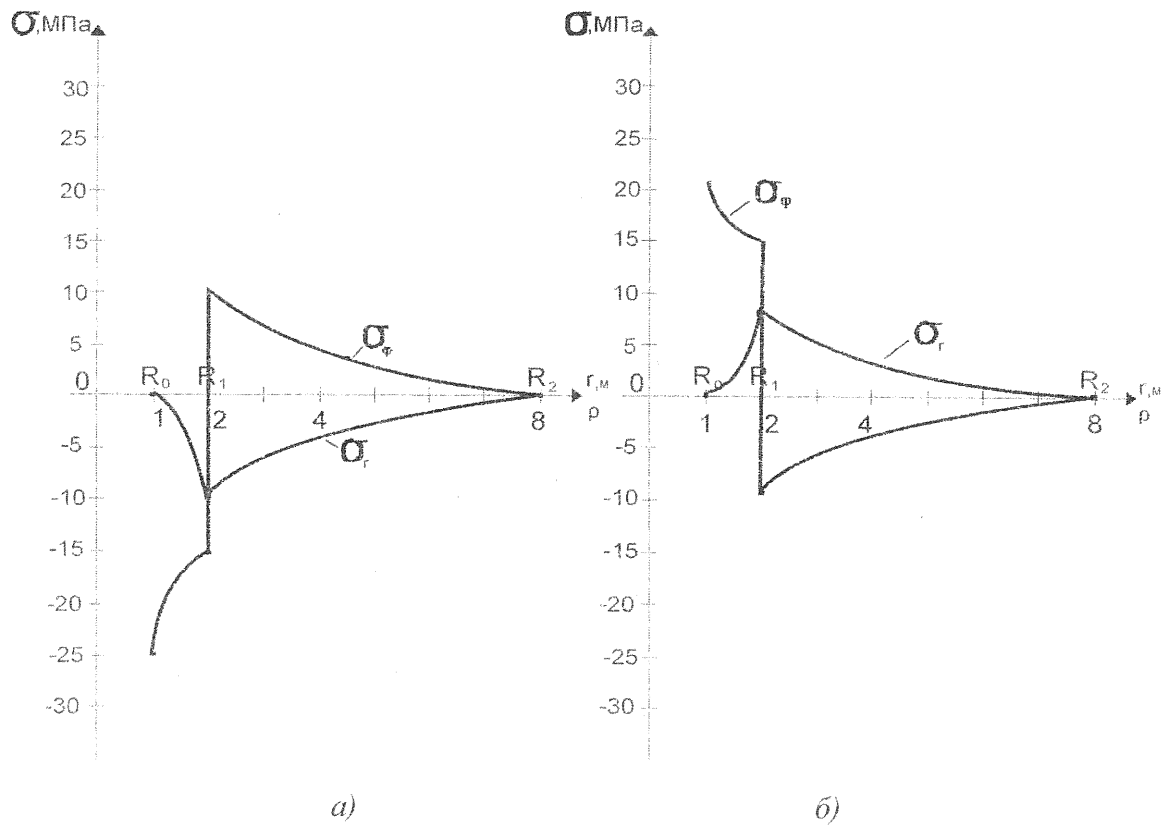


Рис 7. Зміна значень температурних напружень вздовж радіуса вільно опертої коаксіальної пластини.
 а) температурні напруження в керамічній пластині з металевим включенням;
 б) температурні напруження в металевій пластині з керамічним включенням.

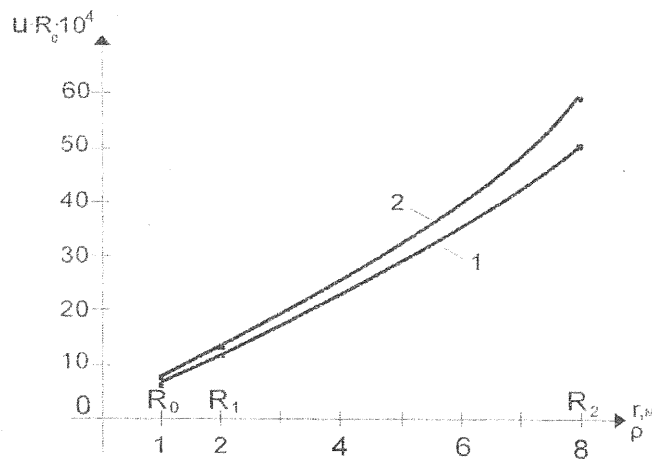


Рис 8. Зміна значень переміщень вздовж радіуса вільно опертої коаксіальної пластини.
 1) переміщення в керамічній пластині з металевим включенням;
 2) переміщення в металевій пластині з керамічним включенням.

Аналіз графіків показує, що вибором матеріалу і включення можна змінити напруження не тільки по величині, але і по знаку, тобто забезпечити в конструкції розтяг або стиск.

ВИСНОВКИ. Графічні залежності показують, що найбільших значень напруження досягають в області включення. Кільцеві напруження на границі спряження включення і пластинки стрибком змінюють своє значення на деяку величину. Цей стрибок зміни

кільцевих напружень обумовлених різницею значень фізико-механічних характеристик матеріалів з яких виготовлені пластинка і включення. Одержані вирази (1) дають можливість розрахувати допустиму величину нагріву конструкції з включенням, а при проектуванні конструкції підібрати оптимальну пару матеріалів з найбільш узгодженими характеристиками.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Клубань В.С., Петров А.П., Рябиков В.С. *Пожарная безопасность предприятий промышленности и агропромышленного комплекса* - М.: Стройиздат, 1987.- 477 с.
2. Гейтвуд Б.Е. *Температурные напряжения применительно к самолётам, снарядам, турбинам и ядерным реакторам* – М.:Изд-во «Иностранной литературы», 1959.-350 с.
3. Семерак М.М., Димитрова Ю.Д. *Термонапружений стан круглих пластинчастих конструкцій*. Зб. Тез міжнар. наук.-практ. конф – Л.: ЛДУ БЖД, 2008. С. 213-215.

УДК 614.842.84

А.А. Мичко, д.т.н. (Державний НДІТБ хімічних підприємств м. Северодонецьк)

А.С. Лин (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

Вол.В. Ковалишин (ГУ МНС України у Львівській області)

Р.Я. Лозинський, к.т.н (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

РЕЗУЛЬТАТИ ПОЛІГОННИХ ВИПРОБУВАНЬ З ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НЕБЕЗПЕЧНИХ ФАКТОРІВ ВІДКРИТОГО ПОЛУМ'Я, ЩО ДІЮТЬ НА ЗАХИСНИЙ ОДЯГ ПОЖЕЖНИХ

Наведено результати досліджень ІЧ-випромінювання залежності від площі горіння, складу горючої рідини та відстані до випробувального одягу

Сучасний стан проблеми. Однією з проблем в галузі індивідуального захисту пожежників-рятувальників є якісне проведення випробувань захисного одягу. В зв'язку з реорганізацією МНС і збільшенням категорій екстремальних ситуацій, перелік робіт та обов'язків пожежно-рятувальних підрозділів різного рівня підготовленості значно збільшується. Тому стає очевидним, що індивідуальний захист кожного рятувальника, повинен відповідати конкретним вимогам, бути ефективним та надійним, ґрунтуватись на характеристиках небезпечних і шкідливих факторів (НШФ) надзвичайних ситуацій (НС) різноманітних об'єктів та підприємств. Дослідження й удосконалення методів і засобів захисту пожежників від дії високих температур під час ліквідації пожеж і рятування людей в умовах високих ерготермічних навантажень, є актуальною задачею. Одним із видів контролю засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) є вивчення впливу на них ІЧ-випромінювання та теплового потоку, тобто найбільш небезпечних НШФ, які наявні на пожежі. В зв'язку з цим, очевидно, що під час роботи в екстремальних ситуаціях організм повинен, бути надійно захищений від таких НШФ як теплове випромінювання, висока температура і конвективне тепло.

Постановка завдання. Метою роботи є проведення досліджень з визначення значень інтенсивності ІЧ-випромінювання та потужності конвективного тепла в залежності від площі горіння, складу горючої рідини та відстані від зони випромінювання до випробувального одягу.