

**Ключові слова:** температурне поле, залізобетонні конструкції, висока температура, пожежа, Elcut.

**Bodnar Yu., Bar V., Mazurak R. Influence of changes in thermal parameters of temperature field of concrete structures in determining their fire**

The problem described temperature field of reinforced concrete structures, which is under high temperature caused by fire. As part of the software system Elcut Student obtained for solutions of plates, heated in one of the planes and the square column, heated on all sides. Included changing thermal parameters of concrete temperature.

**Key words:** temperature field, concrete structures, high temperature, fire, Elcut.

**Боднар Ю., Бар В., Мазурак Р. Влияние характера изменения теплофизических параметров бетона на температурные поля конструкций при определении их огнестойкости**

Описана постановка задачи о температурном поле железобетонной конструкции, которая находится под влиянием высокой температуры, обусловленной пожаром. В рамках программного комплекса Elcut Student получены решения задач для пластины, которая нагревается по одной из плоскостей, и квадратной колонны, которая нагревается со всех сторон. Учтено изменение теплофизических параметров бетона от температуры.

**Ключевые слова:** температурное поле, железобетонные конструкции, высокая температура, пожар, Elcut.

УДК 539.3

**КОНЦЕНТРАЦІЯ МЕРИДІАЛЬНИХ НАПРУЖЕНЬ  
У ВКЛЮЧЕННІ ПІД ЧАС РОЗТЯГУ**

*Т. Бубняк, к. ф.-м. н.*

*Львівський національний аграрний університет*

**Постановка проблеми.** Сучасні технології високопродуктивного обладнання, прокатних станів, будівельних конструкцій та споруд містять елементи, виготовлені з анізотропних матеріалів, які, частково змінюючи структуру середовища, можуть суттєво впливати на концентрацію напружень в околі анізотропних включень, що в одних випадках зумовлені технологією виробництва, а в інших вводяться з метою покращання

міцнісних властивостей елемента. Знання достовірної інформації про досягнення компонентами напружень екстремальних значень, зокрема на межі розділу фаз, є важливим завданням під час розрахунку міцності конструкції.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Просторові задачі теорії пружності й пластичності займають важливе місце серед задач механіки деформованого твердого тіла.

У праці Ю.М. Подільчука [1] єдиним методом побудовані точні розв'язки першої та другої граничних задач теорії пружності для ізотропних тіл канонічної форми.

Актуальною є проблема визначення напруженого стану трансверсально-ізотропного тіла, яке містить таке саме включення за умови неідеального механічного й теплового контактів на межі розділу фаз за дії лінійного механічного або теплового навантаження.

Одним із ефективних методів розв'язку задач теорії пружності є метод Фур'є, який базується на представленні загальних розв'язків рівнянь рівноваги через потенціальні функції [2].

**Постановка завдання.** Наше завдання – провести аналіз напруженого стану трансверсально-ізотропного середовища, яке містить включення у формі стиснутого сфероїда. На межі розділу фаз вибрані умови неідеального теплового й механічного контактів, зовнішнє поле – лінійне. Потрібно дослідити характер напруженого стану та перерозподіл концентрації напружень на поверхні сфероїдального включення за розтягу вздовж осі  $OZ$ . Включення та середовище мають задані пружні характеристики.

**Виклад основного матеріалу.** Рівняння лінійної статичної теорії пружності й термопружності однорідного анізотропного тіла мають вигляд:

$$\lambda_{i,j} T_{,ij} = 0, \quad (1)$$

$$c_{ijkl} \cdot U_{k,lj} = \beta_{ij} \theta_{,j} \quad (2)$$

де  $\lambda_{ij}$ ,  $\beta_{ij}$  – коефіцієнти теплопровідності й лінійного розширення анізотропного тіла;  $c_{ijkl}$  – компоненти тензора пружних властивостей;  $\theta$  – приріст температури  $T$ ;  $U_k$  – вектор переміщень.

Розв'язок рівнянь(1), (2) за граничних умов на поверхні включення лінійного силового й температурного полів зводиться до розкладу шуканих потенціальних функцій у тригонометричні ряди за приєднаними функціями Лежандра першого і другого родів  $P_n^{(m)}(p)$ ,  $Q_n^{(m)}(i\bar{q})$  [4].

$$\Phi(x, y, z_j) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{n+1} \frac{n+m}{i(2n+1)} \left\{ \frac{P_{n+1}^{(m)}(p_j) Q_{n+1}^{(m)}(i\bar{q}_j)}{(n+m+1)(n+m)} - \frac{P_{n-1}^{(m)}(p_j) Q_{n-1}^{(m)}(i\bar{q}_j)}{(n-m+1)(n-m)} \right\} \{ a_{nm}^{(j)} \cos m\varphi + b_{nm}^{(j)} \sin m\varphi \}, \quad (j = 1, 2, 3), \quad (3)$$

де  $a_{nm}^{(j)}, b_{nm}^{(j)}$  – наразі невідомі коефіцієнти.

Для знаходження загального розв'язку рівнянь рівноваги, у випадку дійсних різних коренів характеристичного рівняння, складеного за коефіцієнтами системи рівнянь рівноваги, використовуються подання через потенціальні функції [3].

$$\begin{aligned} u &= \frac{\partial \Phi_1}{\partial x} + \frac{\partial \Phi_2}{\partial x} + \frac{\partial \Phi_3}{\partial y}; \\ v &= \frac{\partial \Phi_1}{\partial y} + \frac{\partial \Phi_2}{\partial y} - \frac{\partial \Phi_3}{\partial x}; \\ w &= k_1 \frac{\partial \Phi_1}{\partial z} + k_2 \frac{\partial \Phi_2}{\partial z}. \end{aligned} \quad (4)$$

У (4) коефіцієнти  $k_1, k_2$  виражаються через коефіцієнти рівнянь рівноваги та корені характеристичного рівняння.

У дослідженні числовий аналіз здійснювали в умовах неідеального контакту для матеріалів із пружними характеристиками:

включення:  $(10^{10} \text{н/м}^2) \tilde{c}_{11} = 16,10; \tilde{c}_{12} = 3,42; \tilde{c}_{33} = 5,01; \tilde{c}_{14} = 6,10; \tilde{c}_{44} = 3,83;$   
середовище:  $(10^{10} \text{н/м}^2) c_{11} = 16,8; c_{12} = 7,10; c_{33} = 18,9; c_{14} = 18,9; c_{44} = 5,46.$

Усі інші  $c_{ij} = 0$ , як для включення, так і для середовища.

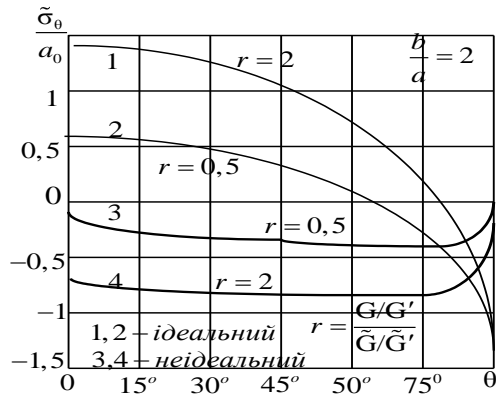


Рис. Концентрація напружень залежно від жорсткості середовища та включення

**Висновки.** На рисунку показано розподіл напружень у трансверсально-ізотропному сфероїдальному включенні залежно від різних його пружних властивостей для  $\varphi = 0^\circ$ . Варто зауважити, що неідеальний контакт на межі розділу фаз суттєво впливає на розподіл напружень у включенні. Зокрема для

розтягу вздовж осі  $OX$  напруження  $\tilde{\sigma}_0$  у включенні мають майже лінійний характер, досягаючи максимальних значень біля полюса  $\theta = \frac{\pi}{2}$ .

Спостерігається суттєвий вплив анізотропії на концентрацію напружень у разі істотної різниці між пружними сталими середовища та включення.

#### **Бібліографічний список**

1. Подильчук Ю. Н. Граничные задачи статики упругих тел / Ю. Н. Подильчук // *Пространственные задачи теории упругости и пластичности* : в 5 т. – Т. 1. – К. : Наук. думка, 1984. – 303 с.
2. Соколовский Я. И. Напряженное состояние трансверсально-изотропной среды со сфероидальным включением при неидеальном механическом контакте / Я. И. Соколовский, Т. И. Бубняк // *Теоретическая и прикладная механика*. – 1995. – Вып. 25. – С. 17-26.
3. Соколовський Я. І. Просторова задача трансверсально-ізотропного середовища із сфероїдальним включенням при неідеальному механічному контакті / Я. І. Соколовський, Т. І. Бубняк // *Доп. НАН України*. – 1996. – № 9. – С. 45-50.
4. Бубняк Т. І. Характеристика концентрації нормальних напружень на поверхні включення / Т. І. Бубняк, В. Т. Якимець // *Вісник Львівського національного аграрного університету : архітектура і сільськогосподарське будівництво*. – 2014. – № 15 – С. 23-27.

#### **Бубняк Т. Концентрація меридіальних напружень у включенні під час розтягу**

Досліджено характер концентрації меридіальних напружень на поверхні сфероїдального включення в умовах ідеального та неідеального механічних контактів між середовищем і включенням за умов розтягу.

**Ключові слова:** потенціальні функції, трансверсально-ізотропне середовище, контакт, сфероїд, поле напружень.

#### **Bubnyak T. Meridian stress concentration in turn by stretching**

The nature of meridian stress concentration at the surface spheroidal inclusion in non-ideal conditions and perfect mechanical contact between the environment and the inclusion by stretching.

**Key words:** potential functions transversely isotropic medium contact spheroid field stresses.

#### **Бубняк Т. Концентрация меридиальных напряжений у включении при растяжении**

Исследован характер концентрации меридиальных напряжений на поверхности сфероидального включения в условиях идеального и

неидеального механічних контактів между середой и включением при растяжении.

**Ключевые слова:** потенциалные функции, трансверсально-изотропная среда, контакт, сфероид, поле напряжений.

УДК 624.012.36

**ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ ПОВЕРХОНЬ ДРУГОГО ПОРЯДКУ  
ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ДАШКА ВХОДУ АДМІНІСТРАТИВНОЇ  
БУДІВЛІ ПО ВУЛ. ЧМОЛИ У М. ЛЬВОВІ**

*О. Гнатюк, к.т.н., В. Косарчин, к.ф.-м.н., Я. Фамуляк, к. т. н.  
Б. Задорожний, старший викладач  
Львівський національний аграрний університет*

**Постановка проблеми.** У проекті адміністративної будівлі по вул. Чмоли у м. Львові для підкреслення естетичності та художньої виразності фасаду було запропоновано дашок головного входу виконати у вигляді криволінійної поверхні (рис. 1). Для конструкції такого типу виникає комплекс технологічних проблем – влаштування криволінійної опалубки для залізобетонної конструкції чи виготовлення попередньо зігнутих металевих профілів або дерев'яних балок. Запропоновано конструкцію дашка у вигляді гіперболічного параболоїда (гіпара). Гіпар є подвійною лінійчатою поверхнею, через кожну його точку можна провести дві прямі, які будуть лежати на цій криволінійній поверхні, і це дає змогу використати прямолінійні елементи будівельних конструкцій для її виготовлення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Поряд із найдавнішими стрижневими стійко-балковими системами каркасних будинків зі середини ХХ ст. впроваджені просторові перехресні стрижневі системи у формі гіперболічного параболоїда (гіпара) [1]. Найчастіше їх застосовують у вигляді несучих конструкцій покриття будівель і споруд – оболонки великих, середніх та малих прогонів різноманітних контурів, у різних поєднаннях, із різними принципами статичної роботи, виконаних із різних матеріалів.

У працях Ф. Кандели та інших інженерів-архітекторів (Сарже, Нерві, Торроха) гіпари використовують досить доцільно й ефективно не тільки в покриттях споруд, а й для влаштування опор, фундаментів, перекриттів тощо [2]. Є випадки застосування гіпара й у вигляді стінових панелей (гараж у Детройті, арх. Л. Кан). Великий інтерес, викликаний до гіпара, пояснюють особливими архітектурно-будівельними властивостями, які витікають із