

Домінік А.М.
Дослідження вогнестійкості циліндричної колони в умовах пожежі

Домінік Андрій Михайлович, викладач
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

Анотація. Досліджено напружено - деформований стан несучої бетонної конструкції циліндричної форми в умовах пожежі. Запропоновано методику визначення і дослідження температурного поля в конструкції, обумовленого різкою зміною температури зовнішнього середовища. Теплообмін між конструкцією і середовищем відбувається за законом Ньютона. Визначено та досліджено напружено - деформований стан конструкції, обумовлений температурою. На основі проведених досліджень запропонована методика визначення межі вогнестійкості циліндричної колони за ознакою втрати несучої здатності, втрати цілісності і теплоізоляційної здатності.

Ключові слова: вогнестійкість бетонних конструкцій, температурне поле, переміщення.

Актуальність теми. При експериментальному дослідженні температурного поля будівельних конструкцій або окремих елементів їх поміщають у піч, яка нагрівається по заданому температурному режимі. Такий метод є високо енерговитратним і потребує значного часу для його проведення. Аналітичні дослідження дають можливість за короткий час зробити аналіз температурного поля в конструкціях різних геометричних розмірів з урахуванням теплофізичних властивостей матеріалів (бетон, цегла, метал та інші).

В роботі досліджено циліндричну колону радіусом R, яка нагрівається під дією зовнішнього середовища за стандартною температурною кривою. Для знаходження зміни температурного поля по радіусу колони і часу розв'язано диференціальне рівняння нестационарної теплопровідності [1-2].

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r}, \quad (1)$$

де τ - час, хв., t_0 - початкова температура $^{\circ}\text{C}$;
 $a = \frac{\lambda}{c_v \cdot \rho}$ - коефіцієнт теплопровідності, $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$;

c_v - теплоємність при сталому об'ємі, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; ρ - густина, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; λ - коефіцієнт теплопровідності, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

Вираз (1) є диференціальним рівнянням нестационарної теплопровідності другого порядку. Для знаходження розв'язку рівняння (1) необхідно задати одну початкову і дві граничні умови:

$$t(r, 0) = t_0 = \text{const}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial t(R, \tau)}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

$$-\frac{\partial t(R, \tau)}{\partial x} + \alpha [(t_{\text{max}} - t_0) e^{-k\tau} - t(R, \tau)] = 0, \quad (4)$$

де α - коефіцієнт теплообміну, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$; t_{max} - максимальна температура в середовищі за розглядуваний період часу, $^{\circ}\text{C}$.

Застосовуючи перетворення Лапласа до рівняння (1) і умов (2)-(4) одержуємо шуканий розв'язок:

$$t(r, \tau) = (t_{\text{max}} - t_0) \left[1 - \frac{J_0(\sqrt{Pd} \frac{r}{R})}{J_0(\sqrt{Pd}) - \frac{1}{Bi} \sqrt{Pd} \cdot J_1(\sqrt{Pd})} e^{-\sqrt{Pd} \cdot Fo} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{1 - \frac{\mu_n^2}{Pd}} J_0(\mu_n \frac{r}{R}) \cdot \exp(-\mu_n^2 \cdot Fo) \right] + t_0 \quad (5)$$

де $A_n = \frac{2Bi}{J_0(\mu_n) [\mu_n^2 - Bi^2]}$; $Pd = \frac{k \cdot R^2}{a}$ - критерій

Предводителя; $Fo = \frac{a\tau}{x^2}$ - критерій Фур'є; $Bi = \frac{\alpha x}{\lambda}$ - критерій Біо; $J_0(\sqrt{Pd})$ - функція Бесселя першого роду; μ_n - корені характеристичного рівняння

$$\mu_n = \frac{Bi \cdot J_0(\mu_n)}{J_1(\mu_n)}.$$

За формулою (5) проведені розрахунки температурного поля в бетонній колоні, для якої прийняті такі теплофізичні характеристики: $\lambda = 1,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$;

$$C_v = 850 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; \quad \rho = 2200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Результати досліджень зображено графічно на рисунку 1.

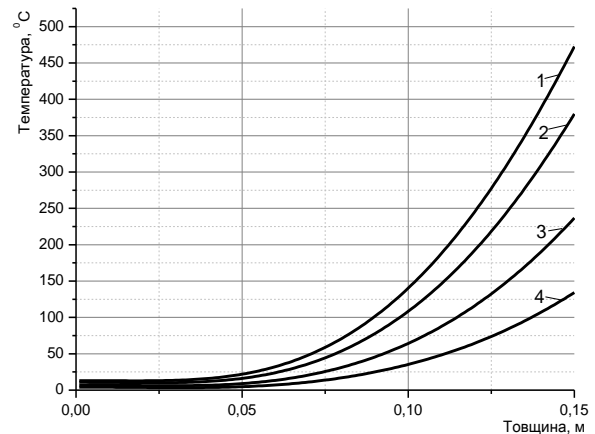


Рис.1. Зміна температури в бетонній колоні на проміжку часу 30 хвилин при

- 1) $\alpha = 36 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$; 2) $\alpha = 24 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$;
- 3) $\alpha = 12 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$; 4) $\alpha = 6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$.

Як відомо за границю вогнестійкості будівельних конструкцій приймається час їх нагріву при стандартних випробуваннях до виникнення одного із трьох граничних станів вогнестійкості [3]:

- за ознакою втрати несучої здатності;
- за ознакою втрати цілісності;
- за ознакою втрати теплоізолюючої здатності.

При оцінці несучої здатності конструкції за умов пожежі необхідно враховувати термонапружений стан конструкції зумовлений зміною температури, величиною температурного градієнта і часом нагріву.

Температурні напруження, які виникають в конструкціях, можна вивчати незалежно від механічних напружень, оскільки внаслідок лінійності рівнянь термопружності повні величини напружень одержують шляхом додавання температурних і механічних напружень.

З метою дослідження впливу цих параметрів на напружено-деформований стан розглянемо циліндр, торці якого защемлені, тобто осьове відносне видовження $\varepsilon_z = 0$. Радіальне переміщення U точок поперечного перерізу можна знайти, розв'язавши диференціальне рівняння [4]:

$$\frac{d^2U}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dU}{dr} - \frac{U}{r^2} = \frac{1+\nu}{1-\nu} \cdot \alpha_t \cdot \frac{dt}{dr}, \quad (6)$$

де U - переміщення, м; ν - коефіцієнт Пуассона; α_t - температурний коефіцієнт лінійного розширення, K^{-1} .

Проінтегрувавши рівняння (6) одержимо:

$$U = A \cdot r + \frac{B}{r} + \frac{1+\nu}{1-\nu} \cdot \alpha_t \cdot \frac{1}{r} \cdot \int_0^r t(r, \tau) \cdot r dr, \quad (7)$$

де A, B - сталі інтегрування, які знаходимо із граничних умов.

Напруження, що діють в радіальному (σ_r), кільцевому (σ_ϕ) та осьовому (σ_z) напрямках запишемо у вигляді [5]:

$$\sigma_r = -\frac{\alpha_t \cdot E}{1-\nu} \cdot \frac{1}{r^2} \cdot \int_0^r t(r, \tau) \cdot r dr + \frac{E}{1+\nu} \cdot \left[\frac{A}{1-2\nu} - \frac{B}{r^2} \right],$$

$$\sigma_\phi = \frac{\alpha_t \cdot E}{1-\nu} \cdot \frac{1}{r^2} \cdot \int_0^r t(r, \tau) \cdot r dr + \frac{E}{1+\nu} \cdot \left[\frac{A}{1-2\nu} + \frac{B}{r^2} \right] - \frac{\alpha_t \cdot E}{1-\nu} \cdot t(r, \tau),$$

$$\sigma_z = A \frac{2E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} - \frac{E\alpha_t t(r, \tau)}{(1-\nu)}, \quad (8)$$

де E - модуль Юнга, Па; α_t - температурний коефіцієнт лінійного розширення для заданого матеріалу, $1/K$.

Постійні інтегрування A і B знайдемо з відсутності переміщень (7) $U = 0$ при $r = 0$, а також рівності нулю радіальних напружень $\sigma_r = 0$ при $r = R$.

Відносні видовження в напрямку паралельному вісі циліндра рівні нулю з умови початкового навантаження колони.

Підставивши вирази (7) і перший вираз (8) та використавши умови одержимо систему з двох алгебраїчних рівнянь для знаходження двох невідомих A, B . Підставивши значення фізико-механічних характеристик бетону: $c_v = 840$, $\lambda = 1,15$ $\rho = 2200$, $E = 0,23 \cdot 10^{11}$ $\alpha_t = 1,2 \cdot 10^{-5}$ $\nu = 0,16$ знайдено переміщення і напруження. Отримані результати зобразимо графічно на рис 2.

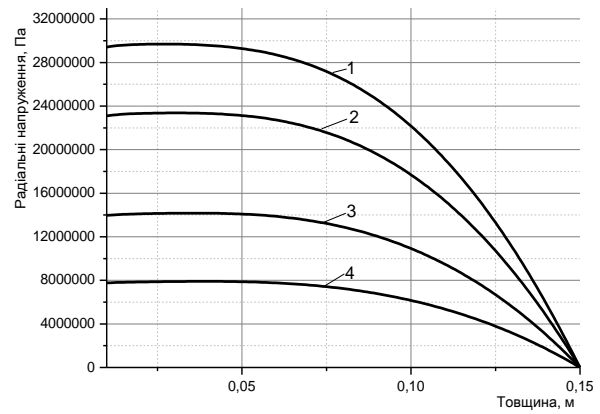


Рис.2. Розподіл радіальних напружень у бетонній колоні при нагріванні за стандартною температурною кривою при часі дослідження 30 хв (температура середовища $864 \text{ }^\circ\text{C}$)

$$1) \alpha = 36 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}; \quad 2) \alpha = 24 \frac{Bm}{m^2 \cdot K};$$

$$3) \alpha = 12 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}; \quad 4) \alpha = 6 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}.$$

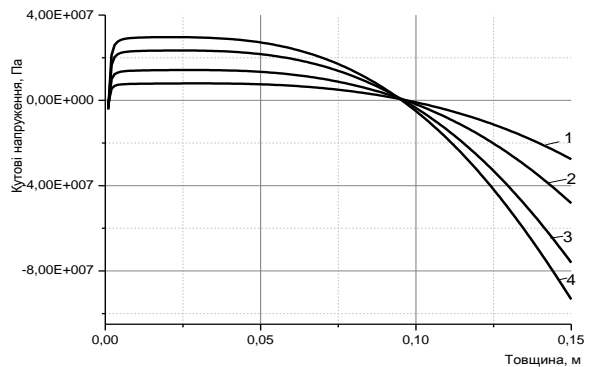


Рис.3. Розподіл кутових напружень у бетонній колоні при нагріванні за стандартною температурною кривою при часі дослідження 30 хв (температура середовища $864 \text{ }^\circ\text{C}$)

$$1) \alpha = 6 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}; \quad 2) \alpha = 12 \frac{Bm}{m^2 \cdot K};$$

$$3) \alpha = 24 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}; \quad 4) \alpha = 36 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}.$$

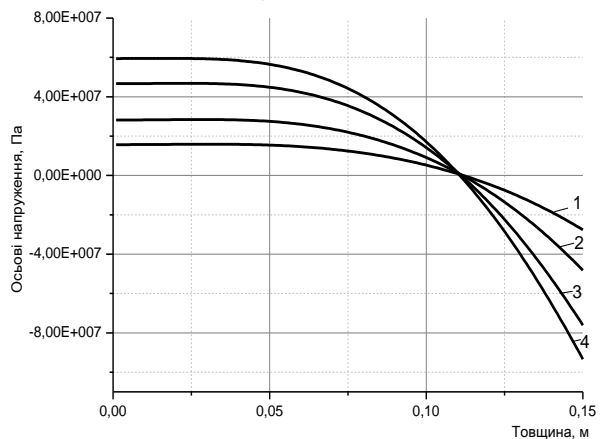


Рис.4. Розподіл осьових напружень у бетонній колоні при нагріванні за стандартною температурною кривою при часі дослідження 30 хв (температура середовища $864 \text{ }^\circ\text{C}$)

$$1) \alpha = 6 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}; \quad 2) \alpha = 12 \frac{Bm}{m^2 \cdot K};$$

$$3) \alpha = 24 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}; \quad 4) \alpha = 36 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}.$$

Висновки.

1) Аналіз одержаних залежностей показує, що при різних інтенсивностях теплообміну α між поверхнею колони і зовнішнім середовищем температура поверхні нижча на 100-300 °С від температури середовища, яке нагріває конструкцію.

2) Радіальні і кільцеві температурні напруження (рис. 2-3) найбільші значення приймають в центрі поперечного перерізу і є напруженнями розтягу. Кільце-

ві напруження в при поверхневих шарах є стискаючими. Осьові напруження є стискаючими напруженнями і найбільше значення досягають на боковій поверхні (рис. 4).

3) Запропонована модель дослідження наружено-деформованого стану дозволяє дослідити температурні напруження і переміщення в залежності від координат і часу.

ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. ДСТУ Б В 1.1-4-98 Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробування на вогнестійкість. Загальні вимоги. Київ: Держбуд України, 1999. – 21с.
DSTU B 1.1-4-98 protection from fire. Building construction. Methods of test for fire resistance. General requirements. Kyiv: Ukraine State Building, 1999. – 21s
2. Коляно Ю.М. Термомеханика: Библиографический указатель отечественной и иностранной литературы за 1965-1976гг. / Ю.М. Коляно, М.М. Семерак, О.Я. Яворская. – Львов: изд-во Львовская научная библиотека им. В. Стефаника АН УССР, 1979. Ч I, II. – Кн. I. – 360 с. Кн. II. – 477 с.
Kolyano Y.M. Termomehanyka: Byblyohrafycheskyu pointer vitchiznyanoi and ynostrannoy literature for 1965-1976 [Termomehanyka: bibliographical directory native foreign literature for 1965-1976.] / Y.M. Kolyano, M.M. Semerak, O.Y. Yavorskaya. - Lviv: Publishing House Lvovskaya nauchnaya Library. Stefanik USSR Academy of Sciences, 1979. M I, II. - Book. MI - 360. Book. II. – 477s.
3. Кривцов Ю., Ламкин О., Рубцов В., Габдулин Р. Огнезащита железобетонных несущих конструкций тонкослойными покрытиями // Мир и безопасность. №4 (66) июль – август - М.: 2006, - с. 23-26.
Kryvtsov Y., Lamkin G., Rubtsov V., Gabdulin R. [Fireproofing of reinforced concrete bearing constructions by thin sealer coats] // Peace and Security. Number 4 (66) july - august - M.: 2006. 23-26s.
4. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа 1967. – 600с.
Lykov A.B. Theory thermal conduction. Moscow: Higher School, 1967. – 600s.
5. Timoshenko S. Theory of elasticity London 1975. – 576 s.

Dominik A.M. Fire investigation cylinder columns under fire

Abstract. The stress-strain state of a cylindrical carrier concrete construction forms in fire conditions. The method of determination and the study of temperature field in the design due to the sudden change in temperature of the environment. Heat exchange between the design and the environment is by Newton's law. Defined and studied the stress-strain state of the structure due to the temperature. Based on these studies the technique of determining the fire resistance of a cylindrical tower on the grounds of loss of bearing capacity, loss of integrity and insulation ability. The research results are depicted graphically.

Keywords: fire resistance concrete structures, temperature field, displacement.

Доминик А.М. Исследование огнестойкости цилиндрической колонны в условиях пожара

Анотация. Исследовано напряженно-деформированное состояние несущей бетонной конструкции цилиндрической формы в условиях пожара. Предложена методика определения и исследования температурного поля в конструкции обусловленного резким изменением температуры внешней среды. Теплообмен между конструкцией и средой происходит по закону Ньютона. Определены и исследованы напряженно-деформированное состояние конструкции обусловлен температурой. На основе проведенных исследований предложена методика определения предела огнестойкости цилиндрической колонны по признаку потери несущей способности, потери целостности и теплоизоляционной способности. Результаты исследований изображены графически.

Ключевые слова: огнестойкость бетонных конструкций, температурное поле, перемещения.