

*М. М. Семерак<sup>2</sup>, Д. В. Харишин<sup>1</sup>, Н. О. Ференц<sup>1</sup>, С. Я. Вовк<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,

<sup>2</sup>Національний університет «Львівська політехніка»

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТРУБОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ СТАЛІЙ ТЕМПЕРАТУРІ

У статті представлено математичне моделювання термонапруженого стану труобетонних конструкцій (ТБК) за умов стаціонарної теплопровідності. Під час дослідження вибрано найбільш поширений конструктивний тип ТБК та розроблено математичні моделі напружено-деформованого стану ТБК за умов їх нагрівання з врахуванням їх геометричних розмірів та теплофізичних характеристик металу і бетону. Основна особливість при дослідженні ТБК полягає у тому, що теплообмін у структурі, як і відповідний йому силовий відгук, досліджуються незалежно один від іншого, тоді як задача вогнестійкості має ставитися як класична задача термопружності, що враховує взаємний вплив температурних і механічних напружень.

В двошарових конструкціях (бетон – метал) найбільші радіальні напруження, що виникають в бетоні, працюють на розтяг. В товщині зовнішньої труби виникають напруження розтягу. Напруження, що виникають на внутрішній поверхні сталеві оболонки, збігаються із напруженнями у бетоні. При наближенні до зовнішньої поверхні вони зменшуються і на поверхні  $r=R_2$  дорівнюють нулю. У випадку, коли коефіцієнти лінійного розширення  $\alpha_i$  ( $i=1, 2$ ) однакові, в межах  $0 \leq r \leq R_1$  максимальні напруження розтягу зменшуються; при однакових  $\nu_i$  ( $i=1, 2$ ) в межах  $0 \leq r \leq R_2$  напруження також будуть зменшуватися. Осьові напруження працюють на стиск. Максимального значення вони досягають в зовнішній оболонці. При однакових значеннях  $\alpha_{(1)} = \alpha_{(2)}$  величина напружень не змінюється, а при  $\nu_1 = \nu_2$  напруження в металі будуть зменшуватися. Кільцеві напруження в області  $0 \leq r \leq R_1$  є напруженнями розтягу, а в області  $R_1 \leq r \leq R_2$  – напруженнями стиску, причому напруження стиску більші від напружень розтягу в бетоні. При однакових  $\alpha_{(1)} = \alpha_{(2)}$  величина напружень в бетоні зменшується, при однакових  $\nu_1 = \nu_2$  величина напружень теж зменшиться. Результати досліджень представлені графічно.

**Ключові слова:** труобетонна конструкція, напружено-деформований стан, напруження розтягу, напруження стиску.

**Постановка проблеми.** Підвищення надійності будівель, збільшення темпів їх зведення здійснюється впровадженням сучасних технологій у сфері будівництва. У багатьох країнах поширеним є такий вид монолітних залізобетонних конструкцій, як труобетон, зокрема, в США з нього зводять до 60% будівель, в Європі – до 50% каркасних будинків. Конструкції із труобетонів застосовують в різних галузях – мостобудуванні, будівництві метро, промислових і житлових будівель, торгово-розважальних комплексів та спортивно-оздоровчих спорудах. Однак, будівельна технологія на основі металокаркасу з труобетонних конструкцій для України є новою.

В нашій країні за останні десятиліття через скорочення кількості домобудівних комбінатів

значно скоротився і обсяг цегляного і каркасно-панельного будівництва. Збільшення ж монолітно-каркасного будівництва потребує значних капіталовкладень на опалубку, воно залежить від погодних умов, характеризується значною матеріаломісткістю, а отже, є вартісним і довготривалим. Металокаркасне будівництво з труобетонних конструкцій має всі переваги традиційного житлового будівництва, однак, є економичнішим і швидшим як мінімум в два рази. Таке виробництво організовується безпосередньо на будівельному майданчику. Технологія дає можливість в 1,5...2 рази зменшити витрату бетону, в 1,8...3 рази зменшити масу конструкції, вдвічі економить витрати праці в зв'язку з відсутністю робіт з монтажу опалубки, арматурних та зварювальних робіт.

В Україні з 1 січня 2020 р. вводяться в дію ДБН В.2.2-24:2020 «Висотні будинки і комплекси», якими встановлена нова максимальна висота, за якою можуть проектуватися висотні громадські будинки – 150 м. Для підвищення безпеки таких будівель встановлюються вимоги щодо жорсткості сталевих та сталезалізобетонних конструкцій для проектування каркасів таких будівель, що дасть можливість збільшити несучу здатність висотних будівель щонайменше на 20 %. Реалізувати такі вимоги можна шляхом застосування трубобетонних конструкцій.

**Мета роботи.** Створення математичної моделі напружено-деформованого стану трубобетонних конструкцій при сталій температурі.

**Методики досліджень.** Спосіб розв'язання квадратних систем лінійних алгебраїчних рівнянь – метод Крамера; програмне забезпечення MathCAD.

**Результати роботи.** На сьогодні вимоги щодо виготовлення, розрахунку, проектування та експлуатації стиснутих елементів трубобетонних конструкцій регламентуються відповідними нормативно-методичними, довідниковими і рекомендаційними документами. Однак, необхідно відзначити, що поведінка ТБК при зміні температури середовища в екстремальних умовах експлуатації (за умов пожежі) недостатньо досліджена. Показниками здатності витримати теплове навантаження під час пожежі є стандартний клас та межа вогнестійкості даного елемента конструкції, що визначаються часом (у хвиликах) від початку кривої стандартного температурного режиму пожежі до настання одного з граничних станів конструкції [10]: граничний стан втрати несучої здатності (R); граничний стан втрати цілісності (E); граничний стан втрати теплоізоляційної здатності (I).

Величину межі вогнестійкості елементів будівельних конструкцій визначають за результатами вогневих випробувань, умови проведення яких регламентуються національним стандартом ДСТУ Б В.1.1-4 та іншими стандартами на методи випробувань на вогнестійкість для окремих елементів будівельних конструкцій, або за результатами розрахунку за методами відповідно до стандартів і методик [2].

Дослідження втрати несучої здатності (R) ТБК зводиться до визначення параметрів напружено-деформованого стану трубобетонних елементів із врахуванням результатів теплового розрахунку, проведеного з використанням теплофізичних і механічних характеристик металу та бетону за умов зміни температури пожежі, а також застосування практичного методу їх розрахунку з урахуванням вибору оптимальних параметрів.

Температурні напруження, які виникають у конструкціях традиційно досліджуються незалежно від механічних напружень, і внаслідок лінійності рівнянь термопружності повні величини напружень отримують шляхом додавання температурних і механічних напружень [3].

Проведемо математичне моделювання напружено-деформованого стану двохшарових конструкцій. Огляд наукової літератури показав [4], що кусково-однорідні циліндричні конструкції досліджуються для двох випадків:

#### 1. Суцільний циліндр

Диференціальне рівняння для розрахунку переміщень  $u$  вздовж радіуса  $r$  [4]:

$$u = \frac{1+\nu}{1-\nu} \cdot \alpha \left[ (1-2\nu) \frac{r}{b^2} \int_0^{R_1} T r dr + \frac{1}{r} \int_0^r T r dr \right] \quad (1)$$

Вирази для визначення температурних напружень

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{\alpha E}{1-\nu} \left( \frac{1}{b^2} \int_0^{R_1} T r dr - \frac{1}{r^2} \int_0^r T r dr \right), \\ \sigma_\phi &= \frac{\alpha E}{1-\nu} \left( \frac{1}{b^2} \int_0^{R_1} T r dr + \frac{1}{r^2} \int_0^r T r dr - T \right), \\ \sigma_z &= \frac{\alpha E}{1-\nu} \left( \frac{2\nu}{b^2} \int_0^{R_1} T r dr - T \right) \end{aligned} \quad (2)$$

#### 2. Пустотілий циліндр

Диференціальне рівняння для визначення переміщень  $u$  вздовж радіуса  $r$  [4]:

Вирази для визначення температурних напружень

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{\alpha E}{1-\nu} \frac{1}{r^2} \left( \frac{r^2 - \alpha^2}{b^2 - \alpha^2} \int_\alpha^{R_2} T r dr - \int_\alpha^r T r dr \right) \\ \sigma_\phi &= \frac{\alpha E}{1-\nu} \frac{1}{r^2} \left( \frac{r^2 + \alpha^2}{b^2 - \alpha^2} \int_\alpha^{R_2} T r dr + \int_\alpha^r T r dr - T r^2 \right), \\ \sigma_z &= \frac{\alpha E}{1-\nu} \left( \frac{2}{b^2 - \alpha^2} \int_\alpha^{R_2} T r dr - T \right) \end{aligned} \quad (3)$$

Проведемо моделювання та дослідження напружено-деформованого стану ТБК (сталева обойма-бетонне ядро).

Розглянемо трубобетонну колону, яка складається зі сталевий обойми, заповненої бетоном, зовнішнім радіусом  $R_2$ , і внутрішнім  $R_1$ . З метою створення математичного опису застосована циліндрична система координат, центр якої поміщений у центр поперечного перерізу колони (рис. 1). Температурне поле колони симетричне

відносно осі циліндра і постійне по всій довжині [5].

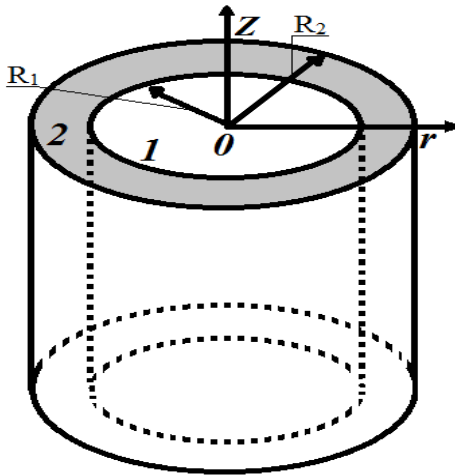


Рисунок 1 – Розрахункова схема ТБК

При дослідженні впливу зміни температури на силовий відгук колони відповідно до узагальненого закону Гука додаються температурні деформації [6].

$$\begin{aligned}\varepsilon_r &= \frac{1}{E}(\sigma_r - \nu\sigma_z - \nu\sigma_\varphi) + \alpha_t \Delta t, \\ \varepsilon_\varphi &= \frac{1}{E}(\sigma_\varphi - \nu\sigma_z - \nu\sigma_r) + \alpha_t \Delta t, \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E}(\sigma_z - \nu\sigma_r - \nu\sigma_\varphi) + \alpha_t \Delta t.\end{aligned}\quad (4)$$

де  $\varepsilon_r, \varepsilon_\varphi, \varepsilon_z$  – відносні деформації точок у поперечному перерізі колони вздовж осей  $r, \varphi, z$ ;  $\sigma_r, \sigma_\varphi, \sigma_z$  – радіальні, кільцеві і осьові температурні напруження відповідно, Па;  $E$  – модуль пружності, Па;  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона;  $\alpha_t$  – температурний коефіцієнт лінійного розширення,  $1/K$ ;  $t_0$  – початкова температура колони,  $^\circ C$ ;  $t$  – температура нагрівання колони,  $^\circ C$ .

Розв'язуючи ці рівняння відносно напружень, отримаємо:

$$\begin{aligned}\sigma_r &= \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \left[ (1-\nu)\varepsilon_r + \nu\varepsilon_\varphi + \nu\varepsilon_z - (1+\nu)\alpha t \right], \\ \sigma_\varphi &= \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \left[ (1-\nu)\varepsilon_\varphi + \nu\varepsilon_r + \nu\varepsilon_z - (1+\nu)\alpha t \right], \\ \sigma_z &= \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \left[ (1-\nu)\varepsilon_z + \nu\varepsilon_r + \nu\varepsilon_\varphi - (1+\nu)\alpha t \right],\end{aligned}\quad (5)$$

Оскільки колона навантажена вагою верхніх поверхів, при її нагріванні відносно видовження вздовж осі  $z$  прийемо рівним нулю.

Виражаючи в формулах (5) деформації через переміщення  $u$  вздовж радіуса  $r$ , отримуємо:

$$\varepsilon_r = \frac{du}{dr}, \quad \varepsilon_\varphi = \frac{u}{r}, \quad (6)$$

з врахуванням попереднього виразу рівняння рівноваги набуває вигляду

$$r \frac{d\sigma_r}{dr} + \sigma_r - \sigma_\varphi = 0, \quad (7)$$

У результаті отримане диференціальне рівняння для знаходження переміщень  $u$  вздовж радіуса  $r$  має такий вигляд:

$$\frac{d^2 u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} - \frac{u}{r^2} = \frac{1+\nu}{1-\nu} \alpha_t \frac{dt}{dr}, \quad (8)$$

Для зручності інтегрування запишемо рівняння (8) у вигляді

$$\frac{d}{dr} \left[ \frac{1}{r} \frac{d(ur)}{dr} \right] = \frac{1+\nu}{1-\nu} \alpha_t \frac{dt}{dr}, \quad (9)$$

Інтегруючи це рівняння двічі по  $r$ , знаходимо загальний розв'язок

$$u = A_r + \frac{B}{r} + \frac{1}{r} \frac{1+\nu}{1-\nu} \int_a^r \alpha_t t r dr, \quad (10)$$

де  $A$  і  $B$  – постійні інтегрування, що визначаються за граничними умовами.

Для випадку, коли труботонна колона нагрівається на певну сталу величину  $\Delta t = t - t_0$ , вираз (10) спроститься

$$u_i = A_i + \frac{B_i}{r}. \quad (11)$$

Підставивши вираз (6) і (11) в рівняння (5), отримаємо

$$\begin{aligned}\sigma_{r(i)} &= \frac{E_i}{(1+\nu_i)(1-2\nu_i)} \left[ A_i - \frac{B_i}{r^2} (1+2\nu_i) - (1+\nu_i) \alpha_{t(i)} \Delta t \right], \\ \sigma_{\varphi(i)} &= \frac{E_i}{(1+\nu_i)(1-2\nu_i)} \left[ A_i + \frac{B_i}{r^2} (1-2\nu_i) - (1+\nu_i) \alpha_{t(i)} \Delta t \right], \\ \sigma_{z(i)} &= \frac{E_i}{(1+\nu_i)(1-2\nu_i)} \left[ 2\nu_i A_i - (1+\nu_i) \alpha_{t(i)} \Delta t \right],\end{aligned}\quad (12)$$

де  $i = 1, 2$  – відповідно 1-й і 2-й шар конструкції з відповідними фізико-механічними характеристиками.

За умов кусково-однорідного представлення колони при розрахунках необхідно щоб виконувалася умова, що радіус  $r$  має змінюватися в інтервалі:

- 1) в області 1, заповненій бетоном
 
$$0 \leq r \leq R_1,$$
- 2) в області 2 по товщині зовнішньої труби
 
$$R_1 \leq r \leq R_2.$$

Для визначення сталих інтегрування  $A_i$  і  $B_i$  ( $i=1, 2$ ) запишемо граничні умови

$$1) u_1 = u_2 \text{ при } r = R_1; \quad 2) \sigma_r^{(1)} = \sigma_r^{(2)} \text{ при } r = R_1, \quad (13)$$

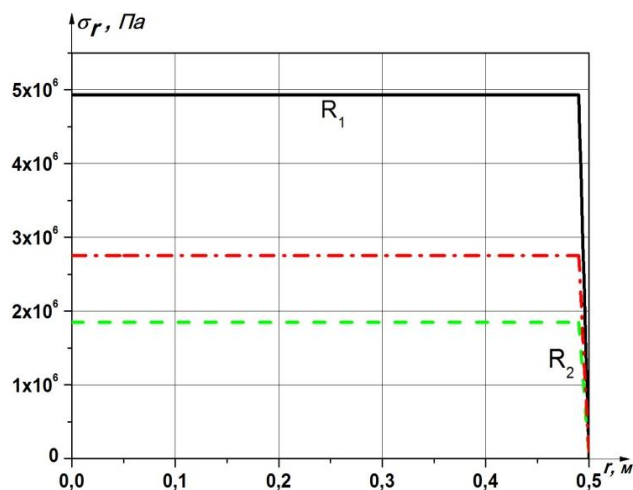
$$3) u_1 = 0 \text{ при } r = 0; \quad 4) \sigma_r^{(2)} = 0 \text{ при } r = R_2. \quad (14)$$

Із виразів (11) і (12) та умов (13)–(14) була отримана система, яка складається з шести рівнянь із шістьма невідомими  $A_i$  і  $B_i$  ( $i = 1, 2$ ). Розв'язок системи одержаний методом Крамера за допомогою програми MathCAD.

У дослідженнях прийнято такі характеристики:  $R_1 = 0,49$  м;  $R_2 = 0,5$  м;  $\nu_1 = 0,17$ ;  $\nu_2 = 0,3$ ;  $E_1 = 2,1 \cdot 10^{10}$ , Па;  $E_2 = 2,1 \cdot 10^{11}$ , Па;  $\alpha_t^{(1)} = 12 \cdot 10^{-6} 1/K$ ;  $\alpha_t^{(2)} = 14 \cdot 10^{-6} 1/K$ .

Підстановкою числових значень  $A_i$  і  $B_i$  ( $i = 1, 2$ ) в рівняння (12) отримано значення температурних напружень.

Використання формули (12) дало можливість дослідити напружено-деформований стан ТБК. Значення середньооб'ємної температури під час нагрівання прийнято  $t_c = 300^\circ\text{C}$ . Дослідження проводились для температури середовища за стандартним температурним режимом пожежі. Результати числового експерименту зображені графічно на рис. 2–6.



**Рисунок 2** – Зміна величини радіальних температурних напружень вздовж радіуса поперечного перерізу ТБК (а) при  $t_c = 300^\circ\text{C}$ ;  
– суцільною лінійкою показана зміна напружень за відповідними виснаведеними характеристиками сталі і бетону;  
– штрихова лінійка показує зміну напружень при однакових значеннях  $\alpha_t$  ( $\alpha_t^{(1)} = \alpha_t^{(2)} = 12 \cdot 10^{-6} 1/K$ );  
– штрих пунктирна лінійка показує зміну напружень при рівності коефіцієнтів Пуассона ( $\nu_1 = \nu_2 = 0,2$ )

Аналіз графічних залежностей показує, що в центральному стрижні (бетонне ядро) виникають напруження розтягу, які є постійними вздовж радіуса. У товщині зовнішньої труби виникають напруження розтягу. На внутрішній поверхні означені напруження дорівнюють відповідним напруженням у бетоні. У шарах, близьких до зовнішньої поверхні, напруження зменшуються, а поверхневі напруження за умови, що  $r = R_2$  дорівнюють нулю. Найбільші напруження виникають при різних значеннях теплофізичних характеристик.

У випадку, коли коефіцієнти лінійного розширення  $\alpha_t$  ( $i = 1, 2$ ) однакові (штрихова лінійка):

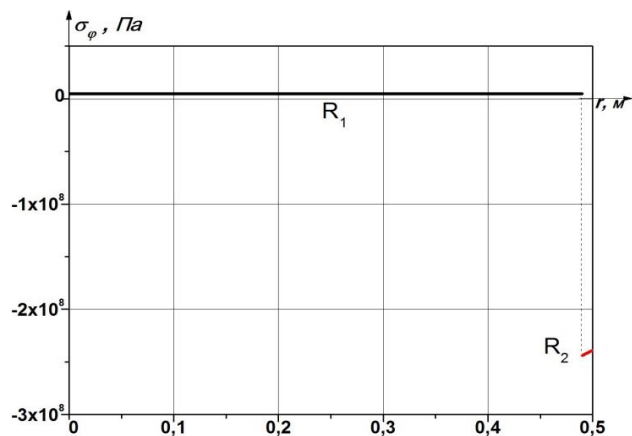
- в межах  $0 \leq r \leq R_1$  максимальні напруження розтягу зменшуються на 63% при  $t_c = 300^\circ\text{C}$ ;

- в межах  $R_1 \leq r \leq R_2$  напруження також зменшуються на 63% при  $t_c = 300^\circ\text{C}$  і на 73%.

При однакових  $\nu_i$  ( $i = 1, 2$ ) (штрихпунктирна лінійка):

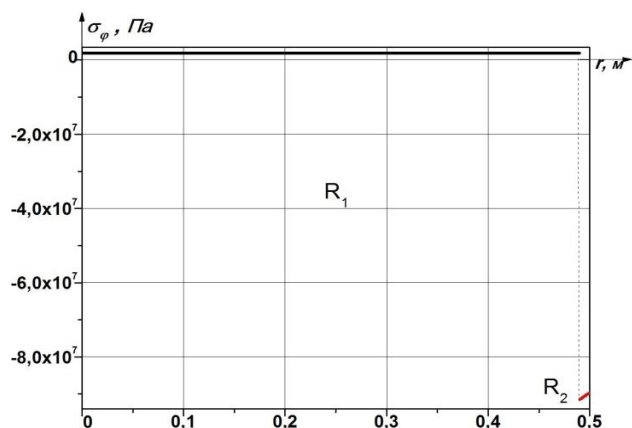
- в межах  $0 \leq r \leq R_2$  напруження зменшуються на 45%, як при  $t_c = 300^\circ\text{C}$ .

На рисунку 3 показано залежність величини кільцевих температурних напружень від радіуса  $r$  за умов різних параметрів властивостей сталі і бетону.



**Рисунок 3** – Залежність величини кільцевих температурних напружень від радіуса  $r$  за умов різних параметрів властивостей сталі і бетону: при  $t_c = 300^\circ\text{C}$

Аналіз рисунка 3 показує, що в області  $0 \leq r \leq R_1$  виникають напруження розтягу, а в області  $R_1 \leq r \leq R_2$  – напруження стиску, і за даних умов максимальні напруження стиску фіксуються на зовнішній поверхні сталеві обійми ( $\sigma_\phi = 244$  МПа при  $t_c = 300^\circ\text{C}$ ).



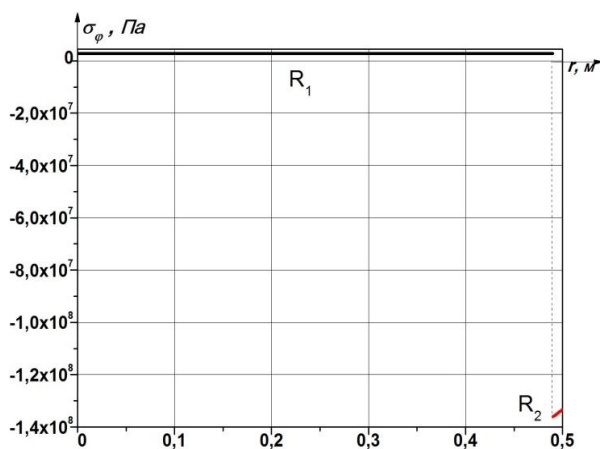
**Рисунок 4** – Зміна величини кільцевих температурних напружень вздовж радіуса  $r$  при

$$\alpha_t^{(1)} = \alpha_t^{(2)} = 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{K}$$

при  $t_c = 300^\circ\text{C}$

На рисунку 4 показано залежність значення кільцевих температурних напружень від радіуса  $r$ .

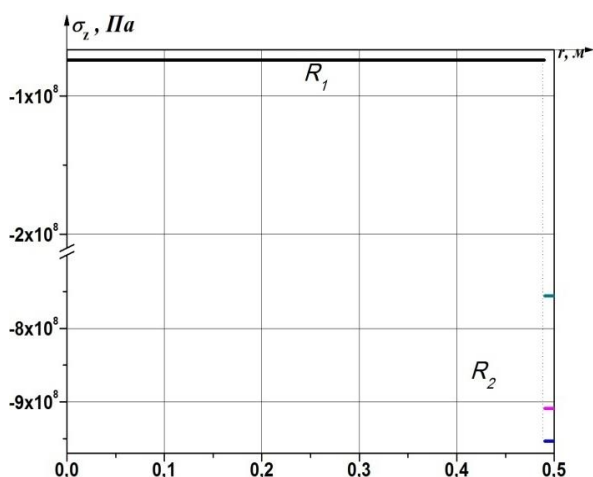
За умови рівності величини  $\alpha_i^{(i)}=12 \cdot 10^{-6} 1/K$  ( $i=1, 2$ ), максимальні напруження стиску виникають на зовнішній поверхні труби ( $\sigma_\varphi=91,5$  МПа при  $t_c=300^\circ\text{C}$ ). Вони є меншими на 62,5% порівняно з напруженнями, зображеними на рисунку 3.



**Рисунок 5** – Залежність значення кільцевих температурних напружень від радіуса  $r$  при  $\nu_1=\nu_2=0,2$ ; при  $t_c=300^\circ\text{C}$

На рисунку 5 показано залежність значення кільцевих температурних напружень від радіуса  $r$ . За умови рівності  $\nu^{(i)}=0,2$  ( $i=1,2$ ), максимальні напруження зменшуються ( $\sigma_\varphi=136$  МПа при  $t_c=300^\circ\text{C}$ ). Вони є меншими на 44% порівняно з напруженнями, зображеними на рисунку 3.

На рисунку 6 показано залежність значення осьових температурних напружень від радіуса при різних теплофізичних параметрах сталі і бетону.



**Рисунок 6** – Зміна величини осьових температурних напружень вздовж радіуса при різних ТФХ, при  $\alpha_i^{(1)}=\alpha_i^{(2)}=12 \cdot 10^{-6} 1/K$  і  $\nu_1=\nu_2=0,2$ ;  $t_c=300^\circ\text{C}$

Аналіз графічних залежностей рисунку 6 показує, що осьові напруження працюють на стиск. Максимального значення вони досягають в зовнішній оболонці і дорівнюють  $\sigma_z=953$  МПа

при  $t_c=300^\circ\text{C}$ . При рівних значеннях  $\alpha_i^{(1)}=\alpha_i^{(2)}$  величина напружень не змінюється, а при  $\nu_1=\nu_2$  – напруження в металі зменшуються на 16,6 %

### Висновки

1. Створено математичну модель напружено-деформованого стану трубобетонних конструкцій при сталій температурі.

2. Виявлено вплив різниці модулів пружності та коефіцієнтів Пуассона бетону і сталі на температурні напруження в трубобетонній колоні.

3. Виявлено, що в центральному стрижні (бетонне ядро) виникають напруження розтягу, при радіальних та кільцевих температурних напруженнях, які є постійними вздовж радіуса, а при осьових температурних напруженнях виникають напруження стиску.

### Список літератури

1. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва: ДБН В.1.1.7-2016. – [Чинний від 2017-06-01]. – К.: Держбуд України, 2017. – 39 с. – (Державні будівельні норми України).

2. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. Пожежна безпека: (ISO 834: 1975) ДСТУ Б В.1.1-4-98. – [Чинний від 1998-10-28.] – К.: Укрархбудінформ, 2005. – 20 с – (Національні стандарти України).

3. Семерак М. М. Вогнестійкість бетонних конструкцій циліндричної форми / М. М. Семерак, А. М. Домінік, В. М. Байтала, [та ін.] // Пожежна безпека: Зб. наук. праць. – 2012. – № 21. – С. 160-165.

4. Тимошенко В. М. Несуча здатність та деформативність стиснених трубобетонних елементів зі стиками: дис. ... канд. техн. наук / В. М. Тимошенко. – Полтава, 2000. – 209 с.

5. Семерак М. М. Напружено-деформований стан трубобетонних елементів за умов нагрівання / М. М. Семерак, Д. В. Харишин // Пожежна безпека: зб. наук. праць. – Львів, 2016. – №29. – С. 136-141.

6. Тимошенко С. П. Теорія упругості / С. П. Тимошенко, Дж. Гуд'єр – М.: Наука, 1975. – 576 с.

### References

1. Zakhyst vid pozhezhi. Pozhezha bezpeka obyektiv budivnytstva: DBN V.1.1.7-2016. – [Chynnyy vid 2017-06-01]. – K.: Derzhbud Ukrayiny, 2017. – 39 s. – (Derzhavni budivelni normy Ukrayiny).

2. Budivelni konstruktsiyi. Metody vyprobuvanna vohnestiykist.. Zahalni vymohy. Pozhezha bezpeka: (ISO 834: 1975) DSTU B V.1.1-4-98. – [Chynnyy vid 1998-10-28.] – K.: Ukrarkhbudininform, 2005. – 20 s – (Natsionalni standarty Ukrayiny).

3. Semerak M. M. Vohnestiykis betonnykh konstruktsiy tsylindrychnoyi formy / M. M. Semerak, A.

M. Dominik, V. M. Baytala, [ta in.] // Pozhezhna bezpeka: Zb. nauk. Prats/ – 2012. – № 21. – S. 160-165.

4. Tymoshenko V. M. Nesucha zdatnist ta deformatyvnyshch stysnennykh trubobetonnykh elementiv zi stykamy: dys. kand. tekhn. nauk /V. M. Tymoshenko. – Poltava, 2000. – 209 s.

5. Semerak M. M. Napruzhenno–deformovanyy stan trubobetonnykh elementiv za umov nahrivannya / M. M. Semerak, D. V. Kharyshyn // Pozhezhna bezpeka: zb. nauk. Prats. – Lviv, 2016. – №29. – S. 136–141.

6. Tymoshenko S. P. Teoryya upruhosty / S. P. Tymoshenko, Dzh. Huder – M.: Nauka, 1975. – 576 s.

*M.M. Semerak, N. O. Ferents, D.V. Kharyshyn, S. Ya. Vovk*

## **MATHEMATICAL MODELING OF STRENGTH-DEFORMED CONDITION OF PIPE CONCRETE CONSTRUCTIONS AT SUSTAINABLE TEMPERATURE**

The mathematical modeling of the thermo-stressed state of pipe-concrete structures under conditions of stationary thermal conductivity is carried out. During the study, the most common structural type of TBC was selected and mathematical models of the stress-strain state of TBA under heating conditions were taken into account, taking into account their geometric dimensions and thermophysical characteristics of metal and concrete. The main feature of the TBC study is that the heat exchange in the structure, as well as the corresponding force response, are investigated independently of each other, whereas the problem of fire resistance should be posed as a classical problem of elasticity, taking into account the mutual influence of temperature and mechanical stresses.

In two-layer structures (concrete - metal), the largest radial stresses that occur in concrete work in tension. Tensile stresses occur in the thickness of the outer tube. The stresses occurring on the inner surface of the steel sleeve coincide with the stresses in the concrete. When approaching the outer surface, they decrease and on the surface  $r = R_2$  equal to zero. In the case where the coefficients of linear extension  $\alpha_i$  ( $i = 1, 2$ ) are equal to each other, the maximum tensile stresses are reduced within  $0 \leq r \leq R_1$ ; if  $\nu_i$  ( $i = 1, 2$ ) within  $0 \leq r \leq R_2$ , the stresses will also decrease. Axial stresses work on compression. They reach maximum value in the outer shell. For equal values  $\alpha_{(1)} = \alpha_{(2)}$ , the magnitude of the stresses does not change, and at  $\nu_1 = \nu_2$  the stresses in the metal will decrease. Ring stresses in the region  $0 \leq r \leq R_1$  are tensile stresses and in the region  $R_1 \leq r \leq R_2$  are compression stresses, and the compression stresses are greater than the tensile stresses in concrete. For  $\alpha_{(1)} = \alpha_{(2)}$ , the stresses in the concrete decrease and for  $\nu_1 = \nu_2$ .

**Keywords:** tube concrete design, stress-strain state, tensile stress, compression stress.