

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

ЖАКІН ІВАН АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 624.012:536.4:614.841.33

**НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ СТАЛЕБЕТОННИХ КОЛОН
ПРИ СИЛОВИХ І ІНТЕНСИВНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВАХ**

Спеціальність 05.23.01 – будівельні конструкції,
будівлі і споруди

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2004

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі будівельної механіки і гідравліки Української державної академії залізничного транспорту Міністерства транспорту та зв'язку України.

Науковий керівник –

доктор технічних наук, професор

Чихладзе Елгуджа Давидович,

завідувач кафедри будівельної механіки і гідравліки

Української державної академії залізничного транспорту.

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, професор

Яременко Олександр Федорович,

завідувач кафедри будівельної механіки Одеської державної академії будівництва і архітектури;

кандидат технічних наук, доцент

Григор'ян Борис Бахшийович,

професор кафедри пожежної тактики

і аварійно-рятувальних робіт

Черкаського інституту пожежної безпеки

імені Героїв Чорнобиля.

Провідна установа

- Харківський державний технічний університет

будівництва і архітектури, Міністерство освіти і науки

України, кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій.

Захист відбудеться **9 грудня 2004 р.** о **14¹⁰** годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 при Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, пл. Фейербаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, пл. Фейербаха, 7.

Авторе _____

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота була виконана в рамках наукової теми «Розробка способів посилення аварійних та перед аварійних споруд та методів оцінки їх несучої здатності після посилення

реєстраційний номер 0102V002542 – 02. Особистий внесок – чисельнЕ розрахґнки несучої здатнос

здатнос

Задачі дослідження – розробити математичний й обчислювальний апарат для визначення вогнестійкості бетонних і сталобетонних колон; провести чисельні дослідження вогнестійкості зазначених конструкцій із устанавленням впливу розмірів перерізу, відсотка армування, міцності бетону, виду теплового захисту, товщини захисного шару. Впровадити методикy розрахунку в практику проектування несучих конструкцій.

Об'єкт дослідження. Сталобетонні колони із суцільним і кільцевим поперечними перерізами, а також бетонні колони круглого перерізу при різних умовах обпирання.

Предмет дослідження. Несуча здатність сталобетонних колон із суцільним та кільцевим поперечними перерізами, а також бетонних колон круглого перерізу.

Методи дослідження. Метод пружних рішень у формі методу змінних параметрів пружності для розрахунку НДС у перерізі колони; аналітичне й чисельне інтегрування отриманих рівнянь термопружності; дискретизація області й метод прогонки для чисельного рішення нелінійної задачі тепломасообміну з рухливою границею паротворення.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Розроблено методику розрахунку на термосилові впливи сталобетонних колон суцільного й кільцевого перерізів і бетонних колон круглого перерізу, що враховує:

- тривісний напружений стан у бетоні;
- модель бетону як трифазного середовища;
- нестационарне температурно-вологісне поле з рухливою границею паротворення;
- змінність фізико-механічних характеристик матеріалів при нагріванні;
- змінність параметрів деформування E й ν залежно від рівня силових і температурних впливів;
- різні умови обпирання.

2. Досліджено залежність пористості бетону від температури. На підставі аналітичних оцінок зроблений висновок про те, що ця залежність є слабкою й може не враховуватися в трифазній моделі бетону при температурному впливі.

3. Розроблено алгоритм і складена програма розрахунку колон для ЕОМ, що дозволяє оцінити несучу здатність при термосилових впливах.

4. Показано вплив різних захисних матеріалів на вогнестійкість сталобетонних колон.

Практичне значення одержаних результатів. Застосування запропонованої методики розрахунку дозволяє визначити несучу здатність сталобетонних, бетонних і залізобетонних колон при заданих термосилових впливах й оцінити вогнестійкість зазначених конструкцій.

Впровадження. Результати дисертаційної роботи у вигляді методики і програми розрахунку вогнестійкості сталобетонних колон на силові і температурні впливи впроваджено в практику проектування несучих конструкцій станцій метрополітену у м. Харкові, ВАТ «Харківметропроект».

Особистий внесок здобувача. Проведено аналіз літературних джерел, присвячених задачам оцінки несучої здатності сталобетонних, бетонних і залізобетонних колон при термосилових впливах; проведено аналіз залежності пористості бетону від температури; розроблено методику розрахунку напружень у круглому й кільцевому перерізах сталобетонної колони, що враховує тривісний напружений стан у бетоні на підставі методики А. В. Яшина; розроблено методику і програму розрахунку на силові й температурні впливи сталобетонних колон суцільного й кільцевого перерізів, а також бетонних колон круглого перерізу з використанням моделі бетону як трифазного середовища і з урахуванням змінності фізико-механічних характеристик матеріалів при нагріванні.

13. Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на:

1. Міжнародній науково-технічній конференції кафедр академії й фахівців залізничного транспорту й підприємств (м. Харків, 2001р., 2002р., 2003р.).
2. Четвертій науково-технічній конференції «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди» (м. Рівне, 2003р.).
3. Третій Всеукраїнській науково-технічній конференції «Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону» (м. Львів, 2003р.).
4. Міжнародній науково-технічній конференції «Автоматизація проектування в будівництві й гідротехніці» (м. Одеса, 2003р.).
5. Міжнародному конгресі «Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии» (м. Белгород, Росія, 2003р.).
6. Науково-технічній конференції «Математичні моделі процесів у будівництві» (м. Луганськ, 2004р.).

Публікації. Основний зміст дисертації опубліковано у 9 наукових працях. З них 8 – у виданнях, рекомендованих ВАК України для публікації результатів дисертаційних робіт, 1 – у Росії.

Обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел, додатка і містить 145 сторінок основного машинописного тексту, у тому числі: 90 рисунків, 62 таблиці, 1 додаток. Список використаних джерел містить 128 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність, наукова новизна і практична цінність роботи, дана її загальна характеристика.

У **першому розділі** приведено: огляд опублікованих робіт з теоретичних і експериментальних досліджень моделей розрахунку температурних і вологісних полів у бетоні як трифазному середовищі при інтенсивних температурних впливах; огляд робіт, у яких досліджується несуча здатність бетонних і сталобетонних конструкцій, що працюють в умовах складного напруженого стану, при силових і температурних впливах.

Експериментальним і теоретичним дослідженням напружених сталобетонних, бетонних і залізобетонних конструкцій при силовому і температурному впливі й оцінці їх міцносних властивостей присвячені роботи С.В. Александровського, О.Я. Берга, Б. Бартеми і Ж. Крюппа, А.А. Гвоздьова, О.С. Городецького, Б.Б. Григор'яна, Б.Г. Демчини, Н.І. Карпенка, Ф.Є. Кліменка, З.Ф. Клованича, В.І. Корсуна, О.П. Кричевського, Г. Купфера, В.Н. Левіна, А.В. Ликова, А.Ф. Мілованова, Г.А. Молодченка, А.В. Разживіна, Л.І. Стороженка, С.Л. Фоміна, Е.Д. Чихладзе, О.Л. Шагіна, В.С. Шмуклера, А.І. Яковлева, О.Ф. Яременка, А.В. Яшина, і ін.

На підставі огляду теоретичних і експериментальних досліджень зроблений висновок про необхідність розробки методики розрахунку сталобетонних колон із суцільним і кільцевим поперечними перерізами і бетонних колон на силові і температурні впливи, що враховує тривісний напружений стан у бетоні; удосконалення трифазної моделі бетону в частині встановлення залежності пористості від температури.

Другий розділ присвячено розробці методики розрахунку НДС колон при силових і інтенсивних температурних впливах.

Розглядається спочатку бетонна циліндрична консольна колона, що знаходиться під дією рівномірно розподіленого навантаження інтенсивністю q (її рівнодіюча дорівнює F), рівномірного теплового впливу T_f і власної маси, як показано на рис. 1. Колона вважається короткою, що дозволяє не враховувати в кожному поперечному перерізі згинальний момент. Залежності між напруженнями і деформаціями в бетоні приймаються у формі закону Гука з перемінними параметрами деформування E і ν . Граничні значення середнього напруження $\bar{\sigma}$ й інваріанта \bar{S}_I визначаються відповідно до критерію міцності Яшина А.В. і рекомендацій НДІЗБ. Зміну модуля пружності бетону E в залежності від температури враховуємо коефіцієнтом β_b . Коефіцієнт поперечної деформації ν приймається незалежним від температури.

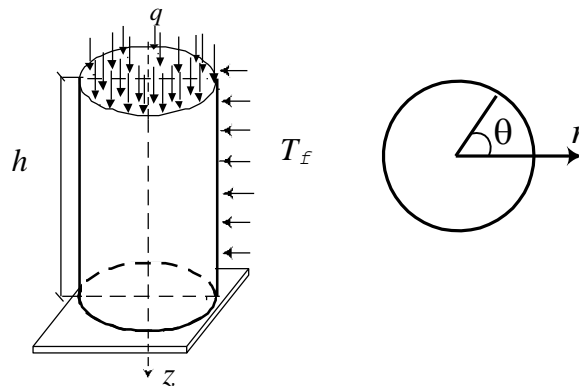


Рис. 1. Схема бетонної циліндричної колони

Напруження в розглянутій задачі розподіляються симетрично щодо центральної осі z , перпендикулярній площини перерізу. Складові дотичного напруження $\tau_{r\theta}$ і $\tau_{\theta z}$ обертаються на нуль унаслідок симетрії. Дотичне напруження τ_{rz} також може бути прийнятим рівним нулю, якщо припустити, що поверхня поперечного переріза колони після деформації залишається перпендикулярною всім подовжнім волокнам. Диференціальні рівняння рівноваги мають вигляд:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0 ; \quad \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = \rho g, \quad (1)$$

де ρ - щільність матеріалу, g - прискорення вільного падіння.

Передбачається, що прикладання навантаження супроводжується нагріванням. За початок відліку деформацій приймається стан колони до додавання навантаження і температури. Тоді складові напруження як функції від переміщень і температури мають вигляд

$$\sigma_r = \lambda \left(\frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_r}{r} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) + 2\mu \frac{\partial u_r}{\partial r} - 3K\alpha\Delta T ; \quad (2)$$

$$\sigma_{\theta} = \lambda \left(\frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_r}{r} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) + 2\mu \frac{u_r}{r} - \alpha 3K(T - T_0); \quad (3)$$

$$\sigma_z = \lambda \left(\frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_r}{r} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) + 2\mu \frac{\partial u_z}{\partial z} - 3K\alpha\Delta T; \quad \sigma_z = q + \rho gz. \quad (4)$$

Тут u_r, u_z - переміщення відповідно в радіальному і вертикальному напрямках; α - коефіцієнт температурного розширення; $\Delta T = (T - T_0)$, T_0 - початкова температура; T - температура в точці перерізу в розглянутий момент часу; λ, μ - коефіцієнти Ляме, перемінні при зміні температури, K - модуль об'ємного стиску.

Граничні умови формулюються в такий спосіб:

$$\begin{aligned} \text{на осі колони} & \quad \text{при } r=0: \quad u_r = 0; \\ \text{у нижньому перерізі границя закріплена:} & \quad \text{при } z=h \quad u_r(R)=0; \\ \text{в інших перерізах границя вільна:} & \quad \text{при } z < h \quad \sigma_r(R)=0. \end{aligned} \quad (5)$$

З рівнянь (4), витікає, що

$$\lambda \left(\frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_r}{r} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) + 2\mu \frac{\partial u_z}{\partial z} - 3K\alpha\Delta T = q + \rho gz. \quad (6)$$

Віднімемо від (3) рівняння (2) і підставимо отриманий вираз у (6). Одержимо

$$\frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{\lambda + 2\mu}{r} \frac{\partial(ru_r)}{\partial r} + \lambda \frac{\partial u_z}{\partial z} - 3\alpha K \Delta T \right] = 0.$$

Виразимо з (6) $\partial u_z / \partial z$, позначимо $S_z = q + \rho gz$. Тоді щодо переміщень u_r одержимо наступне диференціальне рівняння:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{\lambda + 2\mu}{r} \frac{\partial(ru_r)}{\partial r} + \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu} S_z - \frac{\lambda \cdot \lambda}{(\lambda + 2\mu)r} \frac{\partial(ru_r)}{\partial r} - \alpha 3K \Delta T \right] = 0, \quad (7)$$

звідки

$$u_r = -S_z I_1 / r + C(z) I_2 / r + \alpha I_3 / r, \quad (8)$$

$$I_1 = \int_0^r r \beta_1 dr, \quad I_2 = \int_0^r r \beta_2 dr, \quad I_3 = 3 \int_0^r r K \beta_2 \Delta T dr,$$

де $C(z)$ - константа інтегрування, яка одержується з граничних умов (5) у такий спосіб:

$$C(z)|_{z=h} = [S_z I_1(R) - \alpha I_3(R)] / I_2(R);$$

$$C(z)|_{z<h} = - \left\{ S_z \left[\beta_3(1-2\mu\beta_1) - 2\mu \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{I_1}{r} \right) \right] + \right. \\ \left. + \alpha \cdot 3K\Delta T \left(2\mu\beta_3\beta_4 - \frac{2\mu}{\lambda+2\mu} \right) + 2\mu\alpha \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{I_3}{r} \right) \right\} / \left\{ 2\mu \left[\beta_2\beta_3 + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{I_2}{r} \right) \right] \right\} \Big|_{r=R}, \quad (9)$$

$$I_1 = \int_0^R r\beta_1 dr, \quad I_2 = \int_0^R r\beta_2 dr, \quad I_3 = 3 \int_0^R rK\beta_2 \Delta T dr,$$

де коефіцієнти $\beta_1 - \beta_4$ виражаються через коефіцієнти Ляме.

Визначивши відповідно до (8), (9) значення переміщень у кожній точці перерізу, знаходимо значення напружень:

$$\sigma_r = S_z \left(\beta_3(1-2\mu\beta_1) - 2\mu \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{I_1(r)}{r} \right) \right) + \\ + 3K\alpha\Delta T \cdot 2\mu \left(\beta_3\beta_4 - \frac{1}{\lambda+2\mu} \right) + 2\mu\alpha \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{I_3(r)}{r} \right) + C(z) 2\mu \left(\beta_2\beta_3 + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{I_2(r)}{r} \right) \right). \quad (10)$$

При реалізації отриманого рішення область розв'язання задачі $0 \leq r \leq R$ розбивалася на $n-1$ інтервалів, обмежених n вузлами r_1, r_2, \dots, r_n і вхідні у вирази (3) – (5) інтеграли і похідні визначалися чисельно. Знаючи вираз σ_r , з рівняння рівноваги (1) знаходимо напруження σ_θ :

$$\sigma_\theta = r \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \sigma_r. \quad (11)$$

Таким чином, при заданих значеннях модуля пружності E і коефіцієнта Пуассона ν напружено-деформований стан розраховується в кожній точці перерізу бетонної колони. Характеристики E і ν у кожній точці залежать від співвідношень напружень $\sigma_z, \sigma_r, \sigma_\theta$. Тому для визначення НДС у перерізі приходится вирішувати ітераційну задачу: 1) при значеннях E і ν , що відповідають даному класу бетону, визначаються $\sigma_z, \sigma_r, \sigma_\theta$; 2) відповідно до зазначеного вище критерію А.В. Яшина знаходиться значення граничного значення напруження $\bar{\sigma}_1$. Як правило, максимальним головним напруженням є σ_z ; 3) у кожній точці $i = 1, 2, \dots, n$ перевіряються умови збіжності E і ν по середньому квадратичному відхиленню. Якщо ця умова виконується, процес визначення $\sigma_z, \sigma_r, \sigma_\theta$ закінчується. Якщо умова збіжності не виконується, повертаємося до п. 1 зі значеннями E і ν , отриманими на останній ітерації.

Мета розрахунку в кожний момент часу полягає у визначенні радіуса несучого ядра, тому описаний ітераційний процес включається в зовнішній цикл розрахунків. Час збереження несучої здатності визначався умовами

$$\sigma_z \leq \bar{\sigma}_z, \quad u_z \leq 0,01h, \quad \varepsilon_r \leq \bar{\varepsilon}_r, \quad (12)$$

де ε_r - деформація в радіальному напрямку, u_z - вертикальне переміщення точок перерізу. Крім руйнування під дією зовнішнього навантаження при пожежі

можливо вибухове руйнування бетону. Тому перевірялася також умова того, що внутрішньопоровий тиск не перевищує граничного напруження на розтягання:

$$p_n \leq R_{bt} .$$

Чисельні оцінки показали, що деформації в процесі нагрівання досліджуваних колон не перевищували граничних. Руйнування центрально стиснутої постійним навантаженням колони при бічному нагріванні починається при досягненні граничного напруження $\bar{\sigma}_z$ в деякій приграничній області $r > \widehat{R}_{bet}$. При цьому в області радіуса \widehat{R}_{bet} , розташованій навколо центра перерізу, напруження не перевищують граничних. Виключимо з роботи волокна зазначеної області $r > \widehat{R}_{bet}$. При цьому інтенсивність навантаження на область $r \leq \widehat{R}_{bet}$ збільшиться:

$$\widehat{q} = q \frac{R_{bet}^2}{\widehat{R}_{bet}^2} .$$

Визначимо розрахункові і граничні напруження в області $r \leq \widehat{R}_{bet}$.

Можливі два випадки: 1) при новому завантаженні знову є пригранична область, у якій перевищується граничне напруження. У цьому випадку виключаємо волокна цієї області з роботи і перераховуємо напруження в новій області; 2) напруження у всій розглянутій області не перевищують граничних. У цьому випадку область $r \leq \widehat{R}_{bet}$ вважаємо несучим ядром колони для даного часу пожежі, а \widehat{R}_{bet} - радіусом несучого ядра; 3) напруження у всій області перевищують граничні. У цьому випадку вважаємо колону зруйнованою, а даний час пожежі – межею вогнестійкості колони.

Далі переходимо до постановки і рішення задачі визначення несучої здатності сталобетонної колони. Розглядається циліндрична сталобетонна колона, що знаходиться під дією рівномірно розподіленого навантаження інтенсивністю q , рівномірного теплового впливу T_f і власної маси (рис. 2,а). Як і в попередній задачі, робимо оцінку міцності бетону з урахуванням зміни модулів пружності бетону E_b і сталі E_s в залежності від зміни температури і рівня напруженого стану. Коефіцієнти поперечної деформації ν_b , ν_s приймаємо незалежними від температури.

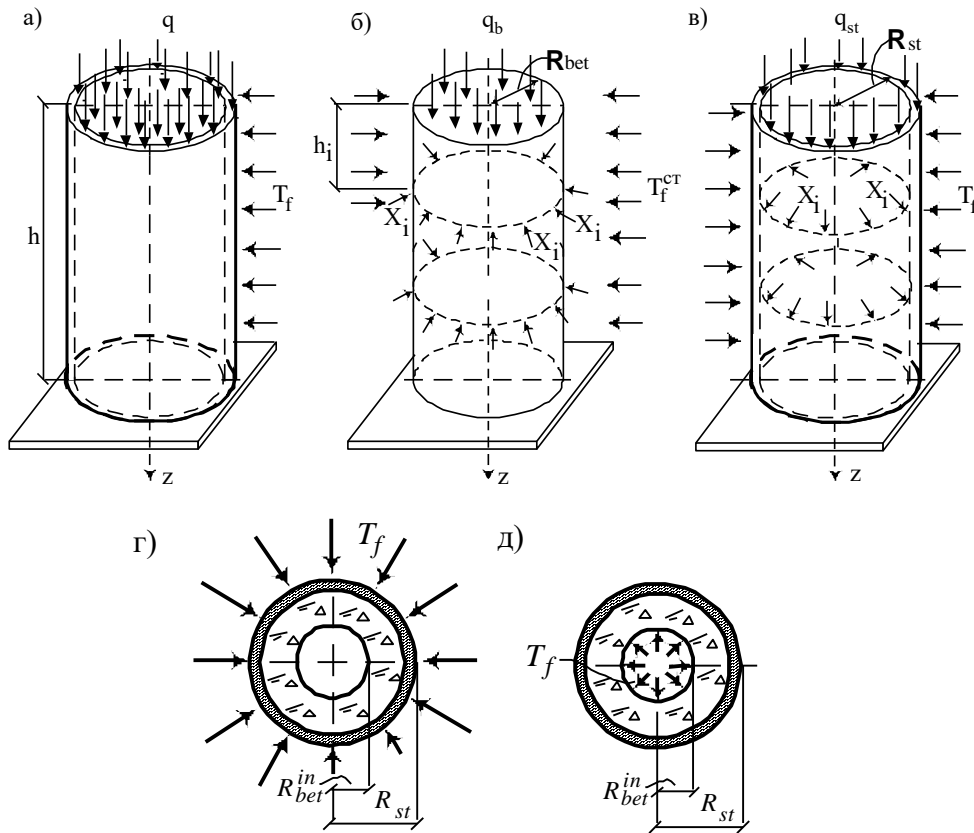
Приймаємо, що сталева обойма захищена від втрати місцевої і загальної стійкості. Критерієм досягнення граничного стану сталі вважаємо досягнення $\bar{\sigma}_T$ по Мізесу. Роботу ядра й обойми в подовжньому напрямку приймаємо спільною. З цієї умови одержуємо розподіл навантаження між ядром і обоймою: $q_b = q$; $q_{st} = qE_s / E_b$.

Для оцінки напружено-деформованого стану перерізу колони розкривається контакт між бетоном і сталлю. У якості невідомих приймаємо сили контактної взаємодії. Для їхнього визначення в кожному перерізі $z = h_i$ (рис. 2,б,в) використовуємо умову рівності переміщень на границі контакту:

$$X_i [\delta_b(\mathcal{R}_{bet}) - \delta_{st}(\mathcal{R}_{bet})] - [u_{r_b}(\mathcal{R}_{bet}) - u_{r_{st}}(\mathcal{R}_{bet})] = 0 , \quad (13)$$

де $u_{r_b}(\mathcal{R}_{bet})$, $u_{r_{st}}(\mathcal{R}_{bet})$ - радіальні переміщення на границі від вертикального навантаження і температури відповідно в бетонному ядрі і сталевій обоймі; $[\delta_b(\mathcal{R}_{bet}) - \delta_{st}(\mathcal{R}_{bet})]$ - різниця переміщень у радіальному напрямку точок ядра й

обойми від одиничної сили $\bar{X}_i = 1$ (див. рис. 2, б, в). У силу осової симетрії задачі, контактні сили X_i залежать тільки від координати z . Ці сили



визначаються тільки для перерізів $z < h$, оскільки в нижньому перерізі відсутні радіальні переміщення.

Рис. 2. Розрахункова схема сталобетонної колони:

- а) колони;
- б) бетонне ядро радіусом \mathfrak{R}_{bet} ;
- в) сталевая обойма зовнішнього радіуса \mathfrak{R}_{st} ;
- г, д) – кільцевий переріз колони

Рівняння рівноваги для бетонного ядра і сталевий обойми від вертикального навантаження мають вигляд, аналогічний (1), відповідно з характеристиками (а саме, щільністю і напруженнями) бетону і сталі. Граничні умови мають вид:

$$\begin{aligned}
 &\text{при } r = 0 \quad u_{r_b} = 0; \\
 &\text{при } z = h \quad u_{r_b}(\mathfrak{R}_{bet}) = 0; \\
 &\text{при } z < h \quad \sigma_{r_b}(\mathfrak{R}_{bet}) = 0.
 \end{aligned} \tag{14}$$

Рішення задачі (7), (14) має вид

$$u_{r_b}(r) = -\frac{S_z}{r} I_1(r) + \frac{C_b(z)}{r} I_2(r) + \frac{\alpha}{r} I_3(r), \tag{15}$$

де константи інтегрування визначені за допомогою граничних умов (14) у такий спосіб:

$$C_b(z)|_{z=h} = \frac{1}{I_2(\mathfrak{R}_{bet})} [S_z I_1(\mathfrak{R}_{bet}) - \alpha I_3(\mathfrak{R}_{bet})], \quad S_z = (q_b + \rho g z)$$

$$C_b(z)|_{z<h} = -\frac{1}{2\mu \left[\beta_2 \beta_3 + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{I_2(r)}{r} \right) \right]} \cdot \left[S_z \left(\beta_3 (1 - 2\mu \beta_1) - 2\mu \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{I_1(r)}{r} \right) \right) + \right. \\ \left. + 3K\alpha \Delta T \cdot 2\mu \left(\beta_3 \beta_4 - \frac{1}{\lambda + 2\mu} \right) + 2\mu \alpha \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{I_3(r)}{r} \right) \right]_{r=\mathfrak{R}_{bet}}.$$

Відповідні напруження мають вигляд (10), де всі теплофізичні характеристики і параметри деформування стосуються до бетонного ядра.

Переміщення в сталевій обоймі повинні задовольняти таким граничним умовам:

$$\text{при } z = h \quad u_{r_st}(\mathfrak{R}_{bet}) = u_{r_st}(\mathfrak{R}_{st}) = 0, \quad \text{при } z < h \quad \sigma_{r_st}(\mathfrak{R}_{bet}) = \sigma_{r_st}(\mathfrak{R}_{st}) = 0. \quad (16)$$

Оскільки в обоймі $\mathfrak{R}_{bet} \leq r \leq \mathfrak{R}_{st}$, рішення (7), (16) має вид

$$u_{r_st} = \frac{1}{r} \left[\alpha \int_{\mathfrak{R}_{bet}}^r 3Kr\beta_4 \Delta T dr + C_{st}(z) \int_{\mathfrak{R}_{bet}}^r r\beta_2 dr - S_{z,st} \int_{\mathfrak{R}_{bet}}^r r\beta_1 dr + D_{st}(z) \right]. \quad (17)$$

Константи інтегрування визначаються з граничних умов у наступним чином:

$$D_{st}(z)|_{z=h} = 0, \quad C_{st}(z)|_{z=h} = \frac{1}{I_2(\mathfrak{R}_{st})} [S_{z,st} I_1(\mathfrak{R}_{st}) - \alpha I_3(\mathfrak{R}_{st})];$$

$$D_{st}(z)|_{z<h} = \left(\frac{a_{12}a_{31} - a_{32}}{a_{11}} \right) / \left(-\frac{a_{12}a_{21}}{a_{11}} + a_{22} \right),$$

$$C_{st}(z)|_{z<h} = -(a_{21}D(z)_{st} + a_{31})/a_{11},$$

усі вхідні в цей вираз функції є функціями температури.

Відповідні значення напружень σ_{r_st} дорівнюють

$$\sigma_{r_st} = S_{z,st} \left[\beta_3 (1 - 2\mu \beta_1) - 2\mu \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{I_1(r)}{r} \right) \right] + 3K\alpha \Delta T \mu \left(\beta_3 \beta_4 - \frac{1}{\lambda + 2\mu} \right) + \\ + 2\mu \alpha \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{I_3(r)}{r} \right) + C_{st}(z) \cdot 2\mu \left[\beta_2 \beta_3 + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{I_2(r)}{r} \right) \right] - \frac{2\mu}{r^2} D_{st}(z).$$

Усі теплофізичні характеристики і параметри деформування, що входять в σ_{r_st} і u_{r_st} , відносяться до сталевій обоймі.

Переміщення δ_b і δ_{st} від радіального навантаження $\bar{X}_i = 1$ визначаються виразом

$$\delta_b = -\frac{(1-\nu)}{E} \mathfrak{R}_{bet}; \delta_s = \frac{\mathfrak{R}_{bet}^2}{(\mathfrak{R}_{st}^2 - \mathfrak{R}_{bet}^2)E} \left[(1-\nu)\mathfrak{R}_{bet} + (1+\nu)\frac{\mathfrak{R}_{st}^2}{\mathfrak{R}_{bet}} \right].$$

З рівняння (6) знайдемо контактну силу X_i в кожному перерізі $z = h_i$.

Перевірка міцності включає умови:

$$\text{у ядрі } \sigma_z(i) \leq \bar{\sigma}_1(i); u_z(i) \leq 0,01h; \varepsilon_r(i) \leq \bar{\varepsilon}_r(i); p(i) < R_{bt};$$

$$\text{в обіймі } \sigma_z(i) \leq \bar{\sigma}_T(i).$$

Після визначення радіуса несучого ядра несуча здатність розраховується за формулою $N = \bar{\sigma}_1 \hat{A}_{бет} + \bar{\sigma}_T \hat{A}_{ст}$.

При рішенні цієї задачі фізико-механічні характеристики бетону і сталі, як і в попередній задачі, у кожній точці є функціями температури.

Якщо в обіймі досягається границя текучості, усе навантаження переноситься на ядро.

Аналогічним способом у дисертації отримані вирази для розрахунку НДС у кільцевому перерізі (рис. 2, г,д).

Запропонована методика протестована на приведених у літературі експериментальних результатах (Б.Б. Григор'ян, А.Ф. Мілованов, Б. Бартелеми і Ж. Крюппа). Отримано відповідність розрахункових і експериментальних результатів.

У третьому розділі приведені результати чисельних досліджень бетонної і сталобетонної колон при силових і температурних впливах.

Досліджувався час збереження несучої здатності бетонних колон у залежності від навантаження q , заданого в частках від розрахункового опору R_b : $q = \alpha \cdot R_b$. Для кожного навантаження визначався також радіус несучого ядра. Розрахунки проводилися для класів бетонів В15-В55 і дозволяють зробити наступні висновки: вогнестійкість бетонної колони збільшується зі збільшенням міцності бетону; вогнестійкість зменшується зі збільшенням осьового навантаження; колони з бетону з меншою вологістю є менш вогнестійкими; деформації в колонах з розглянутих бетонів невеликі і не приводять до руйнування відповідно до критерію (12); неармована бетонна колона, незважаючи на малий ступінь деформативності, зберігає несучу здатність не більш 1 години. Це не задовольняє вимогам до вогнестійкості колон у спорудах I ступеня вогнестійкості.

Досліджено роботу бетонної колони в сталевій обоймі при нормальній температурі. Вивчено залежність ефекту обойми від міцності бетону, товщини обойми, радіуса бетонного ядра, способу навантаження колони.

Отримані результати показали, що при малих навантаженнях контактна сила X розтягує, але обойма не відривається від бетонного ядра; при збільшенні α вона збільшується практично за лінійним законом, залишаючись незначною по величині (від $-0,04$ МПа при $\delta=3$ мм для В15 до $-0,25$ МПа при $\delta=10$ мм для В40). При наближенні до граничного стану ($q \geq 0,85q_{\text{нес}}$) контактна сила стає стискаючою (при радіусі $0,5$ м її значення доходить до $1,5$ МПа), у результаті чого збільшується міцність бетону $\bar{\sigma}_1$ до $1,95R_b$. Коефіцієнт поперечних деформацій ν_b до моменту руйнування досягає $0,9$. Руйнування у всіх випадках відбувалося в результаті перевищення в бетоні граничного опору на стиск. При руйнівному навантаженні виявлялися великими і радіальні деформації. У колонах з високоміцних бетонів (В55) ефект обойми не спостерігається, оскільки такий бетон є мало деформативним, і його обсяг не збільшується аж до руйнування. Тому контактна сила для будь-якого навантаження є розтягаючою. За результатами розрахунків проведений аналіз залежності ефективності обойми від її товщини при заданому радіусі бетонного ядра, а також аналіз залежності ефекту обойми від величини радіуса ядра.

Розрахунки показують наступне:

- величина радіуса ядра істотно відбивається на величині ефекту обойми при тонкій обоймі ($\delta = 3$ мм) і малому радіусі бетонного ядра: при зменшенні радіуса від $0,2$ м до $0,1$ м ефект обойми зростає від $1,5$ до $2,5$. При збільшенні радіуса від $0,2$ м до $0,5$ м він плавно зменшується від $1,5$ до $1,25$ (при $\delta = 3$ мм) і від $2,0-1,7$ до $1,7-1,5$ при $\delta = 5$ мм;

- при постійному радіусі бетонного ядра ефективність обойми зростає при збільшенні її товщини δ ; якщо збільшувати товщину обойми при постійній величині α , то контактна сила, а разом з нею й ефективність обойми зростають до деякого значення δ ; наступне збільшення δ приводить до руйнування колони внаслідок збільшення $q_{\text{нес}}$. Тому при виборі товщини обойми потрібно враховувати, яке навантаження повинна нести колона, наприклад, якщо колона з бетону В25 повинна нести $0,9q_{\text{нес}}$, то максимальна товщина обойми – 5 мм (див. табл. 1).

Досліджувалася вогнестійкість бетонних колон у сталевій обоймі. При стандартній пожежі через $20-30$ хв. після початку в обоймі досягається температура до 800°C , що приводить до текучості сталі. Тому такі колони виконуються з тепловим захистом.

Як показали результати розрахунків, усі розглянуті типи теплових захистів (азбестоцемент, пінобетон, мармур) забезпечують виконання вимог до вогнестійкості колон у будинках II і III ступенів вогнестійкості (2 години) при ступені навантаження $0,3q_{\text{нес}}$. Захисти з пінобетону і мармуру забезпечують при такому ступені навантаження вимоги до вогнестійкості I ступеня (2,5 години).

Для захистів з азбестоцементу і пінобетону досліджувалася залежність вогнестійкості від товщини захисного шару. Розрахунки показали, що при збільшенні захисного шару кожен сантиметр забезпечує збільшення межі вогнестійкості на 20-30хв.

Результати розрахунків для колони з бетону В25 радіусом 0,5м

$\delta = 3 \text{ мм}$			$\delta = 5 \text{ мм}$			$\delta = 8 \text{ мм}$			$\delta = 10 \text{ мм}$		
$\alpha = \frac{q}{q_{\text{нес}}}$	X, МПа	$\frac{\bar{\sigma}_1}{R_b}$	α	X	$\frac{\bar{\sigma}_1}{R_b}$	α	X	$\frac{\bar{\sigma}_1}{R_b}$	α	X	$\frac{\bar{\sigma}_1}{R_b}$
0,1	-0,0075		0,1	-0,0122		0,1	-0,0188		0,1	-0,023	
0,2	-0,015		0,2	-0,0243		0,2	-0,0376		0,2	-0,046	
0,3	-0,0224		0,3	-0,0365		0,3	-0,0564		0,3	-0,069	
0,4	-0,03		0,4	-0,0187		0,4	-0,0752		0,4	-0,092	
0,5	-0,037		0,5	-0,0609		0,5	-0,094		0,5	-0,115	
0,6	-0,045		0,6	-0,073		0,6	-0,113		0,6	-0,138	
0,7	-0,0524		0,7	-0,0852		0,7	-0,131		0,7	-0,161	
0,8	-0,0599		0,8	-0,0974		0,8	-0,15		0,8	0,213	1,11
0,85	0,0688	1,04	0,85	0,177	1,09	0,85	0,428	1,26	0,85	0,84	1,49
0,87	0,121	1,06	0,87	0,298	1,15	0,87	0,785	1,44	0,87	1,32	1,83
0,89	0,199	1,10	0,89	0,473	1,24	0,89	1,09	1,64			
0,9	0,250	1,13	0,9	0,587	1,30						
0,91	0,312	1,15	0,91	0,724	1,38						
0,92	0,385	1,20									
0,93	0,472	1,23									
$q_{\text{нес}} = 22,72 \text{ МПа}$			$q_{\text{нес}} = 25,69 \text{ МПа}$			$q_{\text{нес}} = 30,37 \text{ МПа}$			$q_{\text{нес}} = 33,83 \text{ МПа}$		

У колон з бетонів В15-В40 з більшою товщиною сталевий обійми при додатку однакої частки несучого навантаження вогнестійкість виявляється меншою. Це можна пояснити тим, що при збільшенні товщини обійми (у межах припустимої для заданого навантаження) збільшується й ефект обійми, значить збільшується несуче навантаження. Тому при додаванні однакої частки цього навантаження абсолютна величина прикладеної сили виявляється більшою.

Вивчено вогнестійкість сталобетонної колони кільцевого перерізу при пожежі з зовнішньої сторони колони (рис. 2,г). Як показали розрахунки, для сталобетонної колони з зовнішнім радіусом бетонного ядра 0,5м і внутрішнім радіусом кільця $R_{bet}^{in} = 0,25 \text{ м}$ ($R_{bet}^{in} = 0,5R_{bet}$) при наявності захисного шару з пінобетону і мармуру вогнестійкість суцільного і кільцевого перерізів збігаються. Це пояснюється дуже повільним прогрівом захищеного масивного бетонного перерізу. Розходження в розподілі температур малі, тому вони не приводять до розходження вогнестійкості. При $R_{bet}^{in} = 0,6R_{bet}$ вогнестійкість ще збігається для

суцільного і кільцевого перерізів у межах 5 – 10 хв. При збільшенні радіуса внутрішнього кільця збіг температурних полів порушується. У поєднанні з великими навантаженнями це приводить до значного зниження вогнестійкості кільцевого перерізу в порівнянні із суцільним (до 40 хв.).

Досліджено вогнестійкість колони кільцевого перерізу у випадку пожежі зсередини колони (рис. 2,д). Зроблено висновок про те, що використання колон кільцевого перерізу як несучих елементів (з радіусом до 1м) недоцільно з погляду вогнестійкості. Інша справа з колонами великого радіуса, наприклад 5м, які можна використовувати як баштові споруди. У цьому випадку, по-перше, область прогрітого бетону набагато менше всієї товщини бетону; по-друге, сталева обойма впливає на холодну зовнішню поверхню бетонного ядра, що поліпшує його роботу.

Четвертий розділ присвячений розрахунку сталобетонної колони станції метро «Інтернаціональна» Харківського метрополітену (рис. 3).

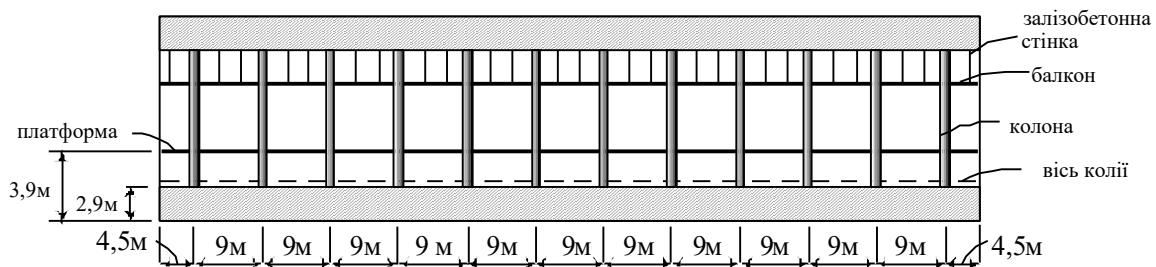


Рис. 3. Поздовжній переріз станції

Спочатку здійснюється розрахунок за допомогою програмного комплексу «ЛПРА». Отримані при цьому значення зусиль використовувалися для розрахунку колони. Оскільки станція має велику довжину (108м), для оцінки її НДС був виділений елемент довжиною 9м, у середині якого розташована сталобетонна колона висотою 8,35м діаметром 1м. Розрахункова схема поперечного перерізу елемента показана на рис. 4. Навантаження на станцію розраховувалися по нормах ДБН В.2.3-7-2003.

Відповідно до розрахунків, для самого не вигідного сполучення навантажень осьове навантаження на колону не перевищує 12МН при відсотку армування $\mu = 3,2\%$. Відповідно до цих результатів розрахована сталобетонна колона суцільного перерізу з бетону марки В25 у сталевій обоймі. У силу монолітності конструкції, колона затиснена з обох кінців. Товщина обойми вибиралася з умови $\mu = (A_{st} / A_{bet}) \cdot 100$. Для порівняння розраховано колони з обоймою, що реалізує рівень армування, який не збігається з рекомендованим: $\mu = 1,2\%$ відповідає значенню $\delta = 3\text{мм}$; $\mu = 2\%$ - $\delta = 5\text{мм}$; $\mu = 3,2\%$ - $\delta = 8\text{мм}$; $\mu = 4\%$ - $\delta = 10\text{мм}$. Колона має тепловий захист. Захист – мармурова плитка товщиною 1см на цементному розчині товщиною 3см. Теплофізичні характеристики розчину (цементно-піщана штукатурка): $\lambda = 1.2\text{Вт/мК}$, $c = 840\text{Дж/кгК}$, $\rho = 1800\text{кг/м}^3$, характеристики мармуру: $\lambda = 2.33\text{Вт/мК}$, $c = 2800\text{Дж/кгК}$, $\rho = 920\text{кг/м}^3$.

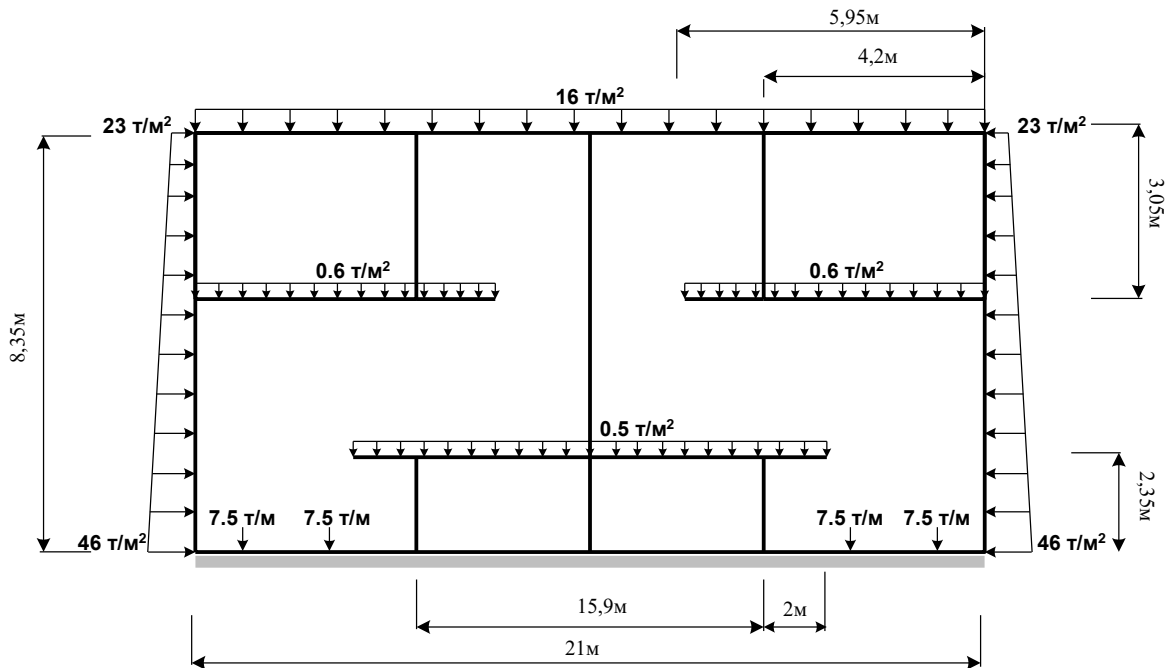


Рис. 4. Розрахункова схема перерізу станції

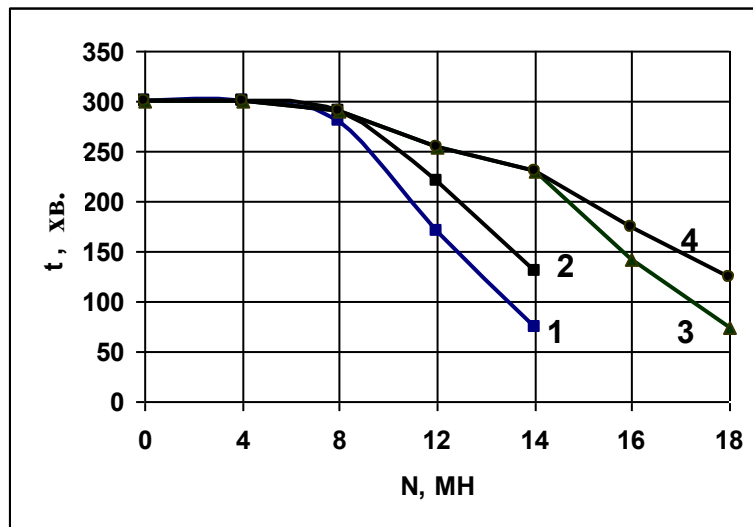
У табл. 2 приведені результати розрахунку вогнестійкості колони при різних значеннях δ і різного ступеня завантаження (значення $q_{\text{нес}}$ отримані в розд. 3 дисертації). Значення вогнестійкості, що не перевищують 30 хв., не занесені в таблицю. На підставі отриманих результатів побудовані графіки залежності вогнестійкості колони від величини прикладеної до неї сили (рис. 5).

Таблиця 2

Вогнестійкість колони

$q = \alpha \cdot q_{\text{нес}}$	$\delta = 3 \text{ мм},$ $q_{\text{нес}} = 22,72 \text{ МПа}$		$\delta = 5 \text{ мм},$ $q_{\text{нес}} = 25,69 \text{ МПа}$		
	α	$t, \text{ хв}$	$N, \text{ МН}$	$t, \text{ хв}$	$N, \text{ МН}$
	0,1	300	1,93	300	2,30
	0,2	300	3,86	300	4,60
	0,3	300	5,78	300	6,95
	0,4	300	7,77	280	9,28
	0,5	270	9,73	240	11,51
	0,6	190	11,61	120	14,06
	0,63	170	12,31	90	14,73
	0,7	90	13,70		

$q = \alpha \cdot q_{\text{нес}}$	$\delta = 8 \text{ мм},$ $q_{\text{нес}} = 30,37 \text{ МПа}$		$\delta = 10 \text{ мм},$ $q_{\text{нес}} = 33,83 \text{ МПа}$	
	t, XB	$N, \text{МН}$	t, XB	$N, \text{МН}$
0,1	300	2,92	300	3,41
0,2	300	5,85	300	6,83
0,3	290	8,86	280	10,23
0,4	260	11,87	210	13,63
0,5	170	14,62	120	17,70
0,52	150	15,66	90	18,29
0,57	90	17,13		
0,6	60	17,73		

Рис. 5. Графіки залежності вогнестійкості від величини сили N :

- 1 - $\delta = 3 \text{ мм}$;
- 2 - $\delta = 5 \text{ мм}$;
- 3 - $\delta = 8 \text{ мм}$;
- 4 - $\delta = 10 \text{ мм}$

Згідно ДБН В.2.3-7-2003, час збереження несучої здатності колони метро при пожежі повинний бути не менш 1,5 години. У табл. 3 приведена величина сили N , яку колона витримує протягом 90хв. (1,5 години) пожежі при різній товщині обійми δ .

Таблиця 3

Навантаження, що витримує колона при пожежі тривалістю 90 хв.

δ , мм	N , МН	t , хв.
3	13,70	90
5	14,73	90
8	17,13	90
10	18,29	90

Таким чином, при осьовому навантаженні на колону 12МН і стандартній товщині обійми (5 – 8 мм) вимоги до вогнестійкості виконуються.

При деяких сполученнях навантажень (відсутність тимчасового навантаження на одну половину станції) у перерізах колони можуть виникати згинальні моменти. У цьому випадку для оцінки її міцності використовувалася методика, розроблена проф. Е.Д. Чихладзе, що зводиться до визначення рівня несучої здатності $M = \varphi(N)$ при заданих геометричних розмірах колони, міцносних і теплофізичних характеристиках матеріалів і умовах пожежі. При інших розрахункових сполученнях значення ексцентриситету не перевищує випадкового.

ВИСНОВКИ

1. Виконано огляд літератури і проведено аналіз роботи бетонних, залізобетонних і сталобетонних конструкцій. Огляд показав наступне. При нормальній і підвищеній температурах до оцінки стану конструкцій можна застосувати ті самі рівняння рівноваги з урахуванням зміни властивостей матеріалів конструкції при пожежі. Такий підхід забезпечується методом пружних рішень у формі методу перемінних параметрів пружності. Для розрахунку температурних полів у бетоні найбільш прийнятна його модель як пористого вологого трифазного середовища.

2. Розроблено методику розрахунку напружень у круглому і кільцевому перерізах сталобетонної колони, що враховує тривісний напружений стан у бетоні. Напружено-деформований стан описується рівняннями теорії пружності з перемінними параметрами деформування.

3. Розроблено методику розрахунку на силові і температурні впливи бетонних колон; сталобетонних колон суцільного перерізу; сталобетонних колон кільцевого перерізу. Для описання температурних полів використана модель бетону як трифазного середовища. Розрахунок нестационарного температурного поля з рухливою границею паротворення здійснюється рішенням системи нелінійних рівнянь тепломасообміну. На підставі розподілу температури в кожен момент часу розраховується напружено-деформований стан колони з урахуванням зміни фізико-механічних характеристик матеріалів.

4. Досліджено несучу здатність бетонної колони при пожежі. Розроблено методику визначення радіуса несучого ядра і сформульовані умови руйнування.

5. Досліджено роботу бетонної колони в сталевій обоймі при нормальній температурі. Вивчено залежність ефекту обойми (відношення міцності бетону в обоймі до міцності ізолюваного бетону) від міцності бетону, товщини обойми, радіуса бетонного ядра, способу навантаження.

6. Вивчено вогнестійкість сталобетонної колони суцільного перерізу з різними видами теплових захисних матеріалів.

7. Вивчено вогнестійкість сталобетонної колони кільцевого перерізу при пожежі з зовнішньої сторони колони. Зроблено висновок про розмір співвідношення зовнішнього і внутрішнього радіусів бетонного ядра, при якому збігаються вогнестійкості колон суцільного і кільцевого перерізів. При зовнішньому радіусі $R_{bet} = 0,5$ м це співвідношення складає 0,6.

8. Вивчено вогнестійкість сталобетонної колони кільцевого перерізу при пожежі зсередини колони. Зроблено висновок про те, що використання колон кільцевого перерізу з зовнішнім радіусом до 1 м і співвідношенням внутрішнього і зовнішнього радіусів 0,3 як несучих елементів недоцільно з погляду вогнестійкості. При великих зовнішніх радіусах (від 2,5 м) і співвідношеннях радіусів 0,4 - 0,6 такі конструкції задовольняють вимогам пожежної безпеки.

9. Результати дисертаційної роботи у вигляді методики і програми розрахунку вогнестійкості сталобетонної колони на силові і температурні впливи впроваджені в практику проектування станцій метрополітену в м. Харкові, ВАТ «Харківметропроект».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Чихладзе Е.Д., Жакин І.А. Температурне поле бетонної циліндричної колони при інтенсивному тепловому впливі // Зб. наук. праць – Харків: ХарДАЗТ, 2001. – Вип. 45. – С. 116 – 124.
Особистий внесок – рішення лінійної задачі теплообміну у перерізі колони у вигляді ряду по функціям Бесселя.
2. Чихладзе Э.Д., Жакин И.А. Напряженно-деформированное состояние бетонных цилиндрических колонн при силовых и температурных воздействиях // Вестник БГТУ им.В.Г. Шухова. – Белгород:БГТУ, 2003.–№ 5. – С. 454–456.
Особистий внесок – визначення переміщень з рівнянь рівноваги, отримання чисельних оцінок.
3. Чихладзе Э.Д., Веревичева М.А., Жакин И.А. Расчет сталебетонных цилиндрических колонн на силовые и температурные воздействия // Зб. наук. праць: Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди / Видавн. Укр. держ. універс. водного господарства та природокористування: Рівне, 2003. – Вип. 9. – С. 359 – 365.
Особистий внесок – визначення для переміщень у бетоні, проведення розрахунків.
4. Чихладзе Э.Д., Веревичева М.А., Жакин И.А. Расчет бетонных цилиндрических колонн в стальной обойме на силовые и температурные воздействия // Зб. наук. праць УкрДАЗТ: Будівельні конструкції. – Кн. 1. – Вип. 59. – 2003. – С. 318 – 325.
Особистий внесок – чисельне рішення контактної задачі та визначення границь вогнестійкості.
5. Жакин И.А. Напряженно-деформированное состояние бетонных цилиндрических колонн при силовых и температурных воздействиях // Вісник ДонДАБА «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» – Вип. 2003-2(39).– Т.2. – С. 156 – 160.
6. Жакин І.А. Розрахунок бетонних циліндричних колон у сталевій обоймі на силові і температурні впливи //Зб. наук. праць – Харків, УкрДАЗТ, 2003. – Вип. 56. – С. 93 – 100.
7. Жакин И.А. Влияние температуры на напряженно-деформированное состояние бетонных цилиндрических колонн // Зб. наук. праць – Київ: КиївЗНДІЕП, 2003. – Спец. випуск – С. 181 – 184.
8. Чихладзе Э.Д., Веревичева М.А., Жакин И.А. Расчет бетонных цилиндрических колонн в стальной обойме на силовые и температурные воздействия // Зб. наук. праць. – Київ: НДІБК, 2003. – Вип. 59. – С. 318 – 326.
Особистий внесок – визначення переміщень у бетонному ядрі, розрахунки.
9. Жакин И.А., Кравцов Л.Б. Математическое моделирование процессов деформирования и разрушения бетонных и сталебетонных цилиндрических колонн при пожаре // Зб. наук. праць Луганського державного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2004. – № 40(52). – С. 97 – 105.

Особистий внесок – розробка алгоритму визначення часу несучої здатності сталобетонної колони.

АННОТАЦИЯ

Жакин И.А. Несущая способность сталебетонных колонн при силовых и интенсивных температурных воздействиях. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 - строительные конструкции, здания и сооружения. - Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2004.

В диссертации рассматриваются бетонная и сталебетонная цилиндрические колонны при силовом и интенсивном тепловом воздействии. Бетон представлен пористой влажной трехфазной средой: твердый несущий материал (скелет); совокупность жидких включений в порах; газ в порах. Предполагаем, что поверхность колонны по всей высоте подвергается воздействию температуры T_f , например, стандартного пожара. Рассчитывается температурное поле в сечении колонны с учетом внутренней подвижной границы парообразования. Задача формулируется в цилиндрических координатах на области, соответствующей радиусу сечения колонны. На границе колонны с горячей средой ставится граничное условие третьего рода с учетом лучистого теплообмена. На границе парообразования накладываем условие неразрывности. Численно задача решается путем дискретизации и последующего применения метода прогонки.

Напряженно-деформированное состояние колонны исследуется с учетом трехосного напряженного состояния бетона и изменения физико-механических характеристик бетона и стали при нагреве.

Рассматривается цилиндрическая бетонная консольная колонна, находящаяся под действием равномерно распределенной нагрузки интенсивностью q (ее равнодействующая равна F), равномерного теплового воздействия T_f и собственной массы. Колонна считается короткой, что позволяет не учитывать в каждом поперечном сечении изгибающий момент. Зависимости между напряжениями и деформациями в бетоне принимаются в форме закона Гука с переменными параметрами деформирования E и ν , которые зависят от температуры и уровня напряженного состояния в каждой точке. Предельные значения среднего напряжения $\bar{\sigma}$ и инварианта \bar{S}_I определяются в соответствии с критерием прочности Яшина А.В. Изменение модуля упругости бетона E в зависимости от температуры учитываем коэффициентом β_b . Коэффициент поперечной деформации ν принимается независимым от температуры.

При исследовании бетонной колонны в стальной обойме изменение модулей упругости бетона E_b и стали E_s и их прочности в зависимости от температуры учитываем коэффициентами β_{bT} и β_s . Коэффициенты поперечной деформации ν_b , ν_s принимаем независимыми от температуры. Принимаем, что стальная обойма защищена от потери местной и общей устойчивости. Критерием наступления предельного состояния стали считаем

достижение $\bar{\sigma}_T$ по Мизесу. Работу ядра и обоймы в продольном направлении принимаем совместной. Зависимости между напряжениями и деформациями в бетоне и стали принимаются в форме закона Гука с переменными параметрами деформирования E и ν .

Для оценки напряженно-деформированного состояния сечения колонны раскрывается контакт между бетоном и сталью. В качестве неизвестных принимаем силы контактного взаимодействия. Для их определения в каждом сечении используем условие равенства перемещений на границе контакта:

$$X_i [\delta_b(\mathcal{R}_{bet}) - \delta_{st}(\mathcal{R}_{bet})] - [u_{r_b}(\mathcal{R}_{bet}) - u_{r_st}(\mathcal{R}_{bet})] = 0,$$

где $u_{r_b}(\mathcal{R}_{bet})$, $u_{r_st}(\mathcal{R}_{bet})$ - радиальные перемещения на границе от вертикальной нагрузки и температуры соответственно в бетонном ядре и стальной обойме; $[\delta_b(\mathcal{R}_{bet}) - \delta_{st}(\mathcal{R}_{bet})]$ - разность перемещений в радиальном направлении точек ядра и обоймы от единичной силы $\bar{X}_i = 1$ (без учета температуры).

На основании полученных значений напряжений и деформаций оценивается несущая способность колонны при пожаре.

Проведены численные исследования несущей способности и эффективности обоймы колонн с различными соотношениями толщины обоймы и радиуса несущего ядра. Исследованы разные виды тепловых защит.

Исследована несущая способность и огнестойкость сталебетонной колонны с кольцевым сечением. Рассмотрены случаи пожара снаружи и изнутри колонны.

С помощью пакета «ЛИРА» рассчитано напряженно-деформированное состояние проектируемой станции метрополитена «Интернациональная». С использованием полученных значений усилий исследована огнестойкость колонн данной станции.

Ключевые слова: колонна, несущая способность, стальная обойма, эффект обоймы, огнестойкость, температурно-влажностное поле, напряженно-деформированное состояние, контактная сила, предел прочности.

АНОТАЦІЯ

Жакін І.А. Несуча здатність сталебетонних колон при силових та інтенсивних температурних впливах. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди. - Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2004.

У дисертації розглядаються бетонна і сталебетонна циліндричні колони при силових та інтенсивних теплових впливах. Бетон розглядається як трифазне середовище: твердий несучий матеріал; сукупність рідких включень у порах; газ у порах. Розраховується температурне поле в перерізі

колони з обліком внутрішньої рухливої границі паротворення; досліджується напружено-деформований стан колони з урахуванням триосьового напруженого стану бетону; визначаються контактні сили між бетонним ядром і сталеву обіймою. На підставі отриманих результатів оцінюється несуча здатність колони при пожежі.

Ключові слова: колона, несуча здатність, сталева обійма, ефект обійми, вогнестійкість, температурно-вологісне поле, напружено-деформований стан, контактна сила, границя міцності.

ANNOTATION

Zhakin I.A. The carrying capacity of steel-concrete columns under the power and intensive temperature influences. - Manuscript.

Dissertation for the scientific degree of the candidate of technical sciences by speciality 05.23.01 - building constructions, buildings and structures. - Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkov, 2004

Concrete and steel-concrete cylindrical columns under the power and intensive temperature influences are considered. Concrete is submitted by the three-phase environment: a strong bearing material; set of liquid inclusions in porous; gas in porous. The field of temperature is compute with the taking into account of the internal mobile vaporization boundary; the strained - stress state of column taking into account three-axes concrete strained state is investigate; the contact forces between the concrete core and steel tube are determined. Basing of the determined results the bearing ability of the columns under the fire is estimated.

Key words: column, carrying capacity, steel tube, effect of tube, fire-strength, temperature-moisture field, strained - stress state, contact force, breaking point of strength.

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ СТАЛЕБЕТОННИХ КОЛОН
ПРИ СИЛОВИХ І ІНТЕНСИВНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВАХ

Жакін Іван Анатолійович

Відповідальний за випуск

Романенко В.В.

Підписано до друку 15.11.04

Формат папіру 60x84 1/16 Папір для розмножувальних апаратів.

Друк офсетний. Умовно.- печ. л. 0,9. Обл.-вид. л. 1,0.

Замовл. № . Тираж 100 прим. Безкоштовно.

Видавництво УкрДАЗТу. Свідоцтво ДК №112 від 06.07.2000 р.
Друкарня УкрДАЗТу: 61050, м. Харків-50, майдан Фейербаха, 7