

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

КРАВЦІВ ЛАРИСА БОГДАНІВНА

УДК 624.014:536.4:614.841.33

**НАПРУЖЕНО - ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН СТАЛЕБЕТОННИХ І
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ЩО ЗГИНАЮТЬСЯ,
ПРИ СИЛОВИХ ТА ТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВАХ**

Спеціальність 05.23.01 - будівельні конструкції,
будівлі і споруди

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2008

Дисертація є рукописом.

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

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор

Чихладзе Елгуджа Давидович,

завідувач кафедрою будівельної механіки

Української державної академії залізничного транспорту.

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, професор

Яременко Олександр Федорович,

завідувач кафедрою будівельної механіки Одеської

державної академії будівництва і архітектури;

- кандидат технічних наук, доцент

Бутенко Сергій Володимирович,

доцент кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій

Харківського державного технічного університету

будівництва і архітектури.

Захист відбудеться **17 січня 2008 р.** о **12⁰⁰** год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 при Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, пл. Фейєрбаха, 7.

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

Автореферат розісланий

2007р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

канд. техн. наук, доцент

Ватуля Г. Л.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розвиток капітального будівництва пов'язаний з прогресом в галузі бетону та залізобетону як основного будівельного матеріалу в цей час та у найближчій перспективі. Завдання сучасної теорії залізобетону і сталобетону полягають в удосконаленні існуючих і розробці нових методів розрахунку та проектування, підвищенні надійності і економічності залізобетонних і сталобетонних конструкцій при різних проектних та запроектних впливах. Найбільш імовірним запроектним впливом є пожежа. Особлива роль у цих умовах приділяється забезпеченню вогнестійкості несучих конструкцій та їх вогнезбереженню після пожежі. На підставі сказаного вище розробка методики розрахунку однопрольотних та багатопрольотних (нерозрізних) залізобетонних і сталобетонних балок на термосилові впливи, що враховує: екстремальні умови пожежі; зміну фізико-механічних властивостей матеріалів; нелінійну залежність між напруженнями і деформаціями в бетоні; нестационарне (що змінюється в часі) температурне поле в перерізі елемента; спільність деформування компонентів перерізу; перерозподіл напружень в перерізі і перерозподіл зусиль між різними перерізами є важливим народногосподарським завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана здобувачем у рамках наукових тем: “Розробка способів посилення аварійних та передаварійних споруд та методів оцінки їх несучої здатності після посилення з урахуванням реальних властивостей матеріалів”, реєстраційний номер 0102U002542 (особистий внесок - чисельні дослідження); “Розробка теорії та методів розрахунку комбінованих конструкцій транспортних споруд”, реєстраційний номер 0106U004122 (особистий внесок-одержання рішень НДС та чисельні дослідження однопрольотних і нерозрізних балок при силових та температурних впливах).

Мета дослідження полягає в розробці методики розрахунку однопрольотних і багатопрольотних (нерозрізних) сталобетонних і залізобетонних балок на силові та інтенсивні (умови пожежі) температурні впливи.

Завдання дослідження:

1. Розробити методику розрахунку сталобетонних і залізобетонних балок на температурні (включаючи і пожежу) та силові впливи, що враховує:
 - нелінійну залежність між напруженнями та деформаціями в бетоні, у тому числі і при двовісному напруженому стані;
 - змінність параметрів деформування E і ν залежно від рівня силових та температурних впливів;
 - модель бетону як трифазного середовища, що описує неоднорідне і нестационарне температурно-вологісне поле з рухливою межею пароутворення;
 - зміну фізико - механічних характеристик матеріалів при нагріванні;

- різні умови обпирання однопрольотних балок;
- одночасно тристороннє і чотирьохстороннє нагрівання балок;
- зміну розрахункової схеми нерозрізної балки, коли один (або декілька) прольотів досягли межі вогнестійкості.

2. Розробити алгоритм і програму розрахунку сталобетонних і залізобетонних балок на ЕОМ.

3. Провести чисельні дослідження. Зіставити отримані в роботі теоретичні дані з експериментальними результатами інших авторів. Показати вплив різних захисних матеріалів на вогнестійкість однопрольотних і нерозрізних сталобетонних балок.

4. Впровадити результати досліджень у практику проектування і у навчальний процес.

Об'єкт дослідження – сталобетонні і залізобетонні однопрольотні та багатопрольотні (нерозрізні) балки.

Предмет дослідження – напружено-деформований стан (НДС) сталобетонних і залізобетонних балок при дії силових та температурних впливів, у тому числі і відповідним умовам пожежі.

Методи дослідження – аналітичними методами отримані рівняння, які пов'язують НДС при силових та температурних впливах. Рішення рівнянь здійснено шагово-ітераційними методами, в основі яких лежать різні модифікації методу пружних рішень стосовно до залізобетону і сталобетону. Для чисельного рішення нелінійної задачі тепломасообміну застосовано метод прогону.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Розроблено методику розрахунку сталобетонних і залізобетонних балок на термосилові (включаючи і пожежу) впливи, що враховує:

- змінність параметрів деформування E , ν залежно від рівня силових і температурних впливів;

- нелінійну залежність між напруженнями і деформаціями в бетоні, у тому числі і при двовісному напруженому стані;

- модель бетону як трифазного середовища, що описує неоднорідне та нестационарне температурно-вологісне поле з рухливою межею пароутворення;

- зміну фізико-механічних характеристик матеріалів при нагріванні;

- різні умови обпирання однопрольотних балок;

- одночасно тристороннє і чотирьохстороннє нагрівання балок;

- зміну розрахункової схеми нерозрізних балок, коли один із прольотів досягає межі вогнестійкості.

2. Розроблено алгоритм і складена програма розрахунку сталобетонних і залізобетонних балок на ЕОМ.

3. Показано вплив різних захисних матеріалів на вогнестійкість однопрольотних і нерозрізних балок.

Практичне значення отриманих результатів.

Представлені рішення пройшли перевірку і доведені до логічного завершення. Їхнє використання в програмах розрахунку конструкцій на ЕОМ

дозволить з великою точністю підійти до розрахунку та конструюванню несучих конструкцій будівель і споруд.

Впровадження. Результати дисертаційної роботи у вигляді методики і програми розрахунку вогнестійкості сталезалізобетонних балок впроваджені в практику проектування ВАТ «Харківметропроект» та у навчальний процес.

Особистий внесок здобувача: проведено аналіз літературних джерел, присвячених завданням оцінки несучої здатності сталобетонних і залізобетонних балкових елементів при термосилових впливах; розроблено методику розрахунку сталобетонних і залізобетонних балок на температурні (включаючи і пожежу) та силові впливи; розроблено алгоритм і програму розрахунку балкових елементів на ЕОМ; проведено чисельні дослідження роботи сталобетонних і залізобетонних балок; здійснено впровадження результатів досліджень у практику проектування.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на:

1. Науково-технічній конференції «Математичні моделі процесів у будівництві» (м. Луганськ, 2004р., 2007р.).
2. Третій науковій конференції молодих вчених «Архітектура та будівництво України в нових соціально – економічних умовах» (м. Київ, 2004р.).
3. Міжнародній науково-технічній конференції кафедр академії і фахівців залізничного транспорту та підприємств (м. Харків, 2004р., 2005р., 2006р., 2007р.).
4. Четвертій всеукраїнській науково-технічній конференції «Науково - технічні проблеми сучасного залізобетону» (м. Суми, 2005р.).
5. LXVI Міжнародній науково - технічній конференції «Проблеми й перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпропетровськ, 2006р.).
6. П'ятій науково-технічній конференції «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди» (м. Рівне, 2006р.).
7. Міжнародній науково-практичній конференції «Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в стройиндустрии» (м. Белгород, Росія, 2007г.).
8. П'ятій всеукраїнській науково - технічній конференції «Науково - технічні проблеми сучасного залізобетону» (м. Полтава, 2007р.).

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

Обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків і містить 85 сторінок основного машинописного тексту, у тому числі: 32 рисунка, 10 таблиць, 7 додатків. Список використаних джерел містить 103 найменування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обгрунтовано актуальність роботи та показано її зв'язок з державними науковими програмами, сформульовані мета і завдання дослідження, визначені об'єкт і предмет дослідження, описані методи рішення та наукова новизна, практичне значення результатів, впровадження, особистий внесок, апробація, публікації, а також дана загальна характеристика дисертації.

У **першому розділі** зроблено огляд робіт, присвячених теоретичним та експериментальним дослідженням теплофізичних та міцнісних характеристик бетону і сталі при високих температурах, описано особливості роботи та основні підходи до визначення межі вогнестійкості залізобетонних і сталебетонних конструкцій.

Експериментальним і теоретичним дослідженням конструкцій при термосилових впливах присвячені роботи С.В. Александровського, О. Я. Берга, Б. Бартелеми і Ж. Крюппа, М. А. Веревічевої, С. Ю. Берестянської, С. В. Бутенка, А. А. Гвоздєва, А. С. Городецького, Б. Г. Демчини, С.С Давидова, А. І. Жакіна, І. А. Жакіна, Н. І. Карпенка, Ф. Є. Клименка, С. Ф. Клованича, В. І. Корсуна, О. П. Кричевського, В. М. Левіна, А. В. Ликова, А. Ф. Мілованова, В. І. Мурашова, Г. А. Молодченка, А. В. Разживіна, Л. І .Стороженка, С. Л. Фоміна, В. С. Федорова, Е. Д. Чихладзе, О. Л. Шагіна, В. С. Шмуклера, А.І. Яковлева, О.Ф. Яременка і ін.

Представлений огляд показує, що існуючі методики оцінки вогнестійкості сталебетонних і залізобетонних конструкцій, що згинаються, мають потребу в удосконалюванні і урахуванні додаткових факторів, що істотно впливають на їх НДС, зокрема: змінність параметрів E і ν залежно від рівня силових та температурних впливів; модель бетону, як трифазного середовища; різні умови обпирання однопрольотних балок; одночасно тристороннє і чотирьохстороннє нагрівання балок; зміна розрахункової схеми нерозрізної балки при пожежі та інше.

Другий розділ присвячено теоретичним дослідженням сталебетонних і залізобетонних елементів, що згинаються, які сприймають крім силових і температурні впливи. Диференціальне рівняння вигнутої осі балки прийнято в наступному вигляді:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(D \frac{d^2 y}{dx^2} - M_T \right) = q, \quad (1)$$

де

$$D = \int_{-h_1}^0 E_{br}(T) y^2 dy + \int_0^{h_2} E_b(T) y^2 dy + \int_{-l_1}^{-l_2} E_s y^2 dy, \quad (2)$$

$$M_T = - \int_{-h_1}^0 \alpha_{bt} E_{bt}(T)(T - T_0) y dy - \int_0^{h_2} \alpha_b E_b(T)(T - T_0) y dy - \int_{-l_1}^{-l_2} \alpha_s E_s(T)(T - T_0) y dy, \quad (3)$$

T_0 - початкова температура, T - поточна температура в перерізі балки, $\alpha_b, \alpha_{bt}, \alpha_s$ - коефіцієнти лінійного розширення відповідно стислого бетону, розтягнутого бетону, сталі.

На рис. 1 показані напруження і деформації в перерізі балки.

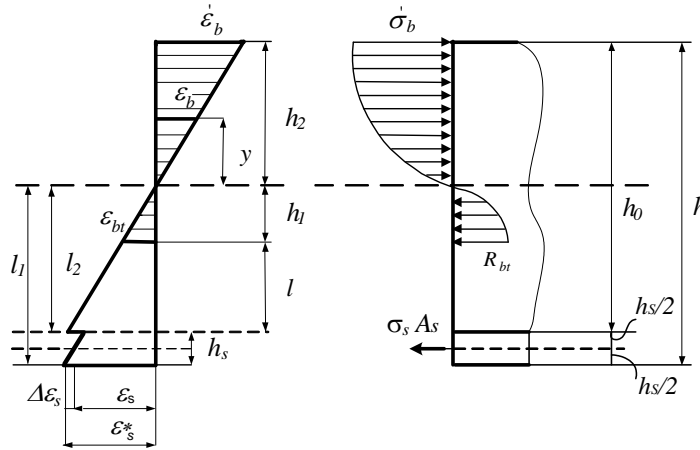


Рис. 1. Напруження і деформації в перерізі сталобетонної балки

Модулі пружності бетону в розтягнутій, стислій зоні та сталевому листі визначаються за наступними залежностями:

$$E_b(T) = \left(3 \sum_{k=1}^n A_k (\varepsilon'_b)^{k-1} / (k+2) \right) \beta_b,$$

$$E_{bt}(T) = \left(3 \sum_{k=1}^n A_{tk} (\varepsilon'_{bt})^{k-1} / (k+2) \right) \beta_b, \quad (4)$$

$$E_s(T) = \beta_s E(20^0 C),$$

β_b, β_s - коефіцієнти, що враховують зниження модулів пружності при нагріванні, A_k, A_{tk} - коефіцієнти, що визначаються з умов мінімуму квадратичних відхилень експериментальних діаграм деформування бетону в досвідах Г. Купфера від апроксимуючих залежностей у вигляді полінома четвертого ступеня. Тут кожна крива $\sigma - \varepsilon$ представлена вектором стовпцем, у перших чотирьох позиціях якого розташовані коефіцієнти $A_k (A_{tk})$ ($k = 1, 2, 3, 4$), а в п'ятій - граничні значення деформацій $\varepsilon_b (\varepsilon_{bt})$.

Для рішення задачі про напружено-деформований стан сталобетонних і залізобетонних балок необхідно знати розподіл температурно-вологісного поля в її перерізі. Припустимо, що балка прогривається рівномірно по

поверхні: з боку сталевго листа (одномірне нагрівання); із трьох сторін; із чотирьох сторін (двовимірне нагрівання) (рис.2). При цьому бетон розглядається як пористе трифазне середовище (тверда-1, рідка-2, газоподібна-3).

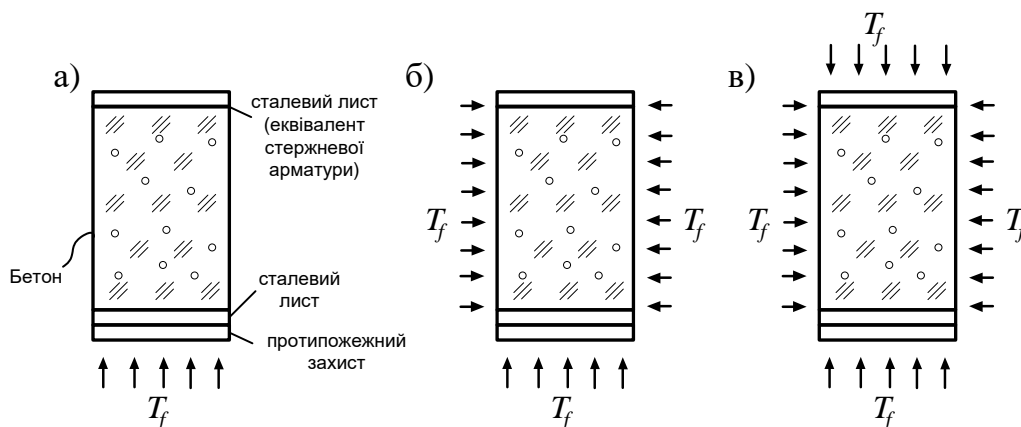


Рис. 2. Розрахункові схеми перерізів сталобетонних балок для теплофізичної задачі при пожежних впливах: а) з боку сталевго листа; б) із трьох сторін; в) із чотирьох сторін

Для мікропористих середовищ із розмірами пор $r \leq 10^{-7}$ м типу щільних важких бетонів з пористістю порядку (20 – 30)% тепломасообмін при односторонньому нагріванні описується наступною системою рівнянь:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right), \quad (5)$$

$$\frac{\partial \rho_3}{\partial t} = \frac{8r}{3} \sqrt{\frac{R}{2\pi M}} \frac{\partial (\rho_3 \sqrt{T})}{\partial y}, \quad (6)$$

де ρ - щільність сухої твердої фази; c - питома теплоємність бетону; λ - коефіцієнт теплопроводності сухої твердої фази; ρ_3 - щільність пари в мікропорах; M - молярна маса пари; R - газова постійна; t - час. Рівняння (6) застосовують для знаходження щільності пари в порах.

Початкові і граничні умови при нагріванні з боку сталевго листа мають вигляд:

$$\text{При } t = 0 : T = T_0.$$

$$\text{При } y = 0 : -\lambda \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha_f (T_f - T), \rho_3 = \rho_f. \quad (7)$$

$$\text{При } y = h : \lambda \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha_c (T_0 - T).$$

У рівняннях (7) позначено: α_f, α_c - коефіцієнти конвективного теплообміну між бетоном, вогневим і холодним середовищами відповідно; ρ_f - щільність гарячої пари.

Умови на межі пароутворення

$$y = \xi : -\lambda \frac{\partial T}{\partial y} = r_i \rho_{20} \frac{d\xi}{dt} ; \left(k_3 \rho_3 \frac{\partial p}{\partial y} \Big|_{\xi=0} - k_3 \rho_3 \frac{\partial p}{\partial y} \Big|_{\xi=h} \right) = \rho_{20} \frac{d\xi}{dt}, \quad (8)$$

де r_i - питома теплота пароутворення; k_3 - коефіцієнт фільтрації пари по порах; p - тиск пари в мікропорах; ξ - межа області фазового переходу; ρ_{20} - щільність рідини при початковій температурі.

Рішення рівнянь (5), (6), (7), (8) здійснюється в різницевій формі. Величина кроку за часом приймається 1 с. Початковий крок сітки по висоті перерізу $h/20$. При $t=0$ приймається $T_i=T_i^0$; $c_{3i}=c_{30}$; $c=1$ атм., $i=1,2,\dots,n$, далі відповідно до викладеного вище вирішується крайова задача з рухливою межею пароутворення. У результаті одержуємо температурне поле на ділянці $0 \leq y \leq h$, щільність пари у вузлах, внутрішньопоровий тиск (рис. 3).

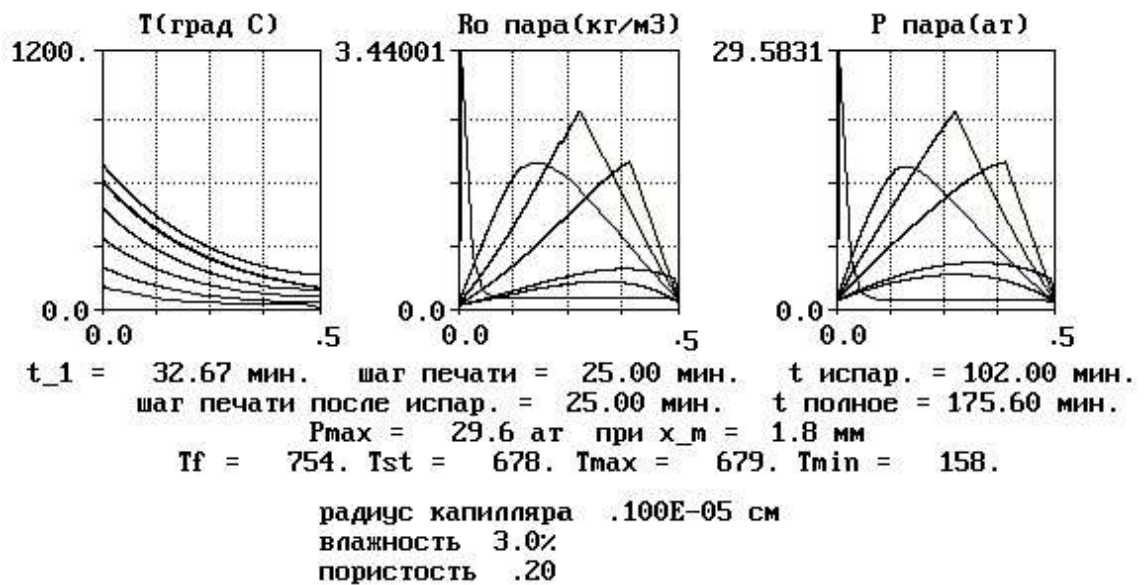


Рис. 3. Графіки розподілу температури, щільності пари, тиску пари по перерізу сталобетонної балки при односторонньому нагріванні (з боку сталевого листа)

У додатку А.1 до дисертації описано робота програми розрахунку на ЕОМ температурно-вологісних полів, блок схема та наведено докладний приклад.

У третьому розділі наведено теоретичні рішення для розрахунку сталобетонних та залізобетонних статично визначених і статично невизначених балок на силові та температурні впливи. Зовнішнє армування в сталобетонних балках розташовується в нижній розтягнутій зоні. Передбачається, що лист захищений тепловим екраном або теплоізолюючим покриттям. Як показує досвід проектування і експлуатації сталобетонних конструкцій їхня вогнестійкість істотно залежить від інтенсивності теплових потоків. Найнебезпечнішими типами є пожежі, що швидко займаються. До таких пожеж близький стандартний, при якому температура T_f після 15 хв горіння дорівнює 740°C . При такому режимі горіння через ~ 20 хв сталь

майже повністю втрачає міцність. От чому використання звичайних сталобетонних балок, не захищених тепловими екранами або покриттями недоцільно. Для сприйняття негативних моментів, що з'являються в статично невизначених балках, служить стержневе армування (рис. 2). При оцінці НДС залізобетонних балок стержневе армування замінюється на еквівалентне по площі листове. Таким чином, досягається єдиний підхід до розрахунку сталобетонних і залізобетонних балок.

Рішення диференціального рівняння (1) для шарнірно - обпертої балки, яка навантажена рівномірно - розподіленим навантаженням має вигляд:

$$y(x) = \frac{qx}{24D} [x^2(x-2l) + l^3] + \frac{M_T}{2D} x(l-x), \quad (9)$$

Найбільша кривизна посередині прольоту дорівнює

$$k_{\max} = \frac{qL^2}{8D} - \frac{M_T}{D}, \quad (10)$$

Для балки затисненої з двох сторін:

$$y = \frac{1}{EI} \left[\frac{qx^4}{24} - \frac{qlx^3}{12} + M_T \frac{x^2}{2} + \frac{ql^2 x^2}{24} - M_T \frac{l}{2} x \right]; \quad (11)$$

$$k_{\max} = \frac{qL^2}{12D} - \frac{M_T}{D}. \quad (12)$$

У балці з лівою шарнірно-рухливою, правою-затисненою опорах прогин і максимальне значення кривизни визначаються так:

$$y = \frac{qx^4}{24D} - \frac{3qx^3l}{48D} + \frac{M_T x^2}{2D} + \frac{qxl^3}{48D} - \frac{M_T xl}{2D}, \quad (13)$$

$$k_{\max} = -\frac{qx^2}{2D} + \frac{3qxl}{8D} - \frac{M_T}{D} \quad (14)$$

У дисертації також отримано аналітичні рішення для шарнірно-обпертої балки, яка навантажена рівномірно - розподіленим навантаженням і моментами на опорах. Для складного поперечного навантаження, що приводить до громіздких аналітичних рішень, для знаходження максимального значення кривизни використано числовий метод: проліт балки розбивається на n -і кількість ділянок, для кожної ділянки визначається згинальний момент, виділяється ділянка з найбільшим моментом, і визначається $K_{\max} = M_{\max}/D$.

Положення нейтральної осі знайдемо, скориставшись умовою рівності нулю сумарних зусиль у перерізі сталобетонної балки:

$$\int_{-h_1}^{h_2} \sigma_b dy + \int_{-l}^{-h_1} \sigma_s dy = 0, \quad (15)$$

$$\text{де } \sigma_b = \varepsilon_b E_b; \sigma_{bt} = \varepsilon_{bt} E_{bt}; \sigma_s = \varepsilon_s \lambda_s E_s$$

Для не дуже високих температур, коли $\beta_s \geq 0.5$, під час відсутності тріщин $h_2 = h_o - h_1, l = 0$ положення нейтральної лінії може бути визначене з рівняння:

$$h_1 = \left[\varepsilon \int_0^h \beta_b(T) y dy - \beta_s(T_f) \frac{h_s^2}{2} \right] / \left[\varepsilon \beta_b(T_{x_{01}}) h_0 + \beta_s(T_f) h_s \right] \quad (16)$$

$$\text{де } \varepsilon = \frac{E_b(20^0 C)}{E_s(20^0 C)}.$$

При високих температурах, наприклад $T_f = 800^0 C$, коли $\beta_s(T) \approx 0.1$ (бетон має зону тріщинуватості), для визначення h_1 вирішується інтегральне рівняння (15).

Перейдемо тепер до знаходження температури і часу вогневого впливу при виникненні тріщин, руйнуванню стислої зони бетону, текучості в сталевому листі.

Умови виникнення тріщин:

$$E_b(20^0 C) \beta_b(T^*) h_1 k_{\max} = R_{br}(20^0 C) \gamma_{br}(T^*) \quad (17)$$

Умова руйнування бетону стислої зони формулюється у вигляді:

$$E_b(20^0 C) \beta_b(T) h_2 k_{\max} = R_b(20^0 C) \gamma_b(T) \quad (18)$$

Нагрівання сталевого листа може привести до його пластичної деформації, а значить до втрати несучої здатності. Умова, при якому сталевий лист втрачає міцнісні властивості, має вигляд:

$$E_s(20^0 C) \beta_s(T) k_{\max} \left(l_2 + \frac{h_s}{2} \right) = \sigma_T(20^0 C) \gamma_s(T) \quad (19)$$

Рівняння (9)-(19) є основою для оцінки вогнестійкості сталобетонних та залізобетонних однопрольотних і багатопрольотних (нерозрізних) балок. Жорсткість D і температурний момент M_T у цих рівняннях – змінні функції. Алгоритм роботи програми на ЕОМ перевірки міцності балок представлено на рис. 4. Розрахунок вогнестійкості нерозрізних балок умовно можна розділити на чотири етапи. На першому етапі виконується розрахунок нерозрізної балки методом сил або переміщень (у програмі, яка представлена у додатку до дисертації використано метод сил). На другому етапі провадиться розрахунок окремих балок (прольотів) нерозрізної балки зі знайденими в етапі 1 опорними моментами. Для кожного прольоту визначається переріз з максимальним моментом. Величини знайдених моментів порівнюють з опорними моментами. Для отриманих у такий спосіб небезпечних перерізів визначаються кривизни, положення нейтральних ліній, температурні моменти, жорсткості. На третьому етапі вирішується система канонічних рівнянь із новими жорсткостями прольотів, знайденими на другому етапі. Процедуру розрахунку повторюють доти, поки опорні моменти не збіжаться у двох останніх наближеннях з наперед заданою точністю обчислень. Процес сходиться швидко, що підтверджує накопичений досвід рішення фізично нелінійних завдань у формі методу змінних параметрів пружності. На четвертому етапі провадиться оцінка

Читання масивів координат та температур у перерізі балки $x(i), T(i) \quad i = 1, n$ в момент часу $t = t_i$

$i = i + 1$

Визначення положення нейтральної осі:

$$h_1 = \left[\varepsilon \int_0^h \beta_b(T) y dy - \beta_s(T_f) \frac{h_s^2}{2} \right] / \left[\varepsilon \beta_b(T_{x_{01}}) h_0 + \beta_s(T_f) h_s \right]$$

Рис. 4. Алгоритм розрахунку перевірки міцності балок всієї нерозрізної балки зі зміною, якщо буде потреба, її розрахункової схеми, тобто постановкою повного шарніра над опорою та наступним виключенням зі складу балки того прольоту, що втратив несучу здатність. Чисельна

реалізація оцінки вогнестійкості здійснюється на ЕОМ. Текст програми представлено у додатку до дисертації.

У четвертому розділі викладено результати зіставлення теоретичних і експериментальних даних, а також чисельні дослідження впливу навантаження, класу бетону, марки сталі, товщини сталевого листа, способів захисту, розташування теплового впливу на вогнестійкість та несучу здатність сталобетонних і залізобетонних балок.

У якості експериментальних даних використані дослідження вогнестійкості армополімербетонних балок (рис. 5) проведені НДІЗБом, МПТом, ВНІПО МВС СРСР і Гіпроцветметом.

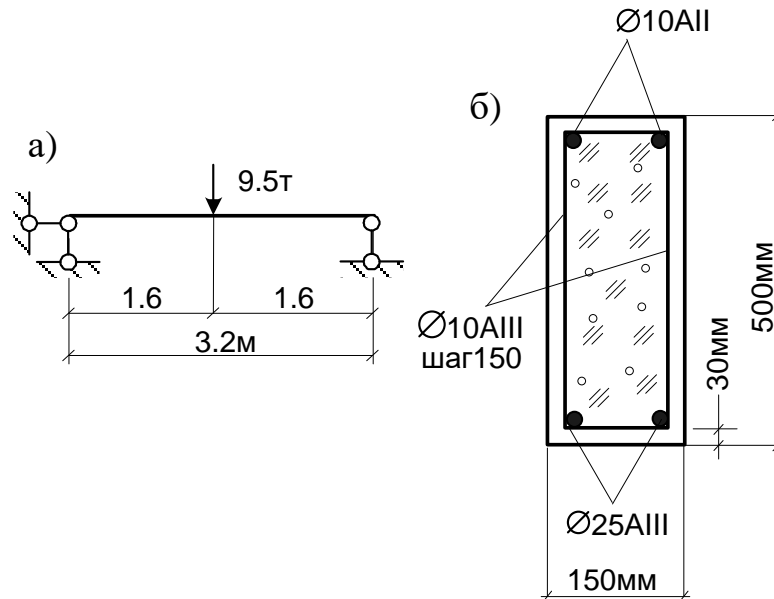
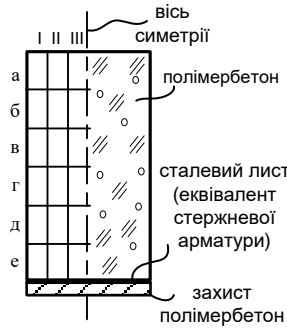


Рис. 5. Схема армополімербетонної балки, яка випробовувана у вогневій камері: а) розташування навантаження; б) поперечний переріз

Результати випробувань показали, що через 10 - 15 хв після початку вогневого впливу відбувається вибухоподібне руйнування поверхневого шару полімербетону, що супроводжується утворенням воронки глибиною до 5 мм, діаметром 15–20 мм. Балки руйнувалися через 100 хв по нормальному перерізу з утворенням пластичного шарніру в середині прольоту. Температура нагрівання розтягнутої арматури у середині прольоту склала 660°C.

Результати розрахунку та розрахункова схема перерізу показані в табл.1. Задача вирішується методом розщеплення, тобто на кожному кроці за часом здійснюється прогін по осі z (горизонтальна вісь), а потім по осі y (вертикальна вісь). Розрахунковий час вибухонебезпечного руйнування поверхневого шару балки дорівнював 13 хв. При цьому тиск пари в порах 7.3 МПа, що перевищує величину межі міцності бетону при розтяганні. Розрахункова вогнестійкість склала 93.3 хв. Таким чином, зіставлення показало цілком задовільні результати, що підтверджує ефективність розробленої в дисертації методики.

Розподіл температур ($^{\circ}\text{C}$) в перерізі полімербетонної балки при чотирьохсторонньому нагріванні

	NN ділянок	N ділянок		
		I	II	III
а		437.36	376.33	376.33
б		444.42	442.63	442.63
в		456.76	455.42	455.43
г		465.65	464.25	464.23
д		472.58	471.45	471.45
е		645.74	582.41	582.41

Вплив міцності бетону і умов закріплень було досліджено шляхом розрахунку однопрольотних балок, виготовлених з бетонів природного твердіння вологістю 3%, класів В 20, В 30, В 40, В 50, В 60, довжиною $l = 6\text{ м}$, перерізом $500 \times 300\text{ мм}$, армованих сталевим листом товщиною $\delta = (1 \dots 3)\text{ мм}$ із марки сталей С235, С255, С285. Інтенсивність розподіленого навантаження варіювалася від 10 до 80 кН/м. Результати такого розрахунку для варійованих параметрів $q = 20\text{ кН/м}$ й $\delta = 1\text{ мм}$ наведено в табл. 2.

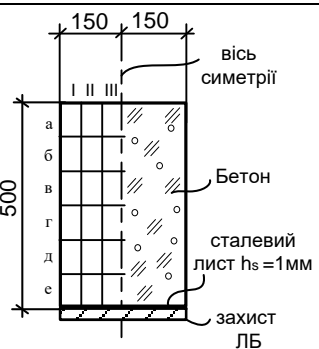
Як показують результати розрахунків, клас бетону впливає не тільки на вогнестійкість, але й на час появи тріщин у розтягнутій зоні, причину руйнування, жорсткість, температуру в сталевому листі та інші фактори.

На відміну від плит, у балках умова температурного впливу при пожежі може бути тристоронньою. Як і для чотирьохстороннього нагрівання, тут для рішення задачі використаний метод розщеплення. Для дослідження впливу цього випадку на вогнестійкість конструкції розглянуто переріз балки, що піддається двовимірному (тристоронньому) і одномірному (однобічному) температурним впливам (табл.3).

Як видно з табл. 3 температури при двовимірному нагріванні відрізняються від температур при одномірному нагріванні. Тому розходження у вогнестійкості становить $\sim 25\%$. Це показано на графіку рис.6.

Таблиця 3

Розподіл температур ($^{\circ}\text{C}$) по перерізу сталобетонної балки при тристоронньому нагріванні

	NN ділянок	N ділянок			
		I	II	III	III
		двовимірне нагрівання			одномірне нагрівання
а		500.68	20.67	20.67	20.32
б		536.46	30.62	30.62	21.05
в		536.35	45.87	45.87	23.12
г		535.38	83.84	73.48	24.43
д		534.43	93.54	93.54	71.75
е		532.02	509.04	509.04	514.6

Таблиця 2

Вплив міцності бетону на роботу однопрольотних балок довжиною $l = 6\text{ м}$, перерізом $500 \times 300\text{ мм}$, які армовані листом $\delta = 1\text{ мм}$ із захистом ЛБ, інтенсивність розподіленого навантаження $q = 20\text{ кН/м}$ при пожежі

Характеристика опорних закріплень	Клас бетону	Вогнестійкість, хв.	Максимальний момент, кН·м	Жорсткість, кН·м ²	Час появи тріщин у розтягнутій зоні, хв.	Причина руйнування	Температура в бетоні стислої зони, °С	Температура в сталевому листі, °С
шарнір-шарнір	B20	112	$0.9 \cdot 10^2$	$0.234 \cdot 10^6$	36.5	в стислій зоні	20	488
	B30	127		$0.266 \cdot 10^6$	37			564
	B40	157		$0.284 \cdot 10^6$	38			692
	B50	157		$0.307 \cdot 10^6$	39			692
	B60	187		$0.314 \cdot 10^6$	40	σ_T у сталевому листі		793
шарнір-затиснення	B20	127	$-0.359 \cdot 10^3$	$0.226 \cdot 10^6$	38	в стислій зоні	20	564
	B30	127	$-0.409 \cdot 10^3$	$0.266 \cdot 10^6$	40			564
	B40	157	$-0.384 \cdot 10^3$	$0.284 \cdot 10^6$	46			692
	B50	187	$-0.429 \cdot 10^3$	$0.306 \cdot 10^6$	48	σ_T в арматурі R_b у бетоні		793
	B60	187	$-0.438 \cdot 10^3$	$0.314 \cdot 10^6$	в	σ_T в арматурі R_b у бетоні		793
затиснення - затиснення	B20	127	$-0.239 \cdot 10^3$	$0.226 \cdot 10^6$	36	по стислій зоні	20	564
	B30	127	$-0.272 \cdot 10^3$	$0.266 \cdot 10^6$	39			564
	B40	157	$-0.256 \cdot 10^3$	$0.284 \cdot 10^6$	41			692
	B50	187	$-0.286 \cdot 10^3$	$0.306 \cdot 10^6$	43	σ_T в арматурі R_b у бетоні		793
	B60	187	$-0.292 \cdot 10^3$	$0.314 \cdot 10^6$	48	σ_T в арматурі R_b у бетоні		793

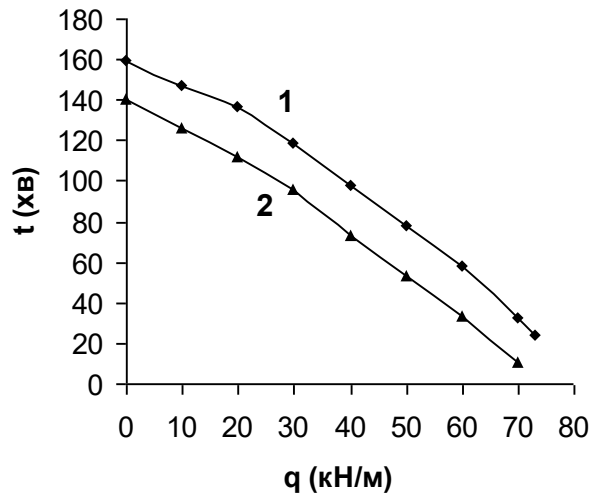


Рис. 6. Графіки залежності вогнестійкості від навантаження при однобічній і тристоронній пожежах:
1 - пожежа з однієї сторони; 2 - пожежа з трьох сторін

У дисертації виконаний аналіз роботи нерозрізних балок залежно від навантаженості та розташування теплового впливу (пожежі). Розглядалася п'ятипрольотна балка (рис.7)

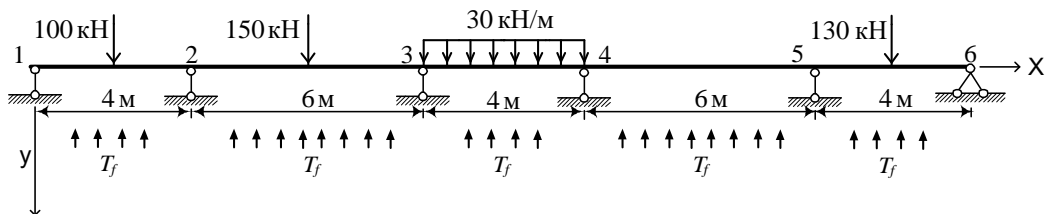


Рис. 7. Схема п'ятипрольотної балки

Тепловий вплив розташований у всіх прольотах, потім у чотирьох, трьох, двох і одному. Перерозподіл опорних і прольотних моментів для випадків, що розраховують, показано на рис. 8. Варіювалася величина інтенсивності розподіленого навантаження в третьому прольоті ($q = 30$ кН/м, $q = 100$ кН/м) при тепловому впливі на всіх прольотах (крива е, рис. 8).

Зміна положення температурних впливів при постійних навантаженнях, а також зміна навантаженості при постійній температурі приводить до значного перерозподілу зусиль між опорними та прольотними моментами і впливає на межу вогнестійкості нерозрізних балок.

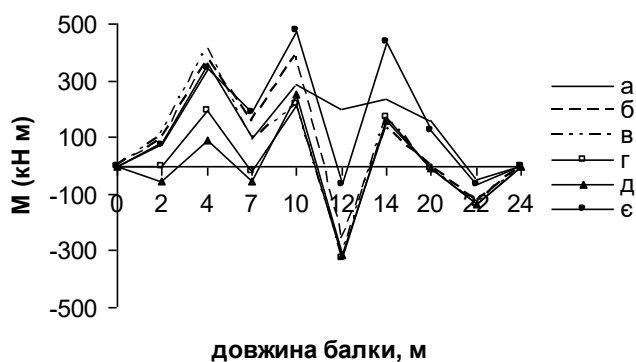


Рис. 8. Сумарна еюра моментів від силових та температурних впливів:

- а) пожежа у всіх прольотах; б) пожежа в чотирьох прольотах; в) пожежа в трьох прольотах; г) пожежа у двох прольотах; д) пожежа в першому прольоті; е) пожежа у всіх прольотах, $q = 100 \text{ кН/м}$

ВИСНОВКИ

1. Виконаний у дисертації огляд літератури показав, що забезпечення вогнестійкості несучих конструкцій будівель і споруд є народногосподарським завданням. Існуючі методи розрахунку вогнестійкості мають потребу в удосконалюванні і урахуванні додаткових факторів, що істотно впливають на неї.
2. Стосовно до балкових сталобетонних і залізобетонних елементів, що згинаються, отримано рішення завдання тепломасообміну з рухливою межею пароутворення. Для розрахунку температурних полів у перерізі елемента використана модель бетону як пористого вологого трифазного середовища. Рішення системи нелінійних рівнянь тепломасообміну здійснено в різницевій формі. Наведено опис роботи програми на ЕОМ, її блок - схема з прикладом розрахунку.
3. Отримано диференціальне рівняння вигнутої осі балки, яка навантажена поперечним навантаженням та підлягає температурному впливу. Знайдено залежності для температурних згинальних моментів. Визначено змінні параметри деформування E та ν .
4. У результаті рішень диференціального рівняння вигнутої осі отримані залежності, що описують напружено - деформований стан сталобетонних і залізобетонних статично визначених і статично невизначених балок при термосилових впливах. Знайдено положення небезпечних перерізів і визначені кривизни в цих перерізах. Сформульовано і записано в аналітичному вигляді умови міцності та деформування: тріщиноутворення, руйнування стислої зони бетону; текучості в сталевому листі.
5. Складено алгоритм і програма розрахунку несучої здатності та вогнестійкості однопрольотних і багатопрольотних (нерозрізних) балок

на ЕОМ. У підпрограмі до основної програми використовуються температурні поля в задані моменти часу.

6. Зіставлення дослідних даних з розрахунковими показало цілком задовільні результати, що підтверджує ефективність розробленої в дисертації методики.

7. Досліджено вогнестійкість однопрольотних і нерозрізних балок залежно від: класу бетону; марки сталі; відсотка армування; виду протипожежного захисту. У результаті показано, що

- вогнестійкість однопрольотних статично визначених і статично невизначених балок зростає зі збільшенням міцності бетону;

- вогнестійкість балок, які армовані смуговою арматурою марок С235, С255, С285 незначно змінюється при розглянутих схемах температурних впливів;

- у сталобетонних елементах, що згинають, збільшення відсотка армування на 1% приводить до підвищення межі вогнестійкості на 1.15%;

- устрій протипожежного захисту значно збільшує межу вогнестійкості сталобетонних балок.

8. Вплив теплового впливу на НДС нерозрізних балок показує, що в процесі нагрівання відбувається перерозподіл зусиль між прольотними і опорними перерізами, змінюється розрахункова схема балки і її вогнестійкість.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Жакин И.А., Кравцов Л.Б. Математическое моделирование процессов деформирования и разрушения бетонных и сталобетонных цилиндрических колонн при пожаре // Зб. наук. пр. Серія: Технічні науки. – Луганськ: ЛНАУ, 2004. – № 40(52). – С. 97 – 105.

Особистий внесок – чисельні розрахунки, складання умов руйнування.

2. Жакін І.А., Кравців Л.Б. Деформативні та міцнісні властивості бетонних і сталобетонних циліндричних колон при пожежі // Зб. наук. праць – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 57. – С. 145 – 155.

Особистий внесок – розробка залежностей, які пов'язують міцнісні та деформативні характеристики матеріалів і температури.

3. Филимонов А.П., Кравцов Л.Б. Расчет несущей способности сталобетонных плит // Зб. наук. праць – Київ: КиївЗНДІЕП, 2004. – Спец. випуск. – С. 247 – 253.

Особистий внесок – зв'язок між напруженнями та деформаціями при двовісному напруженому стані.

4. Кравцов Л.Б. Оценка прочности и жесткости сталобетонных балок при силовых и температурных воздействиях // Сб.научн.тр.- Днепропетровск, ПГАСА, 2005. – Вып. 35, ч. 1. – С. 289 – 294.

5. Кравцов Л.Б. Предельное состояние сталебетонных балок при термосиловых воздействиях // Міжвід. наук. – техн. зб. / Київ: НДІБК, 2005. – Вип. 62, т. 1 – С. 174-179.

6. Кравцов Л.Б., Черемисина Е.В. Деформативные и прочностные свойства сталебетонных балок при силовых и температурных воздействиях: Тезисы LXVI Межд. научн. - практич. конф. – Д.: ДИИТ, 2006. – С. 268.

7. Кравцов Л.Б. Моделирование процесса деформирования сталебетонных балок при нагреве // Зб. наук. пр. Серія: Технічні науки. – Луганськ: ЛНАУ, 2007. – № 71(94). – С. 100 – 105.

8. Кравцов Л.Б. Исследование напряженно-деформированного состояния нагруженных сталебетонных балок при интенсивных температурных воздействиях // Зб. наук. пр.: Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди / Рівне: НУВГП, 2007. – Вип. 15. - С. 181–186.

9. Кравцов Л.Б., Соколова Е.В. Расчет сталебетонных и железобетонных балок на силовые и температурные воздействия // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород: БГТУ, 2007. – Ч.3. – С. 55 – 58.

АННОТАЦИЯ

Кравцов Л.Б. Напряженно-деформированное состояние сталебетонных и железобетонных изгибаемых элементов при силовых и 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, 2008.

В диссертации рассматриваются однопролетные и многопролетные (неразрезные) балки при силовых и температурных (включая и пожар) воздействиях. Бетон представлен пористой (20...30%) влажной (~3%) трехфазной средой (твердый несущий материал; совокупность жидких включений в порах; газ в порах). Сталебетонные балки армированы листовой арматурой в растянутой зоне и стержневой в сжатой – для восприятия отрицательных изгибающих моментов. Предполагаем, что поверхность балки подвергается воздействию температуры T_f (стандартного пожара) со стороны стального листа (одномерное тепловое воздействие), с трех и четырех сторон (двумерное тепловое воздействие).

Температурное поле в сечении балки рассчитывается с учетом внутренней подвижной границы парообразования. На границе сечения с горячей средой ставится граничное условие третьего рода с учетом лучистого теплообмена. На границе парообразования накладывається условие неразрывности. Численно задача решается путем дискретизации и последующего применения метода прогонки. В приложении к

диссертации описаны работа программы расчета температурно-влажностных полей, блок – схема и пример.

Получены решения для расчета НДС сталебетонных и железобетонных статически определимых и статически неопределимых однопролетных балок на термосиловые воздействия. Представлены уравнения для нахождения прогибов $y(x)$, максимальных кривизн K_{\max} , нейтральной оси. Записаны условия возникновения трещин, разрушения бетона сжатой зоны, потери прочностных свойств стальным листом.

Шагово-итерационными методами осуществлена численная реализация полученных решений. В процессе последовательных приближений переменной величиной является жесткость в опасном сечении. Найденные решения для однопролетных балок явились основой для оценки огнестойкости неразрезных балок на ЭВМ по специально составленной программе, текст которой приведен в приложении к диссертации.

В диссертации осуществлено сопоставление теоретических и экспериментальных данных, а также численные исследования влияния нагрузки, класса бетона, марки стали, толщины стального листа, способов защиты, расположения теплового воздействия на огнестойкость и несущую способность сталебетонных и железобетонных балок.

Ключевые слова: балка, огнестойкость, температурно-влажностное поле, напряженно-деформированное состояние (НДС).

АНОТАЦІЯ

Кравців Л.Б. Напружено - деформований стан сталебетонних і залізобетонних елементів, що згинаються, при силових та 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, 2008.

У дисертації розглядаються однопрольотні і багатопрольотні (нерозрізні) балки при силових та температурних (включаючи і пожежу) впливах. Бетон представлено пористим (20...30%) вологим (~3%) трифазним середовищем (твердий несучий матеріал; сукупність рідких включень у порах; газ у порах). Сталебетонні балки армовані листовим армуванням в розтягнутій зоні і стержневим у стислій – для сприйняття від'ємних згинальних моментів. Передбачається, що поверхня балки піддається впливу температури T_f (стандартної пожежі) з боку сталевих листів (одномірний тепловий вплив), із трьох і чотирьох сторін (двовимірний тепловий вплив).

В дисертації здійснено зіставлення теоретичних і експериментальних даних, а також чисельні дослідження впливу навантаження, класу бетону, марки сталі, товщини сталевих листів,

способів захисту, розташування теплового впливу на вогнестійкість та несучу здатність сталобетонних і залізобетонних балок.

Ключові слова: балка, вогнестійкість, температурно-вологісне поле, напружено - деформований стан (НДС).

ANNOTATION

Kravtsiv L.B. Stressed-deformed state of steel-concrete and ferro-concrete bent elements at power and 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, 2008.

One-flying and multiflying beams at power and temperature (including and a fire) influences are considered. Concrete is presented porous (20...30... 30 %) damp (~3 %) by the three-phase environment (a firm bearing material; set of liquid inclusions in times; gas in porous) Steel-concrete beams are reinforced by sheet armature in the stretched zone and rod in compressed - for perception of the negative bending moments. It is supposed, that the surface of a beam influences temperatures T_f (a standard fire) from a steel leaf (one-dimensional thermal influence), from three and four sides (bidimensional thermal influence).

In the dissertation comparison theoretical and experimental data, and also numerical researches of influence of loading, a class of concrete, mark of steel, thickness of a steel leaf, ways of protection, an arrangement of thermal influence on fire resistance and bearing ability of steel-concrete and ferro-concrete beams is carried out.

Key words: beam, fire-strength, temperature-moisture field, strained - stress state.

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН СТАЛЕБЕТОННИХ І
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ЩО ЗГИНАЮТЬСЯ,
ПРИ СИЛОВИХ ТА ТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВАХ

Кравців Лариса Богданівна

Відповідальний за випуск

Романенко В.В.

Підписано до друку 29.10.07
Формат паперу 64x84 1/16. Папір офсетний
Умовн.- друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,1.
Замовл. № . Тираж 100 прим.

Видавництво УкрДАЗТ. Свідоцтво ДК №2874 від 12.06.2007 р.
61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7
Друкарня УкрДАЗТу: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7