

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ

ІГНАТЕНКО АНДРІЙ ВАСИЛЬОВИЧ



УДК 699.81:693.956

**НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН
СТАЛЕБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ТЕРМОСИЛОВИХ
ВПЛИВАХ**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Ватуля Гліб Леонідович,
Український державний університет
залізничного транспорту,
завідувач кафедри будівельної механіки
та гідравліки.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Голоднов Олександр Іванович,
вчений секретар ТОВ «Укрінсталькон
імені В.М. Шимановського»;

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
Семко Володимир Олександрович,
Полтавський національний технічний
університет імені Юрія Кондратюка,
докторант кафедри конструкцій із
металу, дерева та пластмас.

Захист відбудеться « 29 » жовтня 2015 р. о 12³⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий « 28 » вересня 2015 р.

В.о. ученого секретаря
спеціалізованої вченої ради,
д.т.н., професор



А.П. Фалендиш

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним з істотних факторів, що впливають на напружено-деформований стан (НДС) складних систем, таких як суцільні середовища, є температура. Температурне нагрівання бетонних, залізобетонних і сталобетонних конструкцій зустрічається як у процесі їх експлуатації, так і при їх виготовленні. Прикладом може слугувати нагрівання конструкцій ядерних реакторів, гарячих цехів і теплових агрегатів, аеродромних покриттів і ракетних майданчиків, нагрівання бетону при термореактивному методі попереднього напруження як залізобетонних, так і сталобетонних конструкцій і в багатьох інших випадках. Величина температурних напружень, що виникають при нагріванні, може виявитися досить високою і призвести до появи тріщин у конструкціях або навіть до їх руйнування при низьких експлуатаційних навантаженнях і (або) за їх відсутності.

Відомо також, що щорічні збитки від пожеж у країнах Європейського Союзу, Китаю, Японії та США складають приблизно 2 % їх національного прибутку, у зв'язку з чим там систематично виділяють достатньо коштів на дослідження вогнестійкості залізобетонних і сталобетонних конструкцій.

Тривалість і дорожня вогневих випробувань будівельних конструкцій обумовлюють важливість розробки розрахункових методів оцінки вогнестійкості як окремих несучих елементів, так і конструкцій в цілому при проектуванні нових і реконструкції існуючих цивільних і промислових споруд.

При помірних температурних впливах задачу про визначення напружень у бетоні можна розв'язати на основі принципів термопружності, які припускають незалежність пружних і термічних постійних матеріалу від температури, але в разі високих температур треба враховувати особливості поведінки бетону як вологого капілярно-пористого тіла. Таким чином, дослідження, присвячені вивченню напружено-деформованого стану та несучої здатності конструкцій з зовнішнім армуванням при термосиловому впливі із урахуванням нелінійності деформування матеріалів конструкції та зміни їх фізико-механічних характеристик при нагріванні, є актуальними.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації є складовою частиною науково-дослідних робіт кафедри мостів, конструкцій та будівельної механіки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету в рамках виконання плану Міністерства освіти і науки України на 2010-2015 рр. «Напружено-деформований стан інженерних споруд, які будуються і реконструюються на автомобільних дорогах з урахуванням технологічних факторів». Також дослідження за темою дисертації виконувались в рамках науково-дослідних робіт кафедри будівельної механіки та гідравліки Українського державного університету залізничного транспорту: «Розробка теорії та методів розрахунку комбінованих конструкцій транспортних споруд» № ДР 0106U004122 та «Розробка теорії та методів оптимізації несучих конструкцій транспортних споруд» № ДР 0110U002127.

Мета і задачі дослідження. Основна мета роботи полягає в розробці методики розрахунку сталобетонних балок і плит на термосиловий вплив при помірних і високих температурах, а також у підборі ефективного варіанта вогнезахисту таких конструкцій в умовах «стандартної» пожежі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **основні задачі дослідження**: на підставі наявних теоретичних і експериментальних робіт визначити термопружний напружено-деформований стан сталобетонних балок і плит; розробити математичну та обчислювальну методику для визначення їх вогнестійкості; провести чисельні дослідження напружено-деформованого стану сталобетонних конструкцій із зовнішнім листовим армуванням, враховуючи міцність бетону при термосиловому впливі; підібрати ефективний варіант вогнезахисту конструкцій із зовнішнім листовим армуванням.

Об'єкт дослідження - сталобетонні конструкції із зовнішнім листовим армуванням, які працюють на згин.

Предмет дослідження - напружено-деформований стан і несуча здатність сталобетонних конструкцій із зовнішнім листовим армуванням при термосиловому впливі.

Методи дослідження - методи будівельної механіки, теорії пружності і пластичності, скінчених різниць при теоретичних дослідженнях; методи математичної статистики при аналізі результатів експериментів; метод скінчених елементів при чисельному моделюванні роботи конструкцій.

Наукову новизну одержаних результатів визначено такими результатами:

- набула подальшого розвитку методика розрахунку напружено-деформованого стану двохшарової сталобетонної плити при силових і температурних впливах;
- удосконалено методику розрахунку НДС сталобетонної балки при «стандартній» пожежі з урахуванням різних умов її опирання;
- вперше розроблені комп'ютерні моделі для чисельного дослідження роботи конструкцій із зовнішнім листовим армуванням (балки і плити) при термосиловому впливі;
- вперше запропоновані і експериментально обґрунтовані варіанти вогнезахисту сталобетонних конструкцій відповідно до чинних нормативних документів.

Достовірність і обґрунтованість результатів базується на використанні основних положень і припущень механіки деформованого твердого тіла, будівельної механіки, теорії сталобетону та залізобетону, а також підтверджується результатами співставлення отриманих даних з даними раніше проведених теоретичних та експериментальних досліджень, як власних, так і інших авторів. Перевірка адекватності отриманих результатів виконувалася за допомогою критерія Фішера.

Практичне значення одержаних результатів. Результати роботи сприяють подальшому розвитку теорії сталобетону і залізобетону, а також дозволяють більш точно розраховувати деформації, напруження і переміщення конструкцій із зовнішнім армуванням при силових і температурних впливах, вибирати раціональний варіант їх вогнезахисту.

Застосування запропонованої методики оцінки вогнестійкості сталобетонних балок і плит дає можливість раціонального проектування будівель і споруд із забезпеченням заданих меж їх вогнестійкості та оцінкою залишкової міцності.

Результати роботи використані під час розробки робочих проектів капітального ремонту Харківської філармонії по вул. Римарській, 21 та реконструкції ділянки третього розвантажувально-каналізаційного колектору глибиною 16 м, в межах шахти № 4, ПАТ «Харківський тракторний завод ім. С. Орджонікідзе» на проспекті

Московський, 275 в м. Харків, а також застосовуються в навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту при підготовці студентів за напрямом 6.060101 «Будівництво», а саме: вивченні курсів «Будівельна механіка (спецкурс)», «Системи автоматизованого проектування» та при дипломному проектуванні спеціалістів та магістрів.

Особистий внесок здобувача. На підставі наявних теоретичних та експериментальних робіт визначено термопружний напружено-деформований стан сталобетонних балок і плит, розроблено математичний і обчислювальний апарати для визначення їх вогнестійкості, проведено чисельні дослідження напружено-деформованого стану сталобетонних конструкцій із зовнішнім листовим армуванням, враховуючи міцність бетону при термосиловому впливі, підібрано ефективні варіанти вогнезахисту конструкцій із зовнішнім листовим армуванням.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень та основні матеріали дисертаційної роботи доповідались на 68, 71, 72, 74-77 науково-технічних конференціях Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (м. Харків, 2004, 2007, 2008, 2010-2013); Восьмій науково-технічній конференції «Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація» (м. Кривий Ріг, 1-3 жовтня 2008 р.); IV, VI та XII науково-практичних конференціях «Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів житлово-цивільного, промислового і транспортного призначення» (м. Алушта, 3-7 вересня 2005 р., м. Ялта, 7-11 вересня 2008 р., м. Кобеляки 10-14 вересня 2014 р.), Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасні проблеми та перспективи збереження штучних споруд на автомобільних дорогах» (м. Харків, 25-26 жовтня 2012 р.); міжнародних науково-практичних конференціях «Модернізація та наукові дослідження в транспортному комплексі» (м. Перм, 26-28 квітня 2012 р., 25-27 квітня 2013 р., 24-25 квітня 2014 р.); Міжнародній конференції Transport Means – 2011:(Kaunas University of Technolog, October 20, 2011); XVII міжнародній конференції «Science – Future of Lithuania» (м. Вільнюс, 8 травня 2014 р.); інтернет-конференції «Енергозберігаючі технології теплогазопостачання, будівництва та муніципальної інфраструктури» (ХНУГХ, 2013 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві та на транспорті»(м. Харків 26-28 листопада 2014 р.); 76 Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (м. Харків, 16-17 квітня 2014 р.); П'ятій міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (м. Харків, 23-24 квітня 2015 р.).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковано в 16 наукових працях, з яких 12 статей у виданнях, рекомендованих МОН України, в тому числі 3 – у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз та 4 – тез конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку літератури та додатків. Дисертація викладена на 223 сторінках і містить 157 сторінок основного тексту, в тому числі 32 таблиці, 89 рисунків, 228 найменувань літератури та 5 додатків на 17 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність проблеми, що розв'язується в дисертаційній роботі, сформульовано мету та задачі досліджень, наукову новизну й практичну цінність результатів роботи, а також наведено її загальну характеристику.

У **першому** розділі проаналізовано стан проблеми оцінки напружено-деформованого стану конструкцій при теплових впливах. Вивченням напружено-деформованого стану сталобетонних конструкцій, в тому числі при дії температурного навантаження, займалися: А.М. Бамбура, Б. Бартелемі, С.Ю. Берестянська, В.М. Бондаренко, З.Я. Бліхарський, М.А. Веревічева, О.І. Голоднов, Б.Г. Демчіна, О.І. Жакін, О.П. Кричевський, Ж. Крюппа, А.Ф. Мілованов, Ф.Є. Клименко, В.І. Корсун, О.В. Ликов, Л.Р. Маїлян, О.В. Семко, Л.І. Стороженко, Е.Д. Чихладзе, В.С. Чиркін, О.Л. Шагін та їх учні.

При нагріванні конструкції змінюються міцнісні, пружно-пластичні, теплофізичні і механічні властивості матеріалу. Характер і темп цих змін залежать від виду, щільності та тривалості нагрівання бетону. Моделюванню цих властивостей присвячені праці А.Ф. Мілованова, О.П. Кричевського, К.Д. Некрасова, Б. Бартелемі і Ж. Крюппа, С.Л. Фоміна та інших. Окремим питанням є створення достовірних моделей для чисельного розрахунку конструкцій при дії температури із застосуванням автоматизованих комплексів, які реалізують метод скінченних елементів. Ці питання знайшли відображення в роботах Г.Л. Ватулі, С.В. Поздєєва, В.Г. Поклонського, П.О. Резніка, В.О. Семка, В.С. Шмуклера, João Batista, Leroy Gardner, R.H. Fakury, Faqi Liu, J.M. Rotter, Jenny Seputro, Hua Yang, A.S. Usmani та інших.

Дослідження вчених по визначенню міцнісних характеристик бетону при дії пожежі показали, що бетон, який має природну вологість, у навантаженому стані піддається швидкому короткочасному нагріванню, що змінює його міцнісні властивості. Однією з основних причин зниження міцності бетону, є виникнення додаткових напружень, обумовлених порушенням зв'язку між заповнювачем і цементним каменем внаслідок того, що затверділий цемент, зневоднюючи, дає усадку, а зерна заповнювача розширюються.

Розглянуто існуючі засоби вогнезахисту для сталобетонних конструкцій за допомогою: інтумісцентних покриттів, вогнезахисних сухих будівельних сумішей або штукатурок та вогнезахисних плит.

Проведений аналіз існуючих теоретичних та експериментальних досліджень дозволив сформулювати основні задачі дисертаційної роботи.

У **другому** розділі розглянуто напружено-деформований стан сталобетонних конструкцій при силових і температурних впливах.

В якості прикладу ізотропної плити із симетричною поперечною неоднорідністю розглянуто сталобетонну плиту з подвійним армуванням.

Пружні та термічні властивості плити з ізотропного матеріалу змінюються за товщиною згідно з законом:

$$\begin{cases} E = E(z); \\ \nu = \nu(z); \\ \alpha_T = \alpha_T(z). \end{cases} \quad (1)$$

Спираючись на гіпотезу Кірхгофа про прямі нормалі, визначено деформації, а потім відповідно до узагальненого закону Гуку - напруження:

$$\bar{\sigma} = E(\bar{\varepsilon}^0 + z\bar{\chi}) - \frac{E\alpha_T}{1-\nu}(T_0 + \Delta Tf), \quad (2)$$

де $\bar{\varepsilon}^0$ - матриця-стовпець деформацій; $\bar{\chi}$ - матриця-стовпець кривизни.

На рис. 1 наведені епюри напружень σ_x , викликані тільки силою N_x (рис. 1, а) і тільки моментом M_x (рис. 1, б) у припущенні $E_s > E_c$, а також епюри тих же напружень, що виникають внаслідок рівномірного приросту температури або дії сили N_y (рис. 1, в) і нерівномірного нагрівання або дії моменту M_y (рис. 1, г) у випадку, коли $\alpha_{Tc} > \alpha_{Ts}$. Температурні напруження взаємно врівноважуються в будь-якому перерізі – їх рівнодійна рівна нулю. Аналогічні епюри мають й інші основні напруження, тобто σ_y та τ_{xy} .

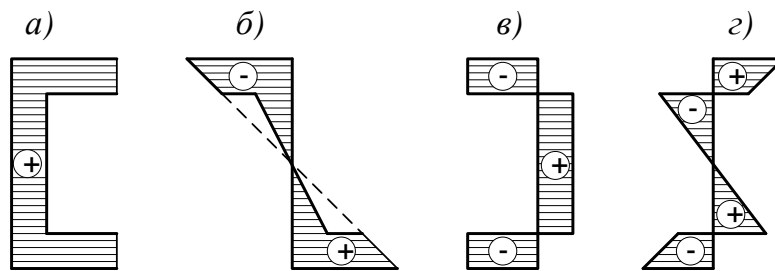


Рис. 1. Епюри напружень σ_x : а) – від N_x ; б) – від M_x при $E_s > E_c$; в) та г) – також як і а) та б) з урахуванням рівномірного приросту температури

Обчислено розподіл напружень $\bar{\tau}$ за товщиною плити:

$$\bar{\tau} = \begin{cases} \frac{3\bar{Q}}{2h}(1-4\zeta^2)e_s & \text{для } \frac{h_c}{2} < |z| < \frac{h}{2}, \\ \frac{3\bar{Q}}{2h} \left[4e_c(\zeta_c^2 - \zeta^2) + e_s(1-4\zeta_c^2) \right] & \text{для } |z| < \frac{h_c}{2}, \end{cases} \quad (3)$$

де

$$e_s = \frac{E_s}{E_D} \frac{1-\nu_D^2}{1-\nu_s^2}, \quad e_c = \frac{E_c}{E_D} \frac{1-\nu_D^2}{1-\nu_c^2}. \quad (4)$$

Визначено, що для тришарової плити, середня частина якої менш тверда, ніж зовнішні, ці напруження вирівнюються більшою мірою, ніж у випадку однорідної плити, для якої ми мали б суто параболічний обрис. У зв'язку із цим найбільше тангенціальне напруження при $z = 0$ менше, ніж в однорідній плиті.

Розглянуто двошарову плиту як приклад несиметричної поперечно-неоднорідної плити (рис. 2).

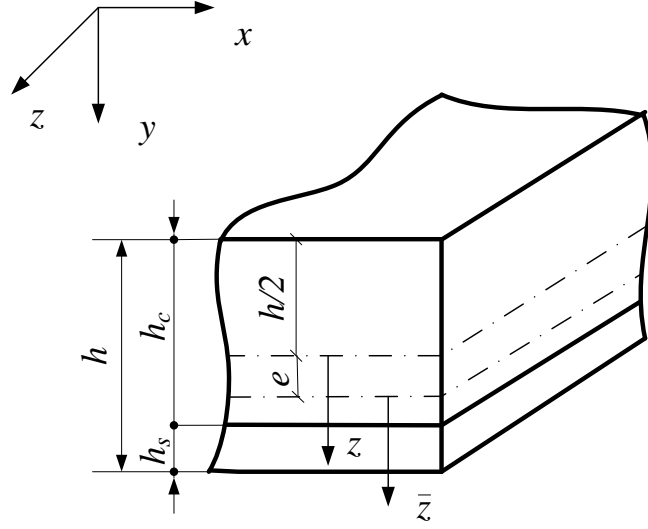


Рис. 2. Елемент ізотропної плити з несиметричною поперечною неоднорідністю

Знайдено вектор напружень:

$$\vec{\sigma} = E(z) [\vec{\varepsilon}_0 + z\vec{\chi} - \bar{\alpha}(z)T_0 - \bar{\alpha}(z)f(z)\Delta T], \quad (3)$$

де $\vec{\varepsilon}_0$ - вектор середніх деформацій, обумовлених за аналогією з

$$\bar{D} = \frac{1}{1-\nu^2} \begin{pmatrix} E_s \int_{(-h/2)+e}^{(-h/2)+e+h_s} \bar{z}^2 d\bar{z} + E_c \int_{(h/2)+e}^{(h/2)+e+h_s} \bar{z}^2 d\bar{z} \\ E_s \int_{(-h/2)+e}^{(-h/2)+e+h_s} \bar{z} d\bar{z} + E_c \int_{(h/2)+e}^{(h/2)+e+h_s} \bar{z} d\bar{z} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

$\vec{\chi}$ - вектор усереднених кривизн.

Диференціальне рівняння для плити з несиметричною поперечною неоднорідністю має вигляд

$$\bar{D} \nabla^2 \nabla^2 w = p - (1+\nu) \frac{\bar{D}}{h} \nabla^2 (\bar{\alpha}_{TD} \Delta T + \bar{\beta}_{TD} T_0), \quad (5)$$

де константи $\bar{\alpha}_{TD}$, $\bar{\beta}_{TD}$ дорівнюють:

$$\bar{\alpha}_{TD} = \frac{1}{\bar{D}(1-\nu^2)} \cdot \frac{h_c + h_s}{h_c \lambda_s + h_s \lambda_c} \cdot \left\{ \begin{array}{l} E_c \alpha_c \left[\frac{h_c}{12} \lambda_s + h_c \left(\frac{h_s}{4} \lambda_c + e \lambda_s \right) (h_s + 2e) \right] + \\ E_s \alpha_s \left[\frac{h_s}{12} \lambda_c + h_s \left(\frac{h_c}{4} \lambda_s + e \lambda_c \right) (h_c + 2e) \right] \end{array} \right\}; \quad (6)$$

$$\bar{\beta}_{TD} = \frac{h^2}{2\bar{D}(1-\nu^2)} \cdot \frac{(\alpha_s - \alpha_c) E_c E_s h_c h_s}{E_c h_c + E_s h_s}. \quad (7)$$

За чисельний метод розрахунку плит з поперечною неоднорідністю прийнято метод скінченних різниць. На рис. 3 розглянуто випадок навантаження та нагрівання всього поля пластинки.

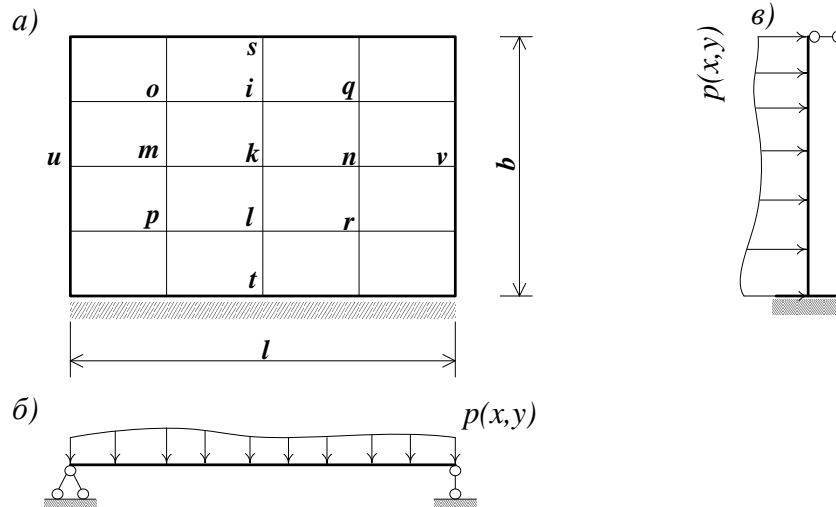


Рис. 3. До розрахунку плити методом скінченних різниць: основна схема а) - план, б) - вид спереду, в) - вид збоку

Величина \bar{p}_k у рівнянні (8) буде відображати праву частину рівняння (5) у скінчено-різницевій інтерпретації.

$$20w_k - 8(w_i + w_n + w_l + w_m) + 2(w_0 + w_q + w_r + w_p) + w_s + w_v + w_l + w_u = \frac{q_k (\Delta y)^4}{D}. \quad (8)$$

Наближені значення кривизни згину k_x та k_y можна визначити із системи рівнянь:

$$\begin{cases} k_y + \nu k_x = \frac{M_x}{D}, \\ k_x + \nu k_y = \frac{M_y}{D}. \end{cases} \quad (9)$$

У **третьому** розділі досліджено напружено-деформований стан бетону при нестационарному високотемпературному нагріванні. Вогнестійкість залізобетонних конструкцій втрачається в результаті втрати несучої здатності (руйнування) за рахунок зниження міцності, теплового розширення та температурної повзучості арматури і бетону при нагріванні, а також внаслідок прогрівання не зверненої до вогню поверхні до 160 °С. За цими показниками межу вогнестійкості залізобетонних конструкцій можна визначити розрахунковим шляхом.

Традиційний підхід розрахунку складається із двох частин: теплотехнічної та статичної. Теплотехнічна частина має на меті визначення температури за перерізом конструкції в процесі впливу на неї стандартного температурного режиму. У статичній частині обчислено несучу здатність нагрітої конструкції з урахуванням зміни

властивостей бетону та арматури при високих температурах. Побудовано графік (рис. 4) зниження несучої здатності в часі.

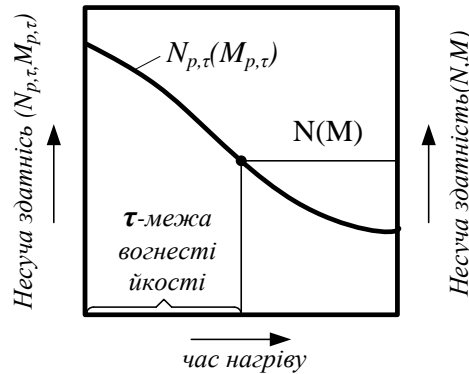


Рис. 4. Загальна схема розрахунку межі вогнестійкості за ознакою втрати несучої здатності

За цим графіком знаходимо межу вогнестійкості, тобто час нагрівання, після закінчення якого несуча здатність конструкції знизиться до величини робочого навантаження, або коли буде дійсною рівність

$$N_{p,T}(M_{p,T}) = N(M), \quad (10)$$

де $N_{p,T}(M_{p,T})$ - несуча здатність стиснутої чи позакентровано стиснутої конструкції; $N(M)$ - поздовжнє зусилля (згинальний момент від нормативного навантаження (постійна і тимчасова, тривала).

За ознакою прогрівання межу вогнестійкості конструкцій знаходимо шляхом теплотехнічного розрахунку.

Досліджено задачу щодо необхідності обліку зміни фізико-механічних характеристик бетону від температури під час розгляду його напружено-деформованого стану при високих рівнях нестационарного нагрівання. Визначено основні передумови для розв'язку задачі: модуль деформації бетону при підвищенні температури; коефіцієнт температурного розширення бетону α при нагріванні; коефіцієнт теплопровідності бетону λ ; коефіцієнт лінійного набрякання бетону; реологічні характеристики бетону. Поставлена задача про напружений стан бетону при високому рівні нагрівання вирішується у квазістатичній постановці без урахування впливу динамічного ефекту.

Обрано та обґрунтовано метод розв'язання задачі. Розглянуто модель бетону як багатофазного середовища. Розглянуто сталобетонну конструкцію, що перебуває під дією рівномірно розподіленого навантаження та температури, яка змінюється уздовж осі b за законом стандартної пожежі T_f (рис. 5).

Бетон приведено до умови ізотропного миттєво-пружного суцільного середовища. Узагальнені інтегральні модулі деформації стиснутої та розтягнутої зон перерізу при температурі 20°C мають вигляд:

$$\begin{cases} E_c = 3 \sum_{k=1}^N A_k (\varepsilon'_c)^{k-1} / (k+2); \\ E_{ct} = 3 \sum_{k=1}^N A_{tk} (\varepsilon'_{ct})^{(k-1)} / (k+2), \end{cases} \quad (11)$$

де A_k, A_{tk} - коефіцієнти, що визначаються з умов мінімуму квадратичних відхилень експериментально отриманих значень напружень і обчислених з використанням полінома четвертого ступеня. При нормальній температурі, тобто до початку дії пожежі, конструкція плити чи балки працює без тріщин у розтягнутій зоні бетону. Позначено через T_* - температуру T_f , при якій з'являється перша тріщина ($T_* = T_f(t_*)$).

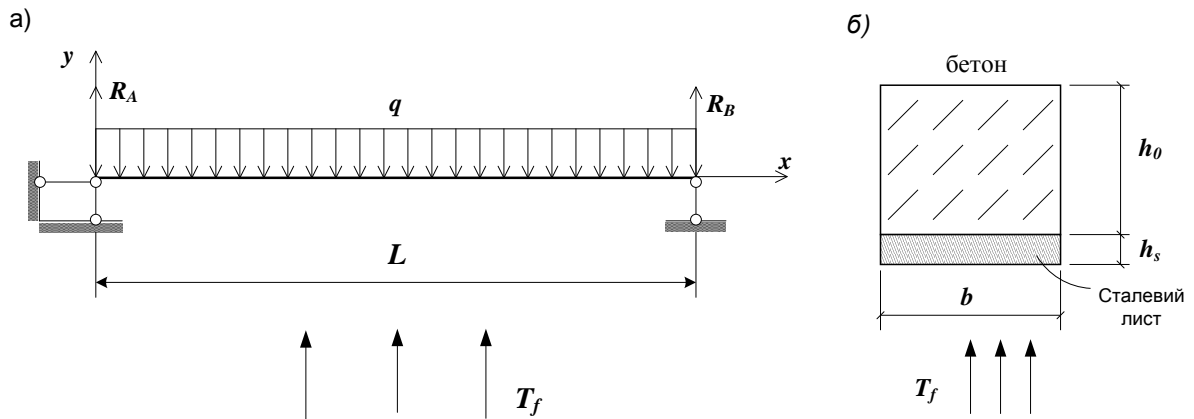


Рис. 5. Сталобетонна конструкція:
а) - розрахункова схема; б) - поперечний переріз.

Критерієм утворення тріщини будемо вважати досягнення в розтягнутих волокнах бетону граничного напруження при розтяганні f_{ctk} (рис. 6).

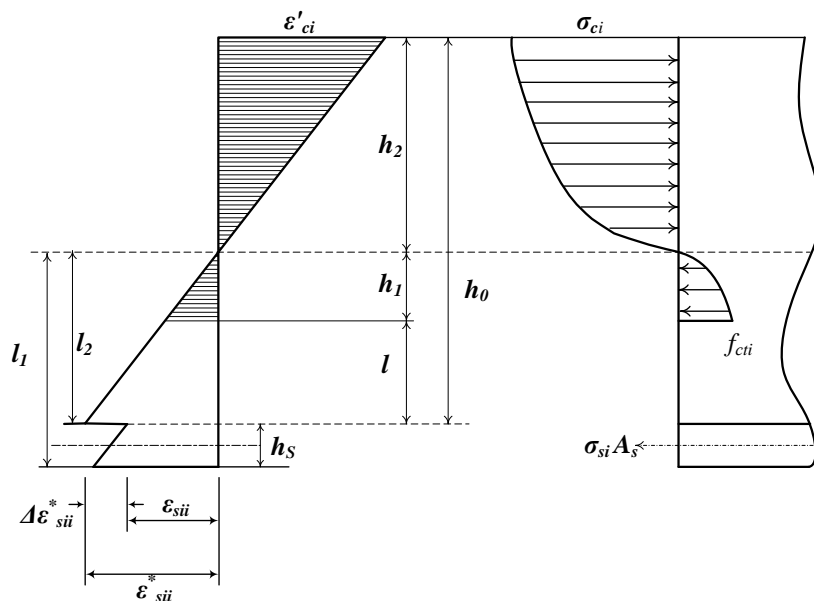


Рис. 6. Деформації в перерізі сталобетонного елемента

З підвищенням температури можливе руйнування бетону в стиснутій зоні. Ця умова записується в такому вигляді:

$$\frac{E_c(20^\circ C)}{1-\nu_c^2} \cdot \frac{q_0 L^2 + 8M_T}{8D} \beta_c(T) x_3 < f_{ck}(20^\circ C) \gamma_c(T). \quad (12)$$

Нагрівання сталевго листа може призвести до порушення його несучої здатності. Умова, при якій сталевий лист зберігає міцнісні властивості, має вигляд

$$\sigma_s(T_f) = \frac{E_s(20^\circ C)}{1-\nu_s^2} \cdot \frac{q_0 L^2 + 8M_T}{5D} \beta_s(T_f) h_1 < f_{yk}(T) = f_{yk}(20^\circ C) \gamma_s(T). \quad (13)$$

Виділено три етапи розрахунку межі вогнестійкості: початковий, коли температури бетону нижче $100^\circ C$ і випаровування вільної води ще не відбувається; проміжний, коли відбувається випаровування вільної води в бетонній складовій конструкції (товщина конструкції розділена на дві області: суху та вологу); остаточний, коли процес випаровування завершений (увесь бетон сухий). На етапі випаровування вільної вологи руйнування бетону може відбутися за рахунок високого внутрішньопорового тиску. Розтріскування бетону починається при виконанні умов

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d\sigma}{dt} &\geq [k_3 / \eta_{пара}] [(p_{max} - p_0) / \nabla \sigma], \\ (\Pi / (1 - \Pi))(p_{max} - p_0) &\geq f_{ctk}, \end{aligned} \right. \quad (14)$$

де $\eta_{пара}$ - коефіцієнт динамічної в'язкості пари.

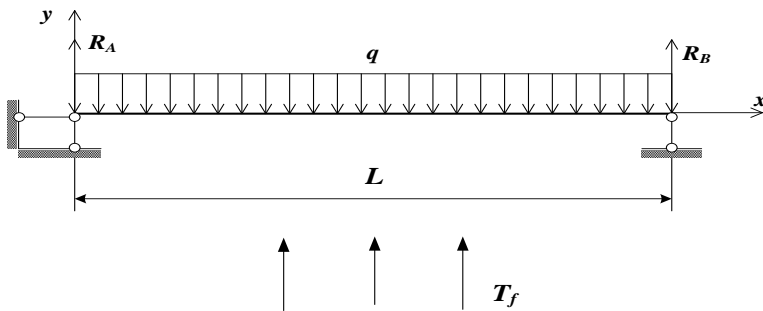


Рис. 7. Рівномірно навантажена сталобетонна плита при однобічному нагріванні

При наявності навантаження руйнування сталобетонних конструкцій може відбутися раніше, ніж зруйнується бетон як матеріал. Розглянуто одноосьову деформацію сталобетонної плити (рис. 7).

З умови $x_3 = -h_1$: $\sigma_{ct1} = \frac{E_{ct}}{1-\nu_c^2} \varepsilon_{ct11} = f_{ctk}$, $\varepsilon_{ct11} = h_1 y''$ випливає, що перші тріщини будуть утворюватися в середині прогону балки. Температура T і момент часу t початку тріщиноутворення будуть визначатися умовою

$$\sigma_{ct1}(-h_1) = \frac{E_c(20^\circ C)}{1-\nu_c^2} \beta_c(T_*) h_1 y'' \left(\frac{L}{2} \right) = f_{ctk}(T_*). \quad (15)$$

Із підвищенням температури вогневого впливу можливе руйнування бетону в зоні стискання за рахунок зменшення його міцнісних властивостей. Умова відсутності руйнування бетону щодо деформацій стискання має вигляд

$$\sigma_{c1}(x_3) = \frac{E_c(20^\circ C)}{1-\nu_c^2} x_3 y'' \left(\frac{L}{2} \right) < f_{ck}(T) = f_{ck}(20^\circ C) \gamma_c(T) \quad (16)$$

При $0 \leq x_3 \leq h_0 - h_1$. Цю умову в дійсному вигляді можна записати як

$$\frac{E_c(20^\circ C)}{1-\nu_c^2} \cdot \frac{q_0 L^2 + 8M_T}{8D_1} \beta_c(T) x_3 < f_{ck}(20^\circ C) \gamma_c(T). \quad (17)$$

Отримано умови міцності для сталобетонних конструкцій з іншими граничними умовами опирання. Так, у балці з защемленням та шарнірною опорою максимальний момент (максимальна кривизна) отримано при $x = 0$, однак за значенням він буде дорівнювати моменту, який отримано для балки з двома шарнірними опорами. Прогин у довільному перерізі буде дорівнювати

$$w(x) = \left(-\frac{q_0 L^2}{8} + M_T \right) \frac{x^2}{2D_1} + \frac{5}{8D_1} q_0 L \frac{x^3}{6} - q_0 \frac{x^4}{24D_1}, \quad (18)$$

Для консольної балки максимальний прогин отримаємо при $x = L$

$$w(x) = \left(-\frac{q_0 L^2}{2} + M_T \right) \frac{x^2}{2D_1} + \frac{q_0 L}{D_1} \frac{x^3}{6} - q_0 \frac{x^4}{24D_1}, \quad (19)$$

а максимальна кривизна при $x = 0$ дорівнює

$$\max w''(x) = -\frac{q_0 L^2}{2D_1} + \frac{M_T}{D_1}. \quad (20)$$

Умови міцності у цьому випадку запишемо як:

$$\frac{E_c(20^\circ C)}{1-\nu_c^2} \cdot \frac{q_0 L^2 + 2M_T}{2D_1} \beta_c(T) |h_2| < f_{cm}(20^\circ C) \gamma_c(T), \quad (21)$$

$$\frac{E_s(20^\circ C)}{1-\nu_s^2} \cdot \frac{q_0 L^2 + 2M_T}{2D_1} \beta_s(T_f) h_1 < \sigma_T(20^\circ C) \gamma_s(T). \quad (22)$$

За запропонованою методикою були проведені чисельні оцінки вогнестійкості сталобетонної плити та балки з різними умовами опирання, отримано графіки залежності прогинів від часу. Слід зазначити, що без застосування вогнезахисних покриттів вогнестійкість шарнірно опертої плити становить 23 хв., а балки з такими ж умовами опирання - 18 хв. Це ще раз підтверджує необхідність застосування додаткового теплового захисту сталобетонних конструкцій.

У **четвертому** розділі наведено результати чисельного дослідження вогнестійкості сталобетонних конструкцій з урахованням їх вогнезахисту.

Розглядалися сталобетонні плити шарнірно обперті на двох кінцях і нескінченно довгі в перпендикулярному напрямку (рис. 8), з розмірами $h_0 = 0,1 \text{ м}$, $L = 0,5 \text{ м}$, $h_s = 4 \text{ мм}$. Товщина повітряного зазору між сталю та бетоном становила $h_c = 2,5 \text{ мм}$.

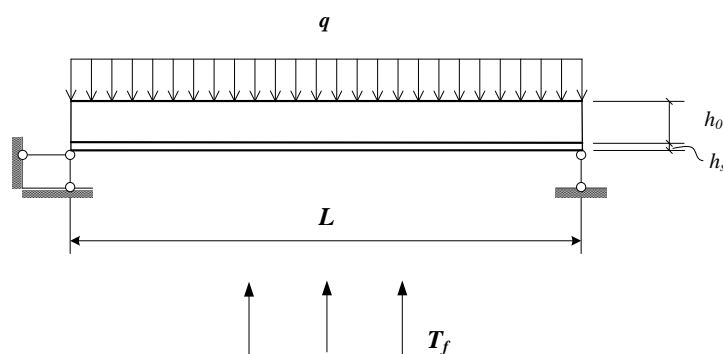


Рис. 8. Сталобетонна плита

При моделюванні сталобетонних балок, товщина зовнішнього листового армування варіювалась від 2 до 4 мм. Конструктивна схема розглянутих балок представлена на рис. 9 і на рис. 10. Розглядалась пожежа під балкою, що з трьох боків перерізу оточена середовищем пожежі. Причина та сценарій розвитку пожежі не розглядалися, а температурні умови під балкою відповідають стандартному температурному режиму пожежі. Задача оцінки вогнестійкості сталобетонної балки ставиться як завдання розрахунку теплового й напружено-деформованого станів (поля температур, напружень і деформацій) фрагмента при стандартному температурному режимі пожежі всередині приміщення.

Розрахунок виконувався в програмному комплексі, що реалізує метод скінченних елементів (МСЕ). Для верифікації запропонованих розрахункових моделей обрано граничні умови, спосіб прикладання навантаження, типи та крок анкерування сталобетонних балок, які випробовувались на силоне навантаження М.О. Ковальовим.

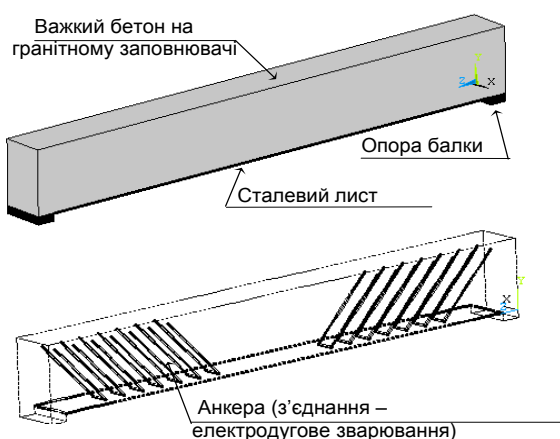


Рис. 9. Конструктивна схема сталобетонної балки

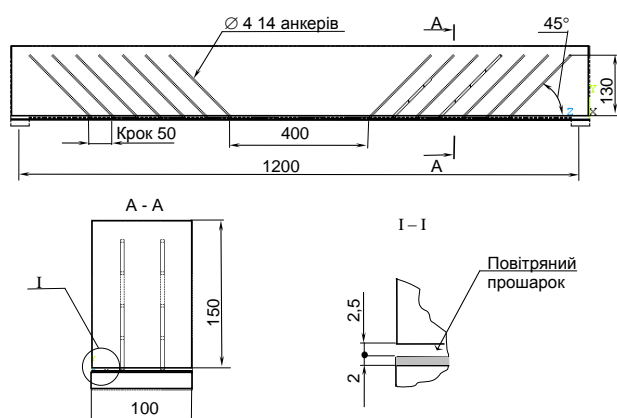
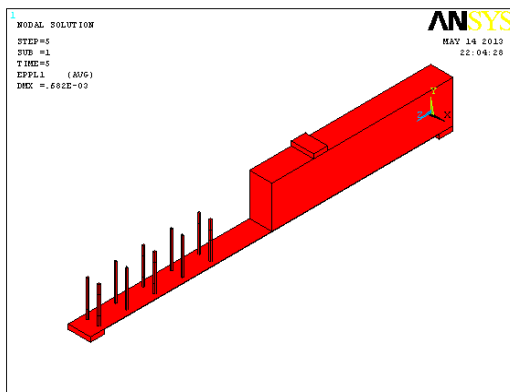
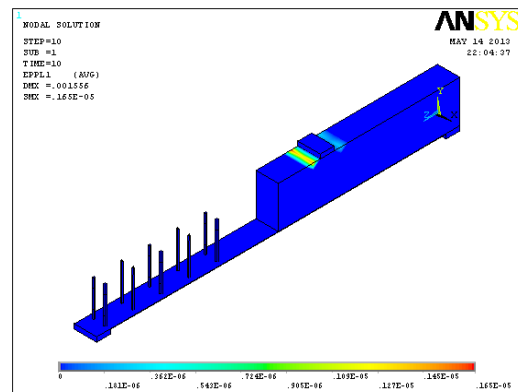


Рис. 10. Схема розташування елементів балки

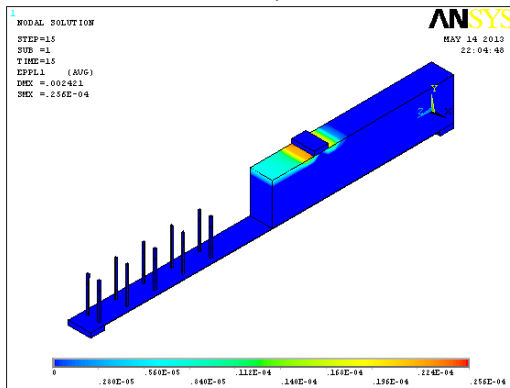
На рис. 11 показані розподіли найбільших пластичних деформацій. Розподіл повних деформацій показує місця, де матеріал здатен чинити опір діючим навантаженням. На рис. 12 показані такі розподіли.



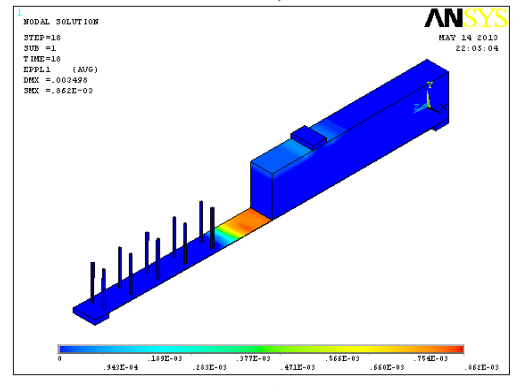
а)



б)

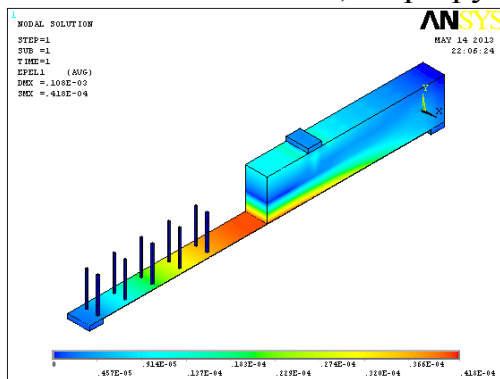


в)

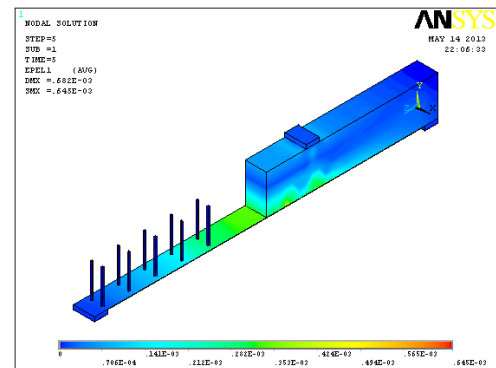


г)

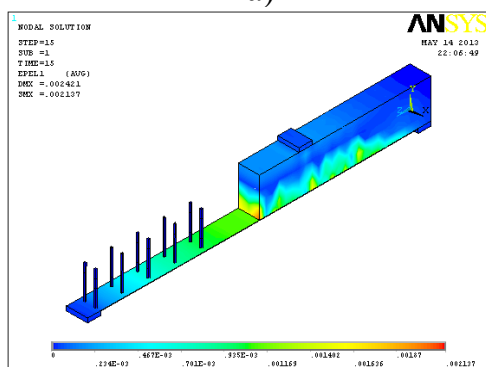
Рис. 11 Розподіл найбільших пластичних деформацій: а) - при навантаженні 5 кН; б) - при навантаженні 10 кН; в) - при навантаженні 15 кН; г) - при руйнівному навантаженні



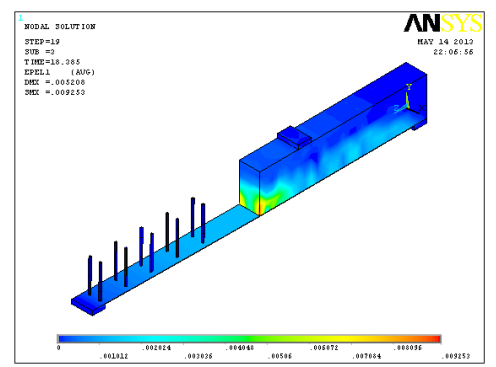
а)



б)



в)



г)

Рис. 12 Розподіл найбільших пластичних деформацій: а) - при навантаженні 1 кН; б) - при навантаженні 5 кН; в) - при навантаженні 15 кН; г) - при руйнівному навантаженні

При розв'язанні теплотехнічної задачі для сталобетонної балки при впливі пожежі зі стандартною температурною кривою використана розрахункова схема, представлена на рис. 13.

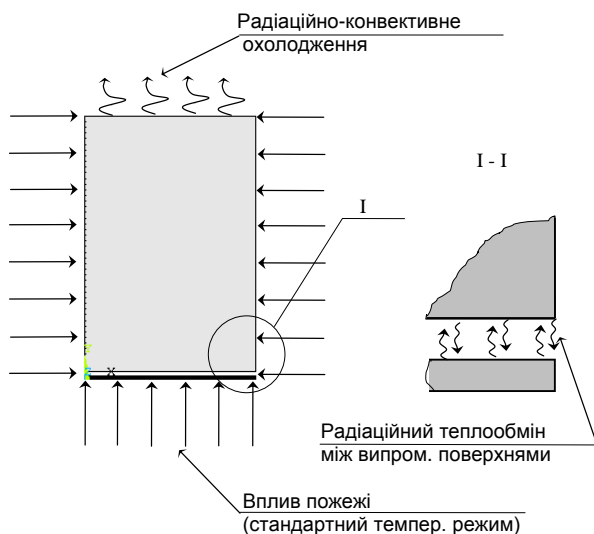
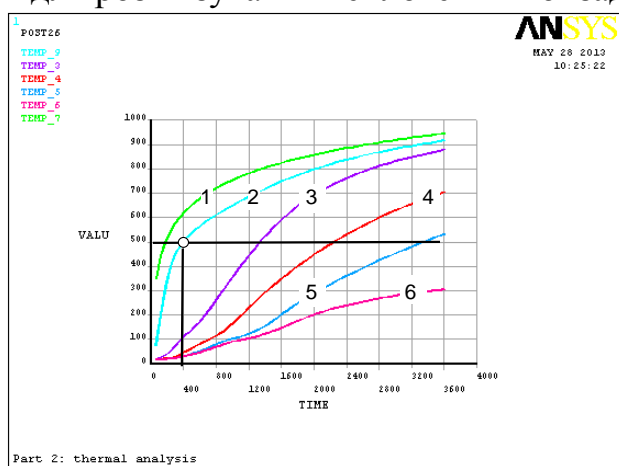


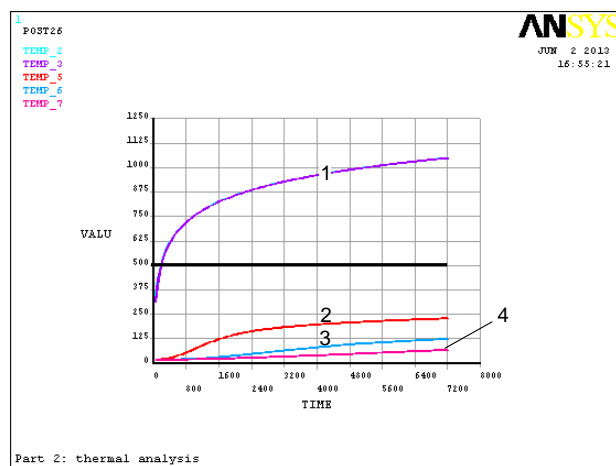
Рис. 13. Розрахункова схема перерізу балки для розв'язування теплотехнічної задачі

Аналізуючи характер розподілу температури, можна зробити висновок, що спочатку нижній бік бетонного шару прогривається менше, тому що металевий лист здійснює екранувальну дію.

Але, в міру того як лист прогривається, він сам стає інтенсивним джерелом випромінювання, що веде до більш швидкого прогріву нижньої частини бетонного шару. Також на розподілах помітно, що сталевий лист є найбільш нагрітим для всього періоду нагрівання (рис. 14 а).



а)



б)

Рис. 14. Графіки температурно-часових залежностей у різних точках перерізу балки в умовах «стандартної» пожежі: а) без захисту: 1 - стандартний температурний режим пожежі; 2 - температура в сталевому листі; 3 – температура на нижній поверхні бетонного шару; 4 - температура на відстані 30 мм від поверхні бетонного шару; 5 - температура посередині висоти бетонного шару; 6 - температура на поверхні, що не обігривається; б) з вогнезахисним облицюванням з мінераловатних плит «Conlit SL150» товщиною 25 мм: 1 - температура поверхні вогнезахисту; 2 - температура в сталевому листі; 3 – температура на нижній поверхні бетонного шару; 4 - температура на поверхні, що не обігривається

Аналіз графіків прогрівання перерізу показує наявність на них специфічної «полиці», коли температура залишається впродовж деякого часу постійною та рівною 100 °С, що сигналізує про достатню адекватність моделі теплопровідності, оскільки вона може враховувати явище інтенсивного випаровування вологи з пор бетону, що обумовлює таку характерну поведінку описуваних кривих. Межа вогнес-

тійкості балок без вогнезахисту склала 18-21 хвилину при «стандартному» характері розвитку пожежі.

На рис.14, б) наведено графіки температурно-часових залежностей у різних точках перерізу балки в умовах «стандартної» пожежі з вогнезахисним облицюванням з мінераловатних плит «Conlit SL150» товщиною 25 мм. Окрім того, визначено робочі товщини для забезпечення необхідних (нормативних) меж вогнестійкості для вогнезахисного покриття з мінераловатних плит «Rockwool» серії «Conlit SL150», вогнезахисного покриття «Натреск» і вогнезахисного покриття, що спучується, ППРО-СЕЙФ ФЛАМОПЛАСТ СП-А2.

П'ятий розділ присвячено практичній реалізації проведених досліджень. Запропоновані сталобетонні конструкції впроваджено під час розробки робочих проектів капітального ремонту Харківської філармонії по вул. Римарській, 21 та реконструкції дільниці третього розвантажувально-каналізаційного колектору глибиною 16 м, в межах шахти № 4, ПАТ «Харківський тракторний завод ім. С. Орджонікідзе» на проспекті Московський, 275 в м. Харків. Отримані методика розрахунку та тривимірні моделі дослідження НДС використовуються в навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту при підготовці студентів за напрямом 6.060101 «Будівництво», та при дипломному проектуванні спеціалістів та магістрів.

Проведене техніко-економічне порівняння розробленого та дослідженого конструктиву з залізобетонними аналогами за такими показниками, як трудомісткість та несуча здатність, дозволяє констатувати про конкурентоспроможність запропонованого сталобетонного несучого елемента, що працює на згин.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень конструкцій із зовнішнім армуванням сталевим листом при термосилової дії навантаження, а саме:

1. На основі проведеного аналізу існуючих підходів щодо оцінки напружено-деформованого стану конструкцій при температурному впливі зроблено висновок про необхідність урахування процесів тепло- і масопереносу в бетоні при розробці методики розрахунку конструкцій із зовнішнім листовим армуванням на термосиловий вплив.
2. Оскільки на етапі випаровування вільної вологи руйнування бетону можливе за рахунок високого внутрішньопорового тиску, при розрахунку НДС конструкції необхідна перевірка за величиною критичного напруження при розтяганні f_{ct} .
3. Розроблена математична і розрахункова методика для визначення їх вогнестійкості. Зіставлення теоретичних, експериментальних та числових результатів (похибка в межах 3-10 %) дозволяє судити про адекватність розроблених скінченно-елементних моделей для оцінки напружено-деформованого стану і несучої здатності конструкцій із зовнішнім листовим армуванням при силовому і температурному впливі.

4. Запропоновані й експериментально обґрунтовані ефективні варіанти вогнезахисту сталобетонних конструкцій із зовнішнім листовим армуванням, що дозволяють забезпечити межу їх вогнестійкості відповідно до ДБН В.1.2-7-2008.
5. Результати техніко-економічних розрахунків свідчать про ефективність використання сталобетонних конструкцій із зовнішнім листовим армуванням порівняно із залізобетонними: при однакових розмірах конструкції приріст несучої здатності склав 10-12 %; при однаковій несучій здатності - економія в матеріалах склала 15 %.
6. Результати проведених досліджень впроваджені в проектні рішення при реконструкції об'єктів промислового призначення в м. Харкові та навчальний процес Українського державного університету залізничного транспорту під час підготовки студентів і магістрів будівельних спеціальностей.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових фахових виданнях України:

1. Чихладзе Э.Д. Расчет бетонных цилиндрических колонн в стальной обойме на силовые воздействия / Э.Д. Чихладзе, А.Г. Кислов, А.В. Игнатенко // Вестник ХНАДУ. – Харьков: ХНАДУ, 2005. – Вып. 29. – С. 304–307. (*Особистий внесок: визначив контактні зусилля з урахуванням тривісного напруженого стану бетону*).
2. Игнатенко А.В. Напряженно-деформированное состояние сталобетонных колонн прямоугольного поперечного сечения при силовых и температурных воздействиях / А.В. Игнатенко // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов. – Днепропетровск: ПГАСА, 2005. – Вып. 35. Ч.1. – С. 253–256.
3. Ковалёв М.А. Несущая способность сталобетонных балок / М.А. Ковалёв, А.В. Игнатенко // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов. – Днепропетровск: ПГАСА, 2008. – Вып. 47. – С. 328–333. (*Особистий внесок: визначив несучу здатність сталобетонних балок за міцністю контакту листа з бетоном*).
4. Петров А.Н. Усиление железобетонных колонн зданий и сооружений пространственной обоймой, составленной из уголков и соединительных стержней / А.Н. Петров, А.В. Игнатенко // Науковий вісник будівництва. - Вип. 52. - Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2009. – С. 444–448. (*Особистий внесок: визначив контактні зусилля з урахуванням тривісного напруженого стану бетону при посиленні залізобетонних колон будівель та споруд просторовою обоймою*).
5. Петров А.Н. Численные расчеты брусковых колонн на внецентренное сжатие / А.Н. Петров, А.В. Игнатенко // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: «Зовнішрекламсервіс», 2010. – Вип. 38. – С. 505–510. (*Особистий внесок: провів порівняльний аналіз для восьми серій зразків з різними розмірами поперечного перерізу та різним значенням міцності бетону*).
6. Игнатенко А.В. Расчет бетонной колонны сплошного сечения со стальной обоймой / А.В. Игнатенко // Вестник ХНАДУ. – Харьков: ХНАДУ, 2011. – Вып. 52. – С. 60–63.

7. Петров А.Н. Работа бетонного ядра и стальной обоймы в трубобетоне в упругой стадии / А.Н. Петров, А.Г. Красюк, А.В. Игнатенко // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 129. – С. 188–196. (*Особистий внесок: аналітично визначив горизонтальні переміщення бетонного ядра та сталеві обойми в трубобетоні при осьовому навантаженні*).
8. Кобзева Е.Н. Расчет сталебетонных балок по несущей способности, исключаяющей работу растянутой зоны бетона / Е.Н. Кобзева, А.В. Игнатенко // Вестник ХНАДУ. – Харьков: ХНАДУ, 2012. – Вып. 58. – С. 119–123. (*Особистий внесок: запропонував алгоритм підбору розмірів поперечного перерізу бетону та сталевих листів сталебетонних балок за несучою здатністю при виконанні закону Гука*).
9. Веревичева М.А. Определение прочности сталебетонных балок при термосиловом воздействии с учетом граничных условий / М.А. Веревичева, Г.Л. Ватуля, А.В. Игнатенко // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. – Днепропетровск: ПГАСА, 2014. – Вып. 77. – С. 33–37. (*Особистий внесок: виконав аналіз основних досліджень та публікацій з визначення міцності сталебетонних балок при термосиловій взаємодії з урахуванням граничних умов*).

Міжнародні публікації чи в збірниках, що входять до міжнародних науково-метричних баз:

10. Ватуля Г.Л. Определение огнестойкости сталебетонных балок с подбором эффективной огнезащиты / Г.Л. Ватуля, Е.Ф. Орел, А.В. Игнатенко // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 144. – С. 119–123. (*Особистий внесок: розробив тривимірні комп'ютерні моделі, які враховують основні умови навантаження та опирання балок, а також нелінійні залежності «напруження-деформації» для бетону*).
11. Ватуля Г.Л. Численное моделирование работы сталебетонных балок при техстороннем нагреве / Г.Л. Ватуля, А.В. Игнатенко // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 148. Ч. 2. – С. 119–122. (*Особистий внесок: обробив результати чисельного моделювання балок із зовнішнім листовим армуванням, що працюють в умовах тристороннього нагріву*).
12. Орел Е.Ф. Напряженно-деформированное состояние изотропных плит с симметричной поперечной неоднородностью при термосиловом нагружении / Г.Л. Ватуля, А.В. Игнатенко // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2015. – Вип. 153. – С. 217–222. (*Особистий внесок: побудував розрахункові схеми ізотропних плит з симетричною поперечною неоднорідністю, розробив тривимірні комп'ютерні моделі з урахуванням граничних умов*).

Статті в збірниках за матеріалами конференцій:

13. Ignatenko A. Calculation of Continuous Section Bridge Hold with Steel iron Ring / A. Ignatenko, V. Martynov // Transport Means: Kaunas University of Techology, 2011 – С. 16–19. (*Особистий внесок: запропонував методику розрахунку сталебетонних колон при дії силових та температурних навантажень*).
14. Ватуля Г.Л. Термосиловые испытания сталебетонных балок с подбором рационального варианта огнезащиты / Г.Л. Ватуля, А.В. Игнатенко // Энергосберега-

- ющие технологии теплогазоснабжения, строительства и муниципальной инфраструктуры: материалы Междунар. науч.-практич. интернет-конф. / – Х.: ХНУГХ им. А.Н. Бекетова, 2013. – С. 198–199. (*Особистий внесок: побудував розрахункові схеми сталобетонних балок з вогнезахистом для аналізу їх вогнестійкості, розробив тривимірні комп'ютерні моделі з урахуванням граничних умов*).
15. Кобзева Е.Н. Алгоритм подбора размеров поперечного сечения сталобетонной балки / Е.Н. Кобзева, А.В. Игнатенко // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы Междунар. науч.-практич. конф. / Пермский национальный исследовательский технический университет. – Пермь: ПНИТУ, 2014. – С. 430-435. (*Особистий внесок: перевірів алгоритм підбору розмірів поперечного перерізу бетону та сталевого листа сталобетонних балок за несучою здатністю*).
16. Verevicheva M. Influence of support conditions on the strength of steel-concrete beam under thermal force impact / M. Verevicheva, G. Vatulia, A. Ignatenko // Transport engineering and management: Proceedings of the 17th Conference for Junior Reseachers / Vilnius, Lithuania, 2014. – С.279-282. (*Особистий внесок: виконав оцінку адекватності отриманих результатів шляхом порівняння даних міцнісного розрахунку з експериментальними даними*).

АНОТАЦІЯ

Игнатенко А.В. Напряжено-деформований стан сталобетонних конструкцій при термосилових впливах. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції будівлі та споруди. - Український державний університет залізничного транспорту, МОН України, Харків, 2015.

Дисертація присвячена дослідженню напружено-деформованого стану сталобетонних конструкцій в умовах температурного нагріву. Новизну роботи обумовлює запропоновані і експериментально обґрунтовані варіанти вогнезахисту сталобетонних конструкцій; розроблені комп'ютерні моделі для чисельного дослідження поведінки конструкції із зовнішнім листовим армуванням при термосиловому впливі; методика розрахунку НДС конструкцій з урахуванням не лінійності деформування бетону та сталі.

У роботі виконано аналіз теоретичних і експериментальних досліджень напружено-деформованого стану конструкцій при теплових, силових і термосилових впливах. Запропоновано та експериментально обґрунтовано ефективні варіанти вогнезахисту сталобетонних конструкцій із зовнішнім листовим армуванням, що дозволяють забезпечити необхідну межу їх вогнестійкості згідно з діючими нормативними документами. У роботі наведені техніко-економічні розрахунки ефективності використання сталобетонних конструкцій (плит та балок) із зовнішнім листовим армуванням у порівнянні з залізобетонними.

Результати проведених досліджень впроваджені в проектні рішення при реконструкції об'єктів промислового призначення в м. Харкові.

Ключові слова: напружено-деформований стан, сталобетонна конструкція, вогнезахист, зовнішнє листове армування, нагрів, температурні напруження, несуча здатність.

АННОТАЦИЯ

Игнатенко А.В. Напряженно-деформированное состояние сталебетонных конструкций при термосиловых воздействиях. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции здания и сооружения. – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2015.

Диссертация посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния сталебетонных конструкций в условиях температурного нагрева. Новизну работы обуславливают предложенные и экспериментально обоснованные варианты огнезащиты сталебетонных конструкций; разработанные компьютерные модели для численного исследования поведения конструкции с внешним листовым армированием при термосиловом воздействии; методика расчета НДС конструкции с учетом нелинейности деформирования бетона и стали.

В работе выполнен анализ теоретических и экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния конструкций при тепловых, силовых и термосиловых воздействиях.

Исследованы особенности поведения сталебетонных конструкций при высоких температурах. Показано, что в условиях действия высоких температур при разработке методики расчета конструкций с внешним листовым армированием на термосиловое воздействие необходимо учитывать поведение бетона как капиллярно-пористого тела, а также процессы тепло- и массопереноса в бетоне.

Предложены и экспериментально обоснованы эффективные варианты огнезащиты сталебетонных конструкций с внешним листовым армированием, позволяющие обеспечить требуемый предел огнестойкости в соответствии с действующими нормативными документами.

Разработаны трехмерные компьютерные модели, которые учитывают основные условия нагружения и опирания балок, а также нелинейные зависимости «напряжения-деформации» для бетона и внешнего армирования.

Оценка адекватности полученных результатов выполнялась путем сопоставления данных прочностного расчета с экспериментальными данными по разрушению сталебетонных балок при действии только силовой нагрузки и данными, полученными в результате конечно-элементного моделирования в программном комплексе ANSYS.

В работе приведены технико-экономические расчеты, которые позволяют судить об эффективности использования сталебетонных конструкций с внешним листовым армированием по сравнению с железобетонными. Показано, что при одинаковых размерах конструкции (балок) прирост несущей способности составляет 10-12 %; при одинаковой несущей способности экономия в материалах составляет 15 %.

Результаты проведенных исследований внедрены в проектные решения при реконструкции объектов промышленного назначения в г. Харькове.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, сталебетонная конструкция, огнезащита, внешнее листовое армирование, нагрев, температурные напряжения, несущая способность.

SUMMARY

Ignatenko A.V. Stress-Strained State of Steel-Concrete Structures under Thermal and Force Actions. – Manuscript.

The thesis for a candidate's degree (engineering) on specialty 05.23.01 – constructions, buildings and structures. Ukrainian State University of Railway Transport. Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2015.

The thesis is devoted to the research of the stress-strained state of steel-concrete constructions in conditions of temperature heating. The novelty of the work is determined by proposed and experimentally grounded versions of the fire barrier of steel-concrete constructions; the computer models for the numeric research of behavior of construction with external sheet reinforcement in thermal and force action have been worked out; the stress-strained state calculation procedure of the construction regarding to deformation non-linearity of concrete and steel.

The analysis of theoretical and experimental investigations of the stress-strained state of constructions under thermal, force and thermal and force actions has been performed in the work. The peculiarities of the steel-concrete construction behavior at high temperatures have been studied. Effective solutions of the fire barrier of steel-concrete structures with the external sheet reinforcement making it possible to operating normative documents are proposed and experimentally substantiated.

Technical and economical estimations of effectiveness application of steel-concrete structures (beams and plates) with the external sheet reinforcement by comparison with the reinforced concrete ones are given in the work.

The results of the performed investigations have been introduced into design solutions in reconstruction of industrial projects in Kharkov.

Key words: stress-strained state, steel-concrete structure, fire barrier, external sheet reinforcement, heating, temperature stresses, carrying capacity.

Підписано до друку 28.09.2015р.
Формат 60 x 84 1/16. Папір офсетний.
Друк на різнографі. Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 120 прим. Зам. № 358

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»
(ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВО4№022953)
М. Харків, вул. Червонопрапорна, 3 літер Б-1
Тел. 7-170-354

www.modelist.in.ua