

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

ТКАЧУК ІГОР АНАТОЛІЙОВИЧ



УДК 624.131.54+69.59.05

**МІЦНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН ПРИ
СИЛОВИХ І ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВАХ**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2021

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у ВАТ УкрНДІПроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського.

Науковий
керівник:

доктор технічних наук, професор
Голоднов Олександр Іванович,
Товариство з обмеженою відповідальністю
«Український інститут сталевих конструкцій імені
В.М. Шимановського», учений секретар.

Офіційні
опоненти:

доктор технічних наук, професор
Клименко Євгеній Володимирович,
Одеська державна академія будівництва та
архітектури, завідувач кафедри залізобетонних
конструкцій та транспортних споруд;

кандидат технічних наук, доцент
Спіранде Каріна Віталіївна,
Харківський національний університет будівництва та
архітектури, професор кафедри залізобетонних та
кам'яних конструкцій.

Захист відбудеться «13» травня 2021 року об 11 годині 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 і на сайті <http://kart.edu.ua>

Автореферат розісланий «12» квітня 2021 року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент



О.В. Лобяк

Загальна характеристика роботи

Актуальність теми. Конструкції будівель та споруд проектуються для сприйняття всіх навантажень і впливів. У зв'язку з цим надійність експлуатації, довговічність і безпечність будівель та споруд забезпечується завдяки використанню якісних матеріалів і технології виконання робіт з монтажу конструкцій. За час експлуатації несуча здатність конструкцій під впливом підвищеного силового навантаження, фізичного зносу, агресивного оточуючого середовища, високотемпературних впливів при пожежі (далі – різних впливових чинників) може знизитись. Більшість впливових чинників на конструкції носять випадковий характер, тому надійність будівельних конструкцій визначається методами теорії ймовірності.

Залізобетонні колони були і залишаються складовою частиною виробничих, житлових і громадських будівель та споруд. Такі конструкції працюють, як правило, на позацентровий стиск. Крім колон, на позацентровий стиск працюють пояси залізобетонних ферм, ригелі багатопверхових будівель тощо.

Досвід експлуатації таких елементів свідчить про їхній достатній запас несучої здатності за умов відсутності непередбачуваних впливів. Як одна з найбільш істотних причин підвищеної небезпеки розглядається нерівномірний нагрів і зміна характеристик міцності та деформативності матеріалів (бетону й арматури) при пожежі. У зв'язку з цим виникає необхідність в проведенні робіт із обстеження, оцінки технічного стану та відновлення експлуатаційної придатності існуючих конструкцій і прогнозування зміни їхнього технічного стану в часі. За цих умов необхідно також передбачувати можливість руйнування при дії різних чинників, зокрема, високотемпературних впливів, з подальшим використанням захисних заходів. При цьому необхідно вирішувати питання, що пов'язані з визначенням напружено-деформованого стану (НДС) і виконанням робіт із подовження терміну експлуатації як окремих конструкцій, так і будівель та споруд в цілому.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації прямо пов'язана та відповідає актуальним напрямкам науково-технічної політики України в галузі оцінки технічного стану будівельних конструкцій відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України №409 від 5 травня 1997 р. «Про забезпечення надійності та безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж».

Дисертацію виконано в рамках науково-дослідної роботи кафедри будівельних конструкцій ДонДТУ (м. Алчевськ) за темою «Вплив локальних термічних дій на міцність і стійкість елементів металевих будівельних конструкцій» (№ДР 0109U008624) і науково-дослідної роботи кафедри будівельних конструкцій ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України (м. Черкаси) «Прогнозування технічного стану будівельних конструкцій при дії силових, деформаційних та високотемпературних впливів» (№ ДР 0113U004019).

Частину робіт виконано за рахунок господарських договорів з проектування, обстеження та визначення технічного стану конструкцій, будівель та споруд.

Мета роботи полягає у виявленні особливостей роботи, оцінки НДС і несучої здатності залізобетонних колон при силових і високотемпературних впливах.

Завдання досліджень:

- узагальнити результати досліджень в області визначення НДС і несучої здатності залізобетонних колон та інших конструкцій, які працюють на позацентровий стиск, при силових і високотемпературних впливах;
- для конструкцій колон будівель із залізобетонним каркасом запропонувати критерії визначення параметрів НДС і технічного стану при силових і високотемпературних впливах для оцінки можливості подальшої експлуатації або розробки заходів щодо відновлення конструкцій шляхом ремонту, посилення або заміни;
- провести експериментальні дослідження арматури різних класів на розтяг при підвищених температурах для отримання аналітичних залежностей, які визначають зміну характеристик міцності при нагріві;
- удосконалити методику експериментальних досліджень та провести випробування залізобетонних колон на вогнестійкість з визначенням характеристик міцності бетону в перерізі після нагріву;
- удосконалити комп'ютерну модель визначення несучої здатності конструкцій при силових і високотемпературних впливах з урахуванням особливостей розподілу температури по перерізу колон;
- впровадити отримані результати при вирішенні практичних задач.

Об'єкт досліджень – несуча здатність залізобетонних колон при силових і високотемпературних впливах.

Предмет досліджень – ступінь впливу силового навантаження і високих температур на напружено-деформований стан і несучу здатність залізобетонних колон.

Методи досліджень. В роботі використані наступні методи досліджень:

- аналіз літературних джерел;
- теоретичні та чисельні дослідження залізобетонних каркасів;
- комп'ютерне моделювання НДС залізобетонних колон;
- методи експериментального визначення вогнестійкості колон.

Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше:

- на основі проведених досліджень встановлені аналітичні залежності, які дозволяють визначити характеристики міцності арматури при нагріві до різних температур;
- на основі проведених експериментальних досліджень встановлені величини фізико-механічних характеристик арматури та бетону після випробувань залізобетонних колон на вогнестійкість;
- розроблено методику визначення НДС і технічного стану залізобетонних колон при силових і високотемпературних впливах на основі отриманих автором аналітичних залежностей.

Отримали подальший розвиток:

- методика експериментальних досліджень залізобетонних колон, яка дозволяє після випробувань на вогнестійкість визначити характеристики бетону й арматури руйнівними методами;
- методика розрахунку несучої здатності залізобетонних колон при спільній дії силових і високотемпературних впливів з урахуванням зміни характеристик міцності та деформативності матеріалів.

Практичне значення отриманих результатів. На основі проведених досліджень розроблено методи визначення контрольованих параметрів залізобетонних колон після силових і високотемпературних впливів, розрахунку НДС і оцінки технічного стану з обґрунтуванням можливості подальшої експлуатації конструкцій, будівель та споруд в цілому. Запропоновані підходи дозволяють враховувати зміну властивостей бетону й арматури залізобетонних конструкцій, які працюють на позацентровий стиск, після силових і високотемпературних впливів. Результати дисертаційних досліджень знайшли впроваджені при вирішенні наступних практичних задач:

- при проведенні обстежень, розрахунках конструкцій, визначенні технічного стану конструкцій будівлі цеху ПАТ «Текстемп» за адресою вул. Колекторна, 30 в м. Києві після пожежі;
- розрахунку на вогнестійкість колон будівлі бізнес-центру за адресою пр. Богдана Хмельницького, 102 в місті Донецьку.

Особистий внесок здобувача:

Основні результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно, а саме:

- виконано підбір, узагальнення й аналіз отриманих раніше результатів, формулювання мети та завдань досліджень;
- розроблено методики та проведено експериментальні дослідження арматури різних класів при підвищених температурах;
- отримано аналітичні залежності, які дозволяють визначити зміну характеристик міцності арматури при нагріві до температур від 100 до 700°C;
- розроблено методики та проведено експериментальні дослідження залізобетонних колон на високотемпературні впливи з метою визначення їх вогнестійкості та характеристик бетону і арматури;
- удосконалено методики розрахунку залізобетонних колон при силових і високотемпературних впливах;
- виконано розрахунки реальних конструкцій на вогнестійкість і несучу здатність при силових і високотемпературних впливах.

Окремі положення досліджень виконані у співавторстві, відображені в переліку наукових публікацій.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися і отримали підтримку на науково-практичних конференціях різного рівня: колоквиумі «Розрахунок і проектування просторових конструкцій» (м. Скадовськ, Україна, 7-10 вересня 2009 року); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології і методи розрахунків у будівництві» (м. Луцьк, 4-6 жовтня 2009 р.); IV Міжнародній науково-технічній конференції «Баштові споруди: матеріали, конструкцій, технології» (м. Макіївка, 17-19 листопада 2009 р.); 3-ій міжнародній науково-практичній конференції «Математичні моделі процесів у будівництві» (м. Луганськ, 24-25 березня 2010 р.); VI Міжнародній науково-технічній конференції «Будівельні конструкції спортивних та просторових споруд: сьогодення та перспективи розвитку» (м. Київ, 6-10 вересня 2010 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія та практика ліквідації надзвичайних ситуацій» (м. Черкаси, 02-03 грудня 2010 р.); Шостій Всеукраїнській науково-технічній конференції «Науково-технічні

проблеми сучасного залізобетону» (м. Одеса, 24-27 травня 2011 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Пожежна безпека: теорія і практика» (м. Черкаси, 7 жовтня 2011 р.); III-й та IV-й Міжнародних науково-практичних конференціях «Надзвичайні ситуації: безпека та захист» (Черкаси, 2013 – 2014 рр.); Міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Проектування, виготовлення і монтаж сталевих конструкцій. Досвід та перспективи розвитку» (Київ, 2013 р.); V Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (м. Харків, 2015 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 18 наукових працях, з яких 12 статей у виданнях, що входять до переліку фахових видань України, в тому числі 3 у виданнях, що включено до міжнародних наукометричних баз, 3 праці апробаційного характеру, 3 додаткові публікації.

Структура і об'єм роботи. Дисертація складається із анотацій, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації складає 165 сторінок, із них 124 сторінок – основна частина тексту. У тексті міститься 44 рисунки, 16 таблиць, список використаних джерел обсягом 122 найменувань, 3 додатки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі викладено загальну характеристику роботи, яка включає актуальність, зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, мету, задачі, характеристики об'єкта і предмета дослідження, методи досліджень, наукову та практичну цінність результатів роботи, відомості про впровадження і апробацію результатів досліджень, особистий внесок здобувача, характеристику публікацій, структуру та обсяг дисертації.

Перший розділ присвячено аналізу сучасних методів розрахунку та проектування лінійних залізобетонних елементів каркасу (колон, ригелів) будівель та споруд різного призначення при силових і високотемпературних впливах.

Пропозицій по врахуванню нелінійних властивостей залізобетону в даний час існує достатньо багато. Рішенню цього питання присвячені численні роботи наукових шкіл НДІЗБ, МДБУ, НДІБК, НДІАСБ, КНУБА та ін.

Особливістю запропонованих дослідниками методів розрахунку можна вважати використання різних передумов щодо роботи бетону. Розглядаються такі моделі роботи матеріалу – пружна, пружнопластична або пластична. Застосування запропонованих моделей вимагає використання відповідних діаграм бетону «напруження–деформації».

В даний час накопичено чималий досвід експериментального отримання діаграм. На залежність « $\sigma - \varepsilon$ » бетону внаслідок повзучості впливає швидкість навантаження. У деяких роботах наголошуються інші чинники впливу, наприклад, градієнти напружень і деформацій тощо.

Сучасні методи розрахунку залізобетонних конструкцій використовують повну (із спадаючою гілкою) діаграму деформування бетону.

Діаграму деформацій бетону можна описати поліномом п'ятого ступеня, статичною функцією Бюльфінгера, рівнянням Л.Онїщика, залежностями А.Бамбури, Ш.Поповича, Ю.Гуці, М.Зака, М.Карпенка, Т.Мухамедієва та ін., а також залежністю, яка прийнята в вітчизняних нормах.

Зі всього різноманіття пропозицій щодо опису діаграми « $\sigma - \varepsilon$ » бетону найбільший практичний інтерес мають пропозиції ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК), відповідно до яких деформація бетону при стиску описується поліномом 5 ступеню. Ця модель прийнята в чинних нормах проектування залізобетонних конструкцій (ДБН В. 2.6-98:2009).

Класифікація навантажень, що використовується в ДБН В.1.2-2:2006, дозволяє віднести випадок пожежі до особливих впливів. Випробування на вогнестійкість виконуються за стандартизованими методиками. Такі випробування трудомісткі, потребують матеріальних витрат і наявності спеціального обладнання.

Визначення межі вогнестійкості всіх конструкцій стандартними випробуваннями практично неможливо. На основі аналізу результатів випробувань на вогнестійкість розроблено методи розрахунку межі вогнестійкості різних типів залізобетонних конструкцій, які складаються з теплотехнічного і статичного розрахунку. Межу вогнестійкості окремої конструкції можна також визначити приблизно по таблицях і рекомендаціях, які отримано на основі аналізу результатів випробувань залізобетонних елементів по стандартних методиках. Дослідження поведінки конструкцій під час високотемпературних впливів проводили Б.Бертелемі, Ж.Крюпа, О.Кричевський, А.Яковлев, А.Мілованов, І.Мосалков, С.Поздєєв, Г.Плюсїна, О.Фролов, С.Фомін, Б.Демчина, В.Корсун, Л.Като, Л.Кравців, О.Некора та ін.

Наявність результатів виконаних раніше досліджень дозволяє визначити вплив пружно-пластичних характеристик бетону й арматури при різних впливових чинниках шляхом використання деформаційних моделей залізобетону.

Пожежне навантаження на конструкції та будівлі в цілому може виникнути за любых умов експлуатації. В чинних нормах проектування залізобетонних конструкцій відсутні розрахункові методики та пропозиції з розрахунку, які б забезпечили вогнестійкість конструкцій на стадії проектування для подальшої безпечної експлуатації при дії високих температур.

Передумови та допущення для врахування непружних властивостей бетону при різних впливових чинниках, не повинні протирічити загальним уявленням про роботу конструкцій. Залежності для врахування зміни модуля пружності та міцності для різних бетонів, а також арматури різних класів в залежності від температури як для проєктованих конструкцій, так і тих, що знаходяться в експлуатації, можна приймати за даними проведених експериментальних досліджень. При цьому можливе їх пряме використання (тобто підставленням експериментально отриманих значень окремих характеристик) або за допомогою апроксимуючих залежностей, які отримано після обробки даних, наприклад, методом найменших квадратів.

Існуючі методики розрахунку залізобетонних конструкцій не дозволяють визначити залишкову несучу здатність експлуатованих конструкцій, особливо тих, що потерпіли від впливу високих температур при пожежі. Для визначення НДС і залишкової несучої здатності з урахуванням різних чинників впливу необхідно розробити відповідну методику, яка ґрунтується на методі розрахунку залізобетонних конструкцій за граничними станами. Розрахунки конструкцій із залізобетонним каркасом доцільно проводити із залученням сучасних програмних комплексів (ПК), що реалізують метод скінченних елементів (МСЕ).

На основі аналізу результатів попередніх досліджень зроблено висновки, сформульовано мету та завдання досліджень.

У другому розділі викладено методичний підхід до оцінки технічного стану конструкцій будівель із залізобетонним каркасом.

Основною метою проведення робіт із оцінки технічного стану конструкцій будівель та споруд залишається визначення можливості їхньої подальшої експлуатації. Оцінка проводиться шляхом визначення технічного стану конструкцій і споруди в цілому на основі аналізу технічної документації на період проектування, будівництва і експлуатації, а також результатів технічних оглядів і виконання перевірочних розрахунків.

Оцінка технічного стану будівельних конструкцій проводиться шляхом зіставлення контрольованих (визначальних) параметрів, які отримують в ході проведення візуального та інструментального обстежень, з відповідними проектними параметрами, а також за результатами перевірочних розрахунків.

Фактичні значення визначальних параметрів порівнюють з критеріями, які для кожної конструкції встановлюються на основі аналізу наявної технічної та чинної нормативної документації. Ознаки технічного стану несучих залізобетонних конструкцій наведено у відповідних нормативних документах і рекомендаціях.

У розділі також наведено особливості визначення технічного стану конструкцій після пожежі. Наведено дані про практичне використання розроблених пропозицій при визначенні технічного стану конструкцій будівлі цеху ПАТ «Текстемп» за адресою вул. Колекторна, 30 в м. Києві після пожежі.

За стандартним температурним режимом колони, як несучі елементи, мають відповідати граничному стану з вогнестійкості за ознакою втрати несучої здатності (R). Такий граничний стан з вогнестійкості вважається забезпеченим, якщо несуча здатність зберігається протягом необхідного часу під час вогневого впливу.

Розраховують конструкції під час пожежі згідно з положеннями п. 5.1.4 ДСТУ-Н Б В.1.2-13:2008 (EN 1990:2002, IDN).

Оцінка вогнестійкості може бути виконана з урахуванням результатів вогневих випробувань або шляхом поєднання результатів вогневих випробувань та розрахунків.

Навантаження на конструкцію приймають як для розрахунку за нормальних температур, якщо є ймовірність їхньої дії під час пожежі. Навантаження на конструкцію під час пожежі приймають згідно з вимогами чинних нормативних документів.

Зусилля та деформації у перерізі, нормальному до поздовжньої осі елемента, визначають виходячи з передумов, які наведено в ДБН В. 2.6-98:2009.

Розрахунки залізобетонних конструкцій каркасу будівлі виконуються з використанням залежностей, які враховують зміну характеристик міцності бетону при силових, високотемпературних впливах та при тривалій дії навантаження. За таких умов міцність бетону можна визначати за формулою:

$$f_{cd,tem} = \alpha_{tem} \cdot \alpha_{cd} \cdot f_{cd}, \quad (1)$$

де α_{cd} – коефіцієнт, який враховує збільшення деформативності бетону при тривалому навантаженні; α_{tem} – коефіцієнт, що враховує зміну характеристик міцності бетону при нагріванні.

Для області лінійної повзучості можна записати в першому наближенні наступні залежності для $\alpha_{cd} = f(\varphi_c)$:

$$\alpha_{cd} = \frac{1}{(1 + \varphi_c)}, \quad (2)$$

де φ_c – характеристика повзучості (за умови неврахування повзучості $\varphi_c = 0$).

Залежності зміни характеристик міцності (на ділянці від 60°C до 700°C) та деформативності (на ділянці від 120°C до 800°C) важкого бетону від температури можуть бути прийняті у вигляді наступних залежностей, які отримано М.М. Семиногом після обробки експериментально отриманих залежностей А.Ф. Мілованова:

$$\alpha_{tem} = 0,6184 + 0,232 \cdot \left(\frac{T}{100}\right) - 0,03608 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^2; \quad (3)$$

$$\frac{E_{c,tem}}{E_c} = 1,2 - 0,14 \cdot \left(\frac{T}{100}\right) - 0,0012 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^2. \quad (4)$$

Графіки, які побудовано за формулами (3) і (4), наведено на рис. 1.

Графіки залежності « $\alpha_{tem} - T$ » (крива 2), яку побудовано за формулою (3) наведено на рис. 1, а). На цьому рисунку також наведено криву 1, яку побудовано за даними А.Ф. Мілованова.

На рис. 1, б) наведено графіки залежності « $E_{c,tem} / E_c - T$ » (крива 2), які побудовано за формулою (4).

Криві 1, які побудовано за результатами досліджень А.Ф. Мілованова, наведено на рис. 1 для оцінки достовірності запропонованих формул (3) і (4).

Розрахунок на вогнестійкість базується на проектних сценаріях пожежі і враховує моделі зростання температури в границях конструкції та моделі механічної роботи конструкції за підвищеної температури.

Для визначення межі вогнестійкості розрахунковим методом з урахуванням наведених передумов, допущень і методик запропоновано виконати розрахунки в такій послідовності:

- задаються окремими проміжками часу нагріву конструкції $\tau_1 \dots \tau_i$;
- переріз залізобетонного елемента розбивають на квадратні елементи однакових розмірів для заданих проміжків часу $\tau_1 \dots \tau_i$ теплотехнічним розрахунком або за допомогою графіків визначають розподіл температури в перерізі конструкції;

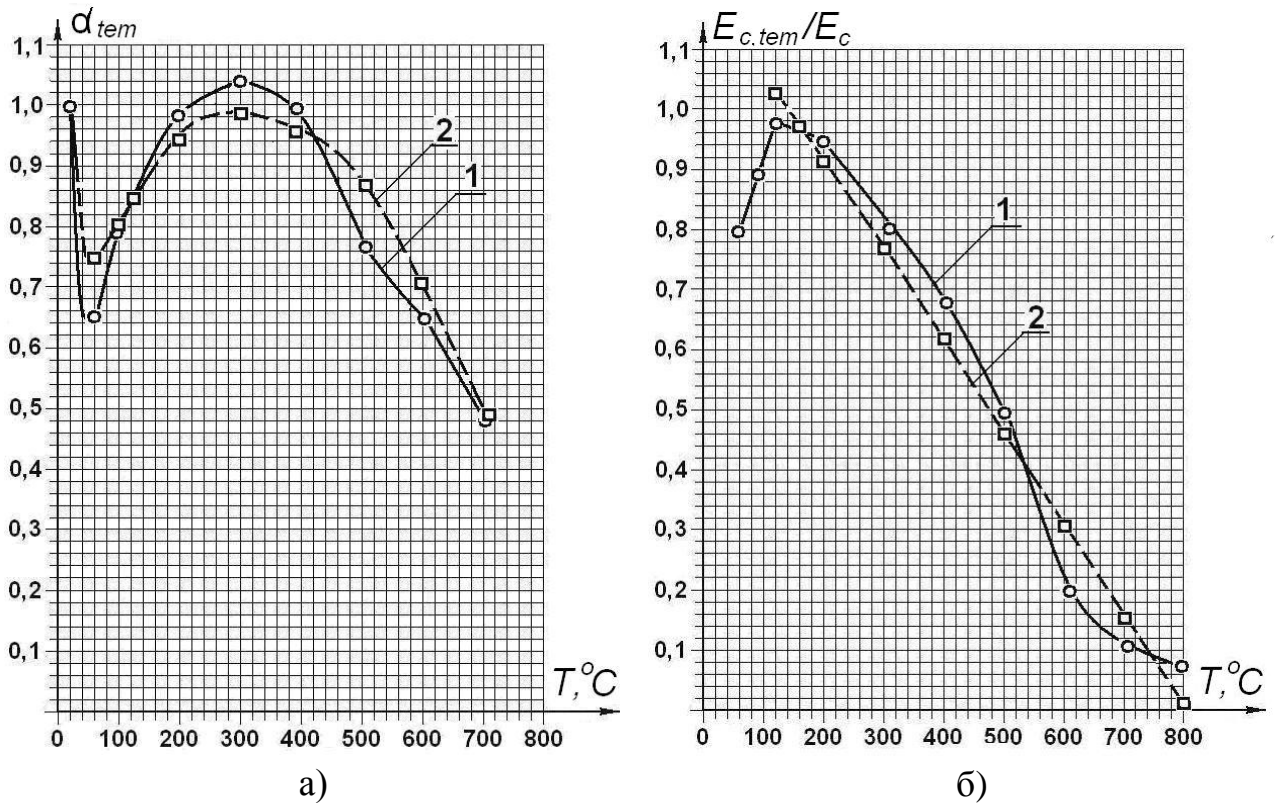


Рис. 1. Графіки для важкого бетону: а) залежності « $\alpha_{tem} - T$ »;
б) залежності « $E_{c.tem} / E_c - T$ »

– для заданих проміжків часу $\tau_1 \dots \tau_i$ і, відповідно розподілів температури по перерізу за допомогою розробленого алгоритму отримують залежності «момент–кривизна», а також величини несучої здатності перерізу колони $F_{tem1} \dots F_{temi}$. За отриманими даними будують графік зниження несучої здатності перерізу в часі « $F_{tem} - \tau$ », загальний вигляд якого наведено на рис. 2;

– статичним розрахунком з використанням відомих методів будівельної механіки для цих же проміжків часу визначають НДС конструкції з урахуванням зміни характеристик жорсткості та механічних характеристик бетону й арматури. Найбільш сприятливі результати можна отримати при моделюванні конструкції методом скінчених елементів (МСЕ);

– визначається значення межі вогнестійкості R , тобто часу, при якому несуча здатність конструкції знизиться до величини внутрішніх силових чинників $M_{p,\theta}$ від величини характеристичного навантаження, тобто до виконання умови:

$$F_{\theta} = M_{p,\theta} \leq M_n; \quad (5)$$

– температура, при якій буде виконано умову (5), і буде критичною T_{cr} .

Розрахунок межі вогнестійкості для залізобетонних конструкцій виконується відповідно з вимогами чинних нормативних документів із залученням сучасних програмних комплексів.

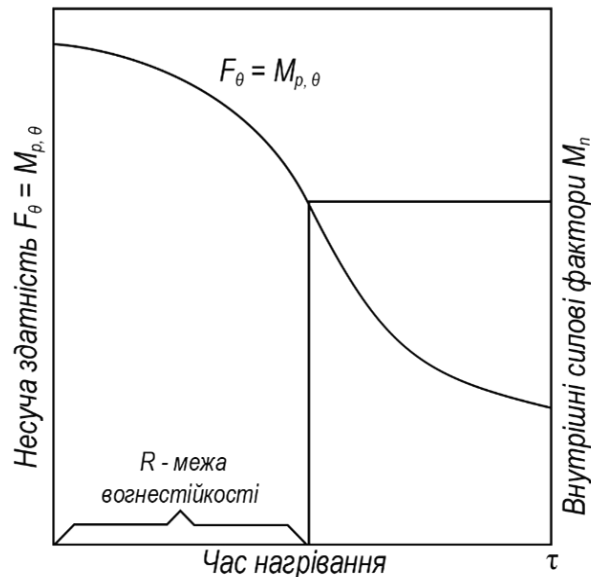


Рис. 2. Загальна схема розрахунку межі вогнестійкості за ознакою втрати несучої здатності

Прийняті передумови про розподіл напружень в бетоні дозволяють істотно спростити рішення задачі у порівнянні з розв'язанням, яке базується на умовно-точній діаграмі " $\sigma - \varepsilon$ " бетону. Відповідно до прийнятих передумов, НДС перерізу описується системою рівнянь:

$$F(\chi, \varepsilon_1) - N = 0; \quad (6)$$

$$\Phi(\chi, \varepsilon_1) - M = 0, \quad (7)$$

де $\chi = 1/R$ – кривизна зігнутої осі в перерізі (R – радіус кривизни перерізу); ε_1 – найбільша деформація стислого бетону в перерізі.

У третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень зміни характеристик міцності арматури при високотемпературних впливах і вогнестійкості колон.

Для отримання експериментальних даних, які б свідчили про характер деформування і руйнування сталеві арматури під час впливу високих температур, було проведено дослідження зразків арматурної сталі різних класів (A240C, A400C, A500C, A600C) за ДСТУ 3760:2019. Зразки, які було виготовлено з одного стрижня арматурної сталі, мали однакове маркування.

Програмою випробувань передбачалось:

- проведення хімічного аналізу для уточнення класу арматурної сталі;
- проведення випробувань виготовлених зразків при термічних впливах;
- проведення стандартних випробувань зразків на розтяг;
- визначення за результатами випробувань класу арматурної сталі.

Випробувались зразки 4 серій, які були вилучені зі стержнів арматурної сталі класів A240C, A400C, A500C, A600C відповідно. Довжина кожного із зразків, які були взяті з прутів, становила 400 мм. Частина зразків було випробувано в стані постачання при кімнатній температурі на розривній машині ГРМ-2М.

Для проведення випробувань при термічних впливах з арматурної сталі $\varnothing 12$ мм на токарному верстаті виготовлялись зразки згідно вимог ГОСТ 1497-84. Довжина зразків становила 100 мм, діаметр робочої частини становив 6 мм. Випробування проводились на розривній машині УМ-4Р.

Нагрівання зразків до максимальної температури 700°C виконувалось за допомогою трубчастої електропечі. Температуру нагріву контролювали за допомогою термопар «платина-родій-платина» і фіксували за допомогою приладу КСП-3П.

Після встановлення зразка в розривну машину виконувався розігрів зразка до фіксованої температури (100°C , ..., 700°C з інтервалом 100°C). Після витримки при фіксованій температурі протягом 30 хв. виконувалось випробування на розтяг протягом 2-3 хв.

В ході проведення вищезазначених випробувань отримано такі результати.

1. Для всіх випробуваних зразків залежність межі міцності від температури має схожий характер: при зміні температури від 20°C до $200\text{...}300^{\circ}\text{C}$ межа міцності збільшується, а потім починає зменшуватись. При температурі 700°C межа міцності дорівнює приблизно 0,1 від величини межі міцності при 20°C (рис. 3).

2. Межа текучості для всіх випробуваних зразків із збільшенням температури зменшується і має вигляд пологої кривої (рис. 4).

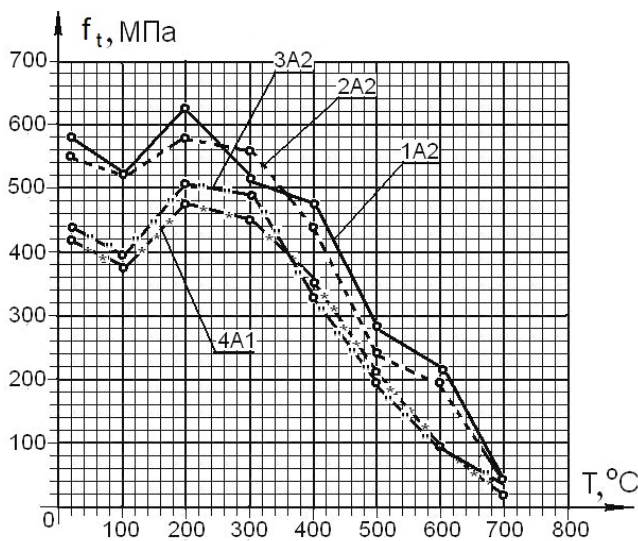


Рис. 3. Залежності міцності арматури на розтяг від температури

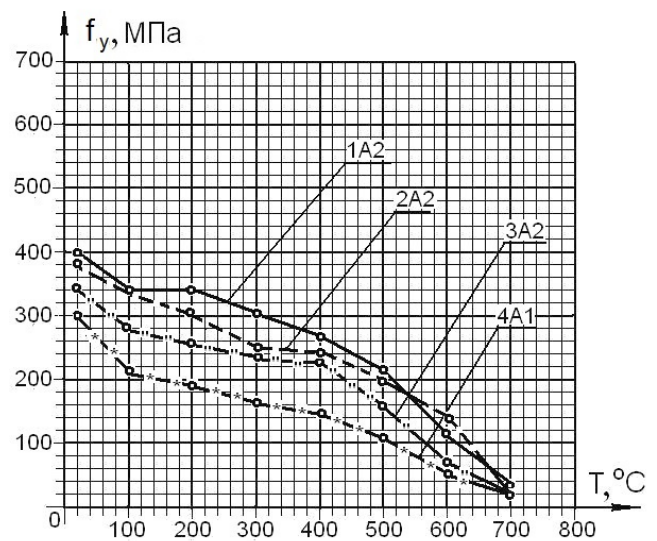


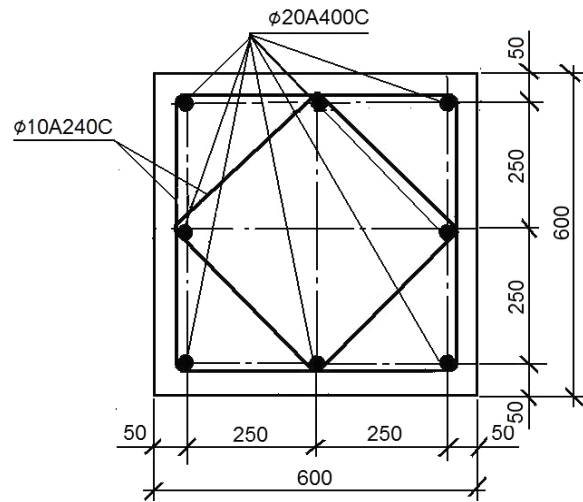
Рис. 4. Залежності міцності арматури на границі текучості від температури

Для випробувань на вогнестійкість було виготовлено два однакові зразки залізобетонних колон перерізом 600×600 мм заввишки 2000 мм. Зразки було виготовлено на Броварському ЗБВ у металевій опалубці.

Кожний зразок мав несучий каркас, який складався з восьми поздовжніх арматурних стержнів $\varnothing 20$ мм А400С за ДСТУ 3760:2019. Поперечна арматура прийнята $\varnothing 10$ мм А240С і була встановлена по зовнішньому контуру поздовжніх арматурних стержнів. Крім того, було встановлено арматуру $\varnothing 10$ мм А240С, яка об'єднала між собою центральні стержні по кожній грані. В зразках використано бетон класу за міцністю С20/25 (рис. 5).



а)



б)

Рис. 5. Вигляд встановлених арматурних каркасів:
а) в опалубці; б) запроєктоване армування колони

Для встановлення характеристик застосованих матеріалів було проведено експериментальні дослідження допоміжних зразків бетону й арматури. Крім того, було виконано визначення міцності бетону в колонах ультразвуковим методом за ДСТУ Б В.2.7-226:2009.

Випробування на вогнестійкість виконано на відповідному обладнанні ТОВ “ТЕСТ”. Було використано випробувальну піч та відповідні засоби вимірювальної техніки.

Характеристики арматури визначались за результатами стандартних випробувань зразків, які було вилучено з арматурних стержнів.

Оскільки колони випробувались без навантаження, межу вогнестійкості за ознакою втрати несучої здатності (ознака **R**) було визначено з урахуванням розподілу температур по перерізу колони. Час втрати несучої здатності визначали по перевищенню середньої температури стержнів несучої арматури над початковим значенням цієї температури на 480°C . Для вимірювання температури поздовжньої арматури зразків під час випробувань на чотирьох арматурних стержнях кожного зразка було встановлено термопари ТХА. Для отримання розподілення значень температури по перерізу зразка було встановлено по п'ять термопар ТХА.

Втрата несучої здатності зразка №1 під час випробувань відбулась на 152 хв., оскільки значення середньої температури ($T_{1,cp}$) поздовжньої несучої арматури зразка перевищила початкове значення на 480°C .

Зразок №2 під час випробувань протягом 160 хв. несучої здатності не втратив, оскільки значення середньої температури несучої арматури зразка не перевищило початкове значення на 480°C .

Після випробувань було проведено обстеження колон, за результатами якого було встановлено суттєві руйнування поверхневих шарів у вигляді тріщин.

Після випробувань було виконано розрізання колони №1 з метою визначення характеру руйнування та характеристик бетону в перерізі. Встановлено, що в кутових зонах і по периметру відбулося руйнування бетону з утворенням тріщин по колу, а в центральній частині – сформовано ядро, яке майже не зазнало руйнувань (рис. 6).



Рис. 6. Зовнішній вигляд перерізу колони після розрізання

Четвертий розділ присвячено розробці методів визначення межі вогнестійкості залізобетонних колон.

Удосконалено методу розрахунку вогнестійкості та міцності залізобетонних колон, яка дозволяє за прийнятих передумов і допущень визначити розподіл температури в перерізі колони при нагріванні. Розрахунок виконується за допомогою сучасного ПК (ANSYS), який засновано на застосуванні МСЕ. Розподіл температури в перерізі колони дозволяє врахувати зміну характеристик міцності та деформативності матеріалів при подальших розрахунках несучої здатності та вогнестійкості.

При визначенні розподілу температур в елементах залізобетонних конструкцій, який виникає при вогневому впливі при пожежі, враховано, що процес теплообміну є нестационарним і може бути описаний математичною моделлю, яка містить нелінійні рівняння теплопровідності та граничні умови.

З використанням загального підходу, а також геометрії колони було виконано розрахунки температурних розподілів в колоні для різних проміжків нагріву. На рис. 7 наведено результати розрахунків для часу нагрівання 15 хв., 60 хв., 150 хв.

На рис. 8 наведено температурні криві прогрівання арматури залізобетонної колони. Порівняння наведених результатів розрахунку з експериментальними даними свідчить про можливість використання наведеного методу розрахунку залізобетонних колон на вогнестійкість в практичних цілях.

Запропоновано методу розрахунку вогнестійкості залізобетонних колон на основі статичного розрахунку. Такий розрахунок дозволяє на основі отриманих раніше даних визначити розподіл температури по перерізу і виконати оцінку несучої здатності з урахуванням зменшення характеристик міцності та деформативності матеріалів.

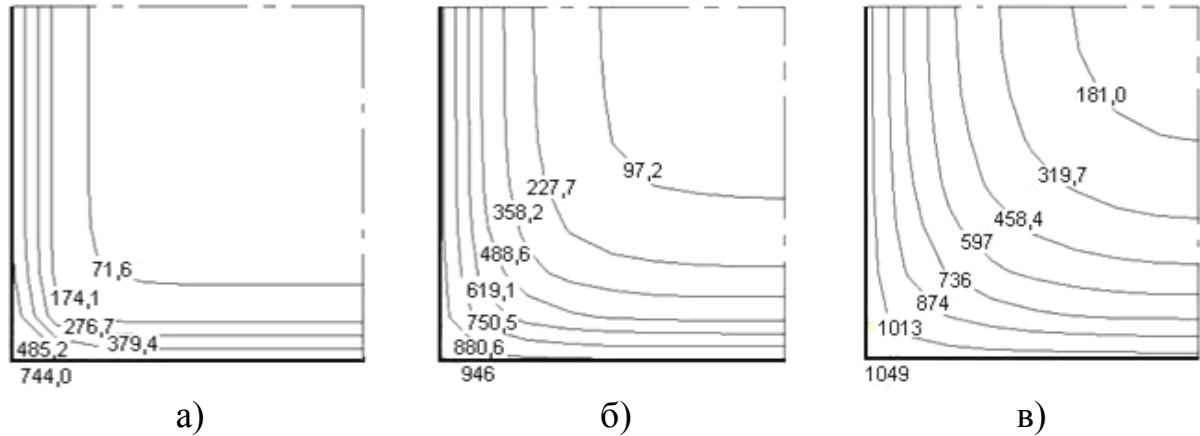


Рис. 7. Температурні розподіли (градуси С) для проміжків часу:
а) 15 хв.; б) 60 хв.; в) 150 хв.

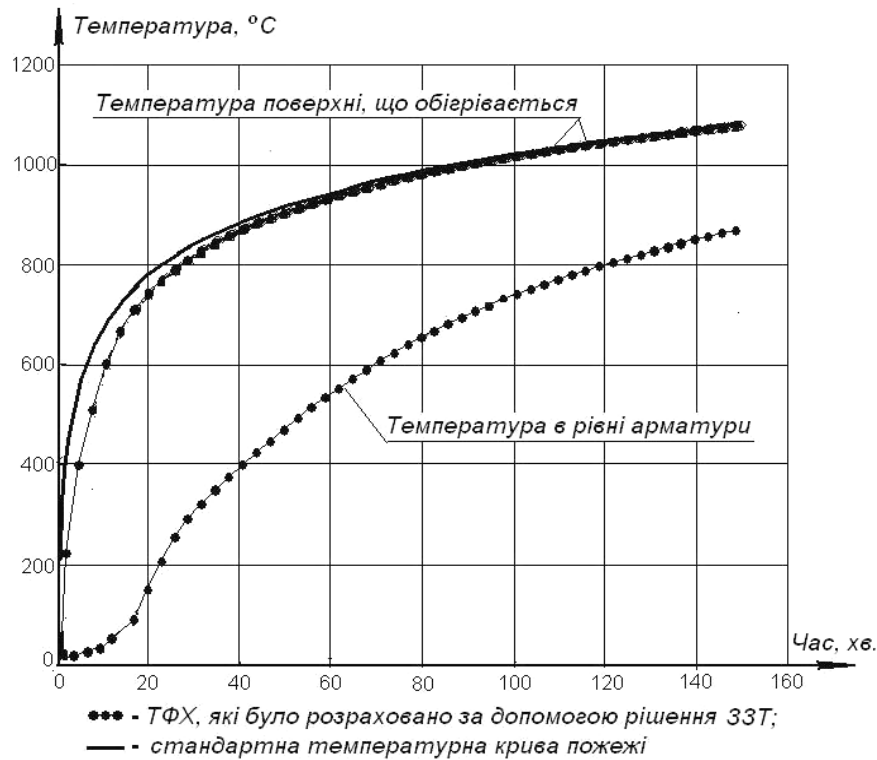


Рис. 8. Температурні криві прогрівання арматури колони

Зниження розрахункового опору арматурної сталі можна врахувати шляхом введення коефіцієнта зниження опору в залежності від температури K_s , функцію для розрахунку якого можна встановити в першому наближенні за отриманими експериментальними даними. Для різних класів арматури з використанням методу найменших квадратів встановлено аналітичні залежності:

- для арматури класу А240С

$$K_s^{240} = 1 - 0,134 \cdot \left(\frac{T}{100} \right) + 0,0016 \cdot \left(\frac{T}{100} \right)^2; \quad (8)$$

- для арматури класу А400С

$$K_s^{A400} = 0,91 - 0,04 \cdot \left(\frac{T}{100}\right) - 0,0106 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^2; \quad (9)$$

- для арматури класу А500С

$$K_s^{A500} = 0,942 - 0,046 \cdot \left(\frac{T}{100}\right) - 0,0115 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^2; \quad (10)$$

- для арматури класу А600С

$$K_s^{A600} = 0,951 - 0,025 \cdot \left(\frac{T}{100}\right) - 0,0131 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^2. \quad (11)$$

Крім того, було отримано рівняння для визначення усередненого значення коефіцієнта зниження опору. Воно має наступний вигляд:

$$K_s^{red} = 1 - 0,06 \cdot \left(\frac{T}{100}\right) - 0,01 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^2. \quad (12)$$

Як приклад застосування запропонованої методики наведено результати визначення межі вогнестійкості залізобетонних колон перерізом 600x600 мм, які було випробувано на вогнестійкість. Розподіл температур в різні проміжки часу розраховано і наведено на рис. 7, 8. На рис. 9 наведено графік залежності величини коефіцієнта зниження несучої здатності K_u , який являє собою відношення несучої здатності колони після заданого часу нагрівання до несучої здатності при температурі 20°C, від часу нагрівання.

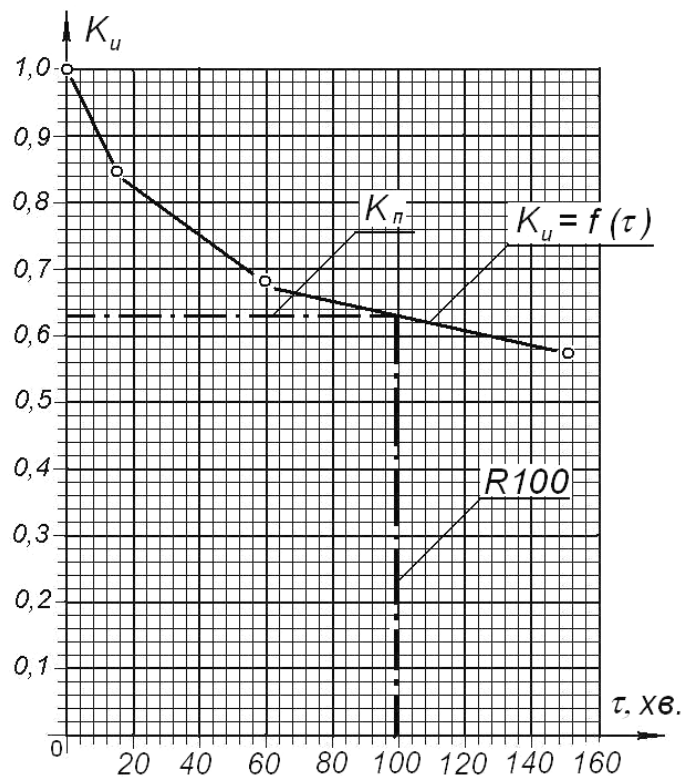


Рис. 9. Графік залежності величини коефіцієнта K_u

На цьому ж рисунку наведено алгоритм визначення вогнестійкості конструкцій на основі статичного розрахунку. Пряма лінія (K_n) являє собою величину внутрішніх силових чинників.

Виконання умови (5) дозволяє визначити межі вогнестійкості колони залежно від чинних навантажень K_n .

Дослідження бетону колони після випробувань на вогнестійкість дозволили встановити залишкову несучу здатність, тобто врахувати зниження міцності бетону і арматури після впливу високої температури. Залишкова несуча здатність дорівнює $N_{rez} = 2,37 \cdot 900 + 1,65 \cdot 2700 + 45,4 \cdot 25,13 = 7728$ кН.

Таким чином, залишкова несуча здатність колони після впливу високих температур становить 7728 кН, що відповідає $K_u = N_{rez} / N_0 = 7728 / 11064 = 0,699$.

Методику визначення вогнестійкості було застосовано при розрахунках конструкцій будівлі бізнес-центру за адресою пр. Богдана Хмельницького, 102 в місті Донецьку. Для визначення межі вогнестійкості конструкції переріз було розділено на елементи розміром 5×5 см. В центрі кожного елемента визначено температуру і розрахунковий опір бетону залежно від температури.

Залежність розрахункового опору бетону від температури визначено за формулою (3), арматури – за формулою (12).

На основі цих даних отримано несучу здатність при прогріванні упродовж певного проміжку часу τ . Результати розрахунків (крива 1) наведено на рис. 10.

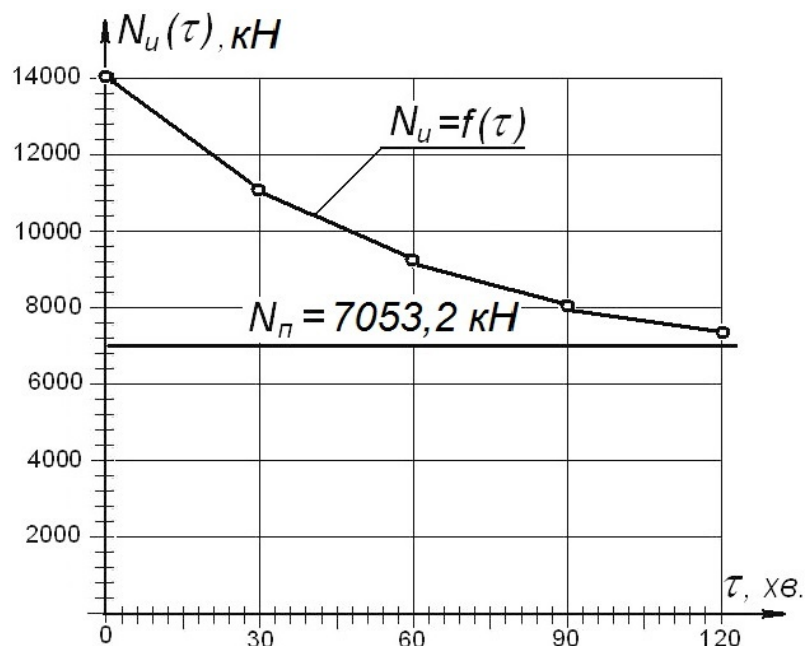


Рис. 10. Результати визначення вогнестійкості колони

Як видно з рисунка 10, несуча здатність колони після 120 хв. її прогрівання становить 7406,5 кН, що перевищує максимальну величину чинного зусилля, яке дорівнює 7053,2 кН, тобто межа вогнестійкості колони становить не менш як 120 хв. (R120).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті виконання комплексу досліджень отримано такі результати.

1. В результаті узагальнення досліджень в області визначення НДС і несучої здатності залізобетонних колон та інших конструкцій, які працюють на позacentровий стиск при силових і високотемпературних впливах встановлено, що існуючі методи обстеження, розрахунку, оцінки напружено-деформованого і технічного стану при силових і високотемпературних впливах не дозволяють повною мірою визначити залишкову несучу здатність експлуатованих конструкцій, які потерпіли від впливу високих температур при пожежі, що ускладнює прийняття рішення про можливість подальшої експлуатації або регулювання технічного стану шляхом ремонту, посилення або заміни.

2. Для конструкцій колон будівель із залізобетонним каркасом запропоновано наступні визначальні параметри НДС і технічного стану при силових і високотемпературних впливах: геометричні розміри, прогини, переміщення, зсуви, характеристики бетону і арматури, наявність і характер дефектів та пошкоджень, стан вузлів з'єднань. Критерії визначальних параметрів встановлюються на основі аналізу проектної і нормативної літератури.

Розроблені пропозиції було використано при визначенні попереднього технічного стану конструкцій будівлі цеху ПАТ «Текстемп» за адресою вул. Колекторна, 30 в м. Києві після пожежі. Було встановлено, що конструкції покриття у відділенні, де була пожежа, частково обвалені, а залишені конструкції (одна ферма і 8 плит покриття) знаходяться в аварійному стані (в елементах ферм і плитах покриття в наявності тріщини, руйнування зовнішніх шарів бетону, руйнування бетону полиць плит з оголенням арматури, прогини ребер плит становлять до 100 мм, а ферми - приблизно 200 мм), колони в цьому відділенні, внаслідок облицювання цегляною кладкою, не отримали пошкоджень і знаходяться в задовільному стані (результати розрахунків колон були виконані іншою проектною організацією при підготуванні проекту посилення конструкцій).

3. Отримано аналітичні залежності для арматури класів А240С, А400С, А500С, А600С, які враховують зміну характеристик міцності при нагріві. Застосування отриманих залежностей дозволяє розраховувати несучу здатність конструкцій спрощеним методом. Встановлено аналітичні залежності для коефіцієнта зниження опору арматурної сталі від температури, а також отримано рівняння для визначення усередненого значення коефіцієнта зниження опору. Було встановлено, що при зміні температури від 20°C до 200...300°C межа міцності арматурної сталі збільшується приблизно на 20%, а потім (після нагрівання більш як на 300°C) починає інтенсивно знижуватись. При температурі 700°C межа міцності дорівнює приблизно 10% від межі міцності при 20°C.

4. Удосконалено методику експериментальних досліджень залізобетонних колон на вогнестійкість в частині визначення характеристик міцності бетону і арматури після випробувань. Проведено експериментальні дослідження залізобетонних колон на вогнестійкість з подальшим розрізанням колон, вилученням бетону у вигляді кубів після розрізання і визначенням характеристик міцності та деформативності бетону і арматури, що дозволило отримати дані про зміну характеристик міцності бетону по перерізу і арматури.

Встановлено можливість використання характеристик міцності арматури після вогневого впливу, які рекомендовано чинними нормативними документами, для розрахунків несучої здатності конструкцій після пожежі за умов нагрівання до температур, які не перевищують 500 °С.

Міцність бетону зразків-кубів, які було вилучено із зовнішніх шарів колони після випробувань, суттєво зменшилась (майже в 1,5 рази), а в кутових зонах бетон було зруйновано. Міцність бетону центрального ядра зменшилась приблизно в 1,16 рази.

5. Удосконалено комп'ютерну модель визначення несучої здатності конструкцій МСЕ при силових і високотемпературних впливах з урахуванням особливостей розподілу температури по перерізу колон і зміни характеристик міцності матеріалів по перерізу. Встановлено залишкову несучу здатність залізобетонних колон, які було досліджено на вогнестійкість, яка дорівнює 7728 кН (коефіцієнт зниження несучої здатності становить 0.699).

В якості прикладу виконано розрахунки залізобетонних колон будівельного об'єкту на вогнестійкість і несучу здатність. Встановлено, що несуча здатність колони після 120 хв. її прогрівання становить 7406,5 кН, що перевищує максимальну величину чинного зусилля, яке дорівнює 7053,2 кН. Тобто межа вогнестійкості колони становить не менш як 120 хв. (R120), а вогнестійкість колон забезпечується без додаткових заходів захисту.

6. Результати досліджень використано на ряді житлових і промислових об'єктів при вирішенні практичних задач: при проведенні обстеження і визначення технічного стану конструкцій будівлі цеху ПАТ «Текстемп» за адресою вул. Колекторна, 30 в м. Києві після пожежі; при розрахунках на вогнестійкість та несучу здатність конструкцій колон будівлі бізнес-центру за адресою пр. Богдана Хмельницького, 102 в місті Донецьку.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях та у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Gordiuk M. P., Semynoh M. M., Holodnov O. I., Tkachuk I. A. Determination of the technical state of buildings and constructions after force and temperature influences. *Technology audit and production reserves*. 2019. № 4/1(48). P. 4-10. (індексується наукометричною базою *Index Copernicus*).

Особистий внесок – участь у розробці методики визначення технічного стану з урахуванням високотемпературних впливів.

2. Gordiuk M. P., Semynoh M. M., Holodnov O. I., Tkachuk I. A., Ivanov B. V. Remaining resource of constructions of building and building is after different influences. *Technology audit and production reserves*. 2019. № 5/1(49). P. 4-9. (індексується наукометричною базою *Index Copernicus*).

Особистий внесок – участь у розробці методики визначення залишкового ресурсу з урахуванням високотемпературних впливів.

3. Голоднов А. И., Гордиюк Н. П., Ткачук И. А., Семиног Н. Н. Определение остаточного ресурса изгибаемых элементов послеразличных воздействий. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 151. – С. 94-102. (індексується наукометричною базою *Index Copernicus*).

Особистий внесок – участь у розробці методики визначення залишкового ресурсу згинаних елементів і зміни характеристик арматури після високотемпературних впливів.

4. Ткачук И. А., Семиног Н. Н., Отрош Ю.А. Результаты расчетов конструкций здания бизнес-центра. *Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського*. – Київ: «Сталь», 2014. Вип. 14. – С. 105–110.

Особистий внесок – участь у виконанні розрахунків з урахуванням впливу високих температур при пожежі.

5. Голоднов А. И., Риблов В. В., В., Слюсар Ю. Н., Отрош Ю. А., Ткачук И. А., Семиног Н.Н. Особенности расчета остаточного ресурса изгибаемых элементов после термических воздействий. *Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського*. – Київ: «Сталь», 2014. Вип. 13. С. 104-115.

Особистий внесок – пропозиції щодо врахування особливостей розрахунку згинальних елементів після термічних впливів.

6. Отрош Ю. А., Ткачук І. А., Семиног М.М. Вплив технологічних факторів на вогнестійкість залізобетонних плит. *Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського*. – Київ: «Сталь», 2013. Вип. 11. – С. 148-155.

Особистий внесок – участь у проведенні експериментальних досліджень залізобетонних плит.

7. Голоднов О. І., Отрош Ю. А., Ткачук І. А., Семиног М.М. Визначення характеристик міцності бетону й арматури при проведенні досліджень вогнестійкості залізобетонних колон. *Пожежна безпека: теорія і практика: Збірник наукових праць*. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2011. С. 37-43.

Особистий внесок – розробка методики визначення характеристик міцності арматури.

8. Ткачук І. А., Голоднов О. І. Експериментальні дослідження залізобетонних колон. *Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник*. – Київ: НДІБК, 2011. Вип. 74. Книга 1. – С. 240–247.

Особистий внесок – розробка методики експериментальних досліджень вогнестійкості залізобетонних колон.

9. Голоднов О. І., Гордіюк М. П., Ткачук І. А., Семиног М. М. Визначення характеристик бетону залізобетонних конструкцій при різних впливах. *Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки*. – Луганськ: ЛНАУ, 2010. С. 42-51.

Особистий внесок – проведення досліджень міцності бетону, визначення характеристик міцності арматури.

10. Ткачук І. А. Визначення характеристик міцності арматури при високотемпературних впливах. *Промислове будівництво та інженерні споруди*. 2010. № 4. С. 21–24.

11. Голоднов О. І., Гордіюк М. П., Ткачук І. А., Семиног М. М. Міцність та деформативність матеріалів залізобетонних конструкцій при силових і високотемпературних впливах. *Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета*. – Алчевськ: ДДМУ, 2009. Вип. 29. С.275-284.

Особистий внесок – розробка методики визначення міцності арматури, проведення випробувань арматури, участь у підготовці статті.

12. Ткачук І. А., Голоднов О. І. Розрахунок залізобетонних згинаних конструкцій з урахуванням високотемпературних впливів. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць*. – Рівне: НУВГтаП, 2009. Вип. 19. С. 240–246.

Особистий внесок – розробка методики розрахунку згинаних конструкцій з урахуванням високотемпературних впливів.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

13. Голоднов О. І., Гордіюк М. П., Ткачук І. А., Семиног М. М. Визначення характеристик міцності арматури і бетону при високотемпературних впливах. *Пожезна безпека: теорія і практика: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (7 жовтня 2011 р., м. Черкаси, Україна)*. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2011. – С. 96-99.

Особистий внесок – участь у розробці методики визначення характеристик міцності арматури при високотемпературних впливах.

14. Семиног М. М., Ткачук І. А. До визначення характеристик бетону і арматури при високотемпературних впливах. *Теорія та практика ліквідації надзвичайних ситуацій. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія та практика ліквідації надзвичайних ситуацій» (м. Черкаси, 02-03 грудня 2010 р.)*. – Черкаси; АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2010. С. 73-75.

Особистий внесок – участь у проведенні випробувань із визначення характеристик міцності арматури після високотемпературних впливів.

15. Ткачук І. А. Зміна характеристик міцності та деформативності арматури при високотемпературних впливах. *Будівельні конструкції спортивних та просторових споруд: сьогодення та перспективи розвитку: Тези доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції «Будівельні конструкції спортивних та просторових споруд: сьогодення та перспективи розвитку» (м. Київ, 6-10 вересня 2010 р.)*. – Київ: «Сталь», 2010. С. 214-215.

Публікації, що додатково відображають матеріали дисертації:

16. Голоднов А. И., Кудряшов В. А., Палевода И. И., Отрош Ю. А., Ткачук И. А., Семиног Н. Н., Дробыш А. С. Сопоставительная оценка огнестойкости железобетонных многопустотных плит с использованием стандартов Беларуси, Украины, Европейского Союза, а также расчетных методов. *Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь*. 2015. № 1 (21). С. 30-39.

Особистий внесок – участь у проведенні експерименту, співставленні вогнестійкості залізобетонних плит з використанням стандартів України, Білорусі, Європейського Союзу.

17. Гордіюк М. П., Ткачук І. А. До розрахунку елементів будівель при високотемпературних впливах. *Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури: Збірник наукових праць. Баштові споруди: матеріали, конструкції, технології.* – Макіївка: ДонНАБА, 2009. Вип. 2009–4 (78). С. 226–231.

Особистий внесок – розробка методики розрахунку будівель з урахуванням високотемпературних впливів.

18. Ткачук І.А. Несна здатність залізобетонних згинаних конструкцій при силових, деформаційних і високотемпературних впливах. *Дороги і мости: Збірник наукових праць.* – Київ: ДерждорНДІ, 2009. Вип. 11. С. 349–353

АНОТАЦІЯ

Ткачук І.А. Міцність залізобетонних колон при силових і високотемпературних 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, 2021.

Наведено результати досліджень напружено-деформованого стану залізобетонних колон будинків при сумісній дії силових навантажень і високої температури. Для розробки розрахункових методик прийнято передумови та допущення, які враховують поведінку конструкцій при навантаженні і дії високої температури. Розроблено методику і отримано залежності зміни характеристик міцності арматури різних класів при високотемпературних впливах. Розроблено методику і проведено дослідження вогнестійкості колон, що дозволило отримати характеристики матеріалів після високотемпературних впливів для подальшого визначення залишкової несучої здатності. Розроблено методику розрахунку вогнестійкості та міцності залізобетонних колон МСЕ, яка дозволяє отримати розподіл температури по перерізу і врахувати зміну характеристик міцності та деформативності бетону й арматури при нагріванні. Результати роботи впроваджено при визначенні межі вогнестійкості колон проєктованих будинків.

Ключові слова: залізобетонні колони, силові навантаження, високотемпературні впливи, міцність, вогнестійкість, технічний стан, залишковий ресурс.

АННОТАЦИЯ

Ткачук И.А. Прочность железобетонных колонн при силовых и высокотемпературных воздействиях. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, 2021.

Приведены результаты исследований напряженно-деформированного состояния железобетонных колонн зданий при совместном действии силовых нагрузок и высоких температур. Для разработки расчетных методик приняты предпосылки и допущения, которые учитывают поведение конструкций при нагрузке и действии высокой температуры. Разработана методика и получены зависимости изменения характеристик прочности арматуры разных классов при

высокотемпературных воздействиях. Разработана методика и проведены исследования огнестойкости колонн, что позволило получить характеристики материалов после высокотемпературных воздействий для дальнейшего определения остаточной несущей способности. Разработана методика расчета огнестойкости и прочности железобетонных колонн МКЭ, которая позволяет получить распределение температуры по сечению и учесть изменение характеристик прочности и деформативности бетона и арматуры при нагреве. Результаты работы внедрены при определении предела огнестойкости колонн проектируемого здания.

Ключевые слова: железобетонные колонны, силовые нагрузки, высокотемпературные воздействия, прочность, огнестойкость, техническое состояние, остаточный ресурс.

ABSTRACT

Тkachuk I. Strength of reinforce-concrete columns under force and high temperature influences. On the right of the manuscript.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.23.01 “Building constructions, buildings and structures”. – Ukrainian State University of Railway Transport, 2021.

The content of the thesis. In the introduction it substantiates the relevance of the topic, formulates the purpose and tasks of the research, scientific novelty and practical value of the work, and also the general characteristic is presented.

Chapter 1 is given over to analyzing modern methods for calculation and design of load-bearing reinforce-concrete members of buildings and structures working in compression under various influences.

The existing proposals for taking into account the nonlinear properties of reinforced concrete are analyzed. It is noted that a feature of the calculation methods proposed by various authors is the use of various assumptions on concrete strength. Various material behaviour models are considered. The application of various models requires using the corresponding stress-strain diagrams for concrete under various influences.

The influence of the reinforced concrete inelastic properties on the behaviour of axial elements can be taken into account by reducing the stiffness characteristics of the cross sections. Since reinforce-concrete columns are as a rule under-reinforced, taking into account inelastic properties even to a first approximation will allow us to perform the limit state design of the first group and the second group with sufficient accuracy for practical purposes.

The analysis of existing methods has allowed us to determine that the methods for calculating the stress-strain state and the bearing strength of reinforce-concrete columns under various influences have not been brought to practical use. Determination and assessment of the technical state and justification of possible further reliable operation of reinforce-concrete column structures after force and high-temperature influences are a complex task, the solution of which is absent nowadays. The research objectives are formulated based on the analysis of the current state of the issue.

In **chapter 2** the methodological approach of the estimation of the technical state of constructions of frameless buildings with reinforce-concrete framework. The primary

purpose of realization of the works of the building construction technical state estimation is the receipt of the controlled (qualificatory) parameters of the technical state.

The estimation of the technical state of building constructions is conducted by comparison of the controlled parameters with corresponding project parameters, and also on results of checking calculations. The controlled parameters are determined during realization of visual and instrumental inspections.

In the chapter the features of determination of the technical state of constructions after fire effect are also brought. Bearing strength, bending and crack resistance of constructions after fire effect determined during the process of development of rehabilitation project of separate constructions and full buildings.

The worked suggestions are used for determination of the technical state and development of project of strengthening of ceiling flags after a fire.

Chapter 3 presents the results of experimental studies concerning changes in the strength characteristics of reinforcement under high-temperature influences and fire resistance of columns.

To obtain experimental evidence indicating the nature of deformation and failure of steel reinforcement when exposed to high temperatures, a study of samples made of reinforcing steel of various classes was carried out in accordance with the requirements of current regulatory documents.

To test the columns for fire resistance, two identical samples with a cross section of 600x600 mm and a height of 2000 mm were made. Samples were produced in metal formwork at the Brovary plant for reinforce-concrete products.

After preliminary tests (to determine the material characteristics), the columns were tested for fire resistance. These tests were performed using the appropriate equipment of TEST LLC testing centre. A special test furnace and appropriate measuring equipment were used for the tests.

After testing the columns for fire resistance, cutting was performed to further determine the strength of concrete and reinforcement.

Chapter 4 contains proposals for determining the fire resistance of reinforced concrete columns and other structures in compression.

The procedure has been developed for calculating the fire resistance of reinforced concrete columns using a thermo-technical calculation, which allows for the accepted assumptions to determine the temperature distribution in the cross section of the column when heated. The calculation is performed using modern software systems that are based on the finite element method. The temperature distribution in the column cross section allows taking into account the change in the characteristics of strength and deformability of concrete and reinforcement for further calculations of the bearing strength and fire resistance of reinforce-concrete columns.

The evidence of the obtained results implementation in the practice of inspection and design of structures after various influences is given.

General Conclusions set out the main results obtained in the course of the research. The urgency of the problem concerning calculation of load-bearing reinforce-concrete structures in compression, taking into account the strength properties of reinforced concrete under various influences, is noted for Ukraine.

Keywords: reinforce-concrete columns, force influences, high temperature influences, durability, fire resistance, technical state, residual resource.