

Відкрите акціонерне товариство УкрНДІпроектстальконструкція
ім В.М.Шимановського

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ТКАЧУК ІГОР АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 624.131.54+69.59.05

ДИСЕРТАЦІЯ

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


05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.



І.А. Ткачук, інженер

Науковий керівник  Голоднов Олександр Іванович, доктор
технічних наук, професор

Харків – 2021

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.

Зміст дисертації. У вступі наведено характеристику роботи, яка включає актуальність, зв'язок роботи з науковими програмами, темами, мету, завдання досліджень, об'єкт і предмет дослідження, методи досліджень, наукову та практичну цінність отриманих результатів, відомості про впровадження й апробацію результатів досліджень, особистий внесок здобувача, характеристику публікацій.

Розділ 1 присвячено аналізу сучасних методів розрахунку та проектування несучих залізобетонних елементів будівель та споруд, які працюють на позацентровий стиск, при різних впливах.

Проаналізовано існуючі пропозиції щодо врахування нелінійних властивостей залізобетону. Відмічено, що особливістю запропонованих різними авторами методів розрахунку є використання різних передумов про роботу бетону. Розглянуто різні моделі роботи матеріалу. Застосування різних моделей вимагає використання і відповідних діаграм «напруження – деформації» бетону при різних впливах.

Вплив зміни характеристик залізобетону на роботу стержньових елементів можна врахувати шляхом зниження характеристик жорсткості перерізів. Оскільки залізобетонні колони являють собою, як правило, слабоармовані конструкції, врахування непружних властивостей навіть в першому наближенні дозволить виконати розрахунки за граничними станами першої та другої груп з достатньою точністю.

Аналіз існуючих методик дозволив встановити, що відсутні доведені до практичного використання методи розрахунку напружено-деформованого стану і несучої здатності залізобетонних колон при різних впливах. Визначення й

оцінка технічного стану та обґрунтування можливості подальшої надійної експлуатації конструкцій залізобетонних колон після силових і високотемпературних впливів являють складну задачу, рішення якої в наш час відсутнє. На основі виконаного аналізу сучасного стану питання сформульовано завдання дослідження.

У **розділі 2** викладено методичний підхід до оцінки технічного стану конструкцій будівель із залізобетонним каркасом. Основною метою проведення робіт із оцінки технічного стану конструкцій будівель залишається отримання контрольованих (визначальних) параметрів технічного стану.

Оцінка технічного стану будівельних конструкцій проводиться шляхом зіставлення контрольованих параметрів з відповідними проектними параметрами, а також з результатами перевірочних розрахунків. Контрольовані параметри визначаються в ході проведення візуального та інструментального обстежень.

У розділі також наведено особливості визначення технічного стану конструкцій після пожежі. Несуча здатність, прогини та тріщиностійкість конструкцій після пожежі визначаються в процесі розробки проекту відновлення окремих конструкцій і будівлі в цілому.

Розроблені пропозиції використано при визначенні технічного стану конструкцій реальної будівлі після пожежі.

В розділі 3 наведено результати експериментальних досліджень міцності арматури при високотемпературних впливах і вогнестійкості колон.

Для отримання експериментальних даних, які б дозволили визначити характер деформування і руйнування сталеві арматури під час впливу високих температур, було проведено дослідження зразків арматурної сталі різних класів у відповідності з вимогами чинних нормативних документів.

Для випробувань колон на вогнестійкість було виготовлено два однакові зразки перерізом 600х600 мм заввишки 2000 мм. Зразки було виготовлено на Броварському заводі залізобетонних виробів у металевій опалубці.

Після проведення випробувань зразків бетону і арматури для визначення характеристик матеріалів було виконано випробування колон на вогнестійкість. Ці випробування виконано у випробувальному центрі ТОВ “ТЕСТ”. Для випробувань використано спеціальну випробувальну піч та відповідні засоби вимірювальної техніки.

Після проведення випробувань колон на вогнестійкість було виконано розрізання для подальшого визначення міцності бетону й арматури.

В розділі 4 наведено пропозиції для визначення межі вогнестійкості і міцності залізобетонних колон та інших конструкцій, які працюють на стиск.

Розроблено методику розрахунку вогнестійкості залізобетонних колон по теплотехнічному розрахунку, яка дозволяє за прийнятих передумов і допущень визначити розподіл температури в перерізі колони при нагріванні. Розрахунок виконується за допомогою сучасних програмних комплексів, які засновано на застосуванні методу скінченних елементів. Розподіл температури в перерізі колони дозволяє врахувати зміну характеристик міцності та деформативності бетону й арматури при подальших розрахунках несучої здатності та вогнестійкості залізобетонних колон.

Наведено результати впровадження отриманих результатів в практику обстеження та проектування конструкцій після різних впливів.

В загальних висновках викладено основні результати, які було отримано в ході проведених досліджень. Відзначено актуальність для України проблеми розрахунку несучих залізобетонних конструкцій, які працюють на стиск, з урахуванням властивостей роботи залізобетону при різних впливах.

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

SUMMARY

Tkachuk 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

Dissertation Contents. The Introduction outlines the general characteristics of the study, which includes relevance, connection of research work with scientific programs, plans, topics, purpose, tasks, characteristics of the research object and subject of study, research methods, scientific and practical value of work results, information on implementation and testing research results, personal contribution of the applicant, publication characteristics.

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.

Список публікацій здобувача за темою дисертації
Статті у фахових виданнях та у виданнях, що включені до
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., Гордиук Н. П., Ткачук И. А., Семиног Н. Н. Определение остаточного ресурса изгибаемых элементов после различных 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 проведення 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: ДДМІ, 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: сьогодні та перспективи розвитку: Тези доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції «Будівельні конструкції спортивних та просторових споруд: сьогодні 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 наукови праць.* – Київ: ДерждорНДІ, 2009. Вип. 11. С. 349–353

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП	14
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	21
Загальні принципи проектування залізобетонних конструкцій, які працюють на позацентровий стиск	21
Методи контролю параметрів міцності бетону залізобетонних конструкцій	23
Методи контролю параметрів міцності арматури залізобетонних конструкцій	29
Розрахункові моделі будівельних конструкцій, будівель та споруд	33
Зміна характеристик міцності та деформативності матеріалів залізобетонних конструкцій при високотемпературних впливах	41
Висновки і завдання досліджень	49
РОЗДІЛ 2. ВИЗНАЧАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН ПІСЛЯ СИЛОВИХ І ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВІВ	52
Загальні положення	52
Методологія визначення параметрів технічного стану залізобетонних колон	55
Особливості визначення технічного стану залізобетонних конструкцій після пожежі	64
Особливості розрахунку залізобетонних колон при силових і високотемпературних впливах	68
Результати обстеження конструкцій цеху ПАТ «Текстемп» за адресою вул. Колекторна, 30 в м. Києві після пожежі	81
Висновки по розділу 2	85

	13
	С.
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ АРМАТУРИ ТА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН ПРИ ВИСОКОТЕМПЕРАТУР- НИХ ВПЛИВАХ	87
льні положення	87
Визначення характеристик міцності арматури при високотемпературних впливах	89
Методика і результати досліджень залізобетонних колон на вогнестійкість	94
сновки по розділу 3	110
РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ	112
Практична методика розрахунку залізобетонних колон при силових і високотемпературних впливах	112
Практична методика визначення залишкового ресурсу залізобетонних колон	130
Результати розрахунків конструкцій будівлі бізнес-центру за адресою пр. Богдана Хмельницького, 102 в місті Донецьку	135
сновки по розділу 4	138
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	140
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	143
Додаток А. СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА	155
Додаток Б. ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ	160
ДОДАТОК В. ДОКУМЕНТИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	162
	Ви

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Конструкції будівель та споруд проектують для сприйняття всіх навантажень і впливів, які діють в будівлі. 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 різних чинників (агресивного впливу оточуючого середовища, фізичного зносу, високотемпературних впливів при пожежі тощо) може знизитись. Більшість впливових чинників на конструкції носять випадковий характер, тому надійність будівельних конструкцій визначається методами теорії ймовірності [1].

Характеристики реальних конструкцій, матеріалів та впливів можуть відрізнятися від проектних. Цей фактор враховується введенням в розрахунок коефіцієнтів надійності, які мають забезпечити надійну роботу конструкцій, будівель та споруд в цілому за таких умов. Більшість конструкцій будівель та споруд в першу чергу повинні відповідати критерію міцності, тобто розрахунку за граничними станами першої групи. Як критерії граничного стану розглядаються сукупність ознак граничного стану об'єкту у відповідності з вимогами нормативної (НД) або проектної документації (ПД). При цьому в залежності від умов експлуатації для об'єкту може бути встановлено один або кілька критеріїв граничного стану [1-5].

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

Досвід експлуатації таких конструкцій свідчить про 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 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. Ця обставина потребує передбачувати можливість руйнування при дії різних чинників, зокрема, високотемпературних впливів, з подальшим використанням захисних заходів у вигляді ремонту, посилення або заміни. При цьому необхідно визначати напружено-деформований стан (НДС) і виконувати роботи із продовження терміну експлуатації як окремих конструкцій, так і будівель та споруд в цілому [6-12].

Значення загальної деформації арматури при пожежі залежить від деформації температурного розширення, зміни модуля пружності, а також деформацій повзучості. Під поняттям «температурна повзучість» мається на увазі зміна деформацій в часі при постійних значеннях температури та прикладеного навантаження. [10] Основними чинниками, які впливають на величину та швидкість температурної повзучості, вважаються величини силових напружень, температура, а також тривалість їх спільних впливів [6-12].

Для залізобетонних колон, які випробовуються без навантаження, час досягнення граничного стану за ознакою втрати несучої здатності визначають за даними вимірювань температури по товщині зразка розрахунковим методом, який має відповідати вимогам ДБН В.1.1-7:2016 [6].

Все вищезгадане свідчить, що визначення характеру деформування, міцності та текучості арматурної сталі при високотемпературних впливах являє собою складну задачу. Зокрема, прийняття за граничну температуру 500°C не може бути обґрунтованим: при такій температурі арматурна сталь може опиратись і досить суттєво, про що свідчать дані, які наведені в чинних нормативних документах і настановах.

У зв'язку з великим розповсюдженням в практиці проектування і будівництва вивчення НДС залізобетонних конструкцій, які працюють на позацентровий стиск, відвіку привертало увагу дослідників. Суттєвий внесок до вирішення проблеми розрахунку залізобетонних елементів при різних впливах

внесли С.Александровський, В.Байков, А.Бамбура, В.Бачинський, О.Берг, В.Бондаренко, О.Гвоздєв, О.Голоднов, О.Голишев, Б.Демчина, М.Карпенко, Є.Клименко, В.Мурашев, С.Поздєєв, С.Фомін та ін. Незважаючи на це, методики розрахунку, які рекомендовано чинними нормативними документами [11, 12], не завжди дають можливість правильно оцінити деформативність конструкцій, оскільки в їх основу покладено передумови про пружну або пружнопластичну роботу матеріалу в експлуатаційній стадії.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Питання управління експлуатаційним терміном служби для забезпечення надійності та безпеки промислових та цивільних об'єктів визначені як пріоритетні завдання в Постанові КМУ від 8 жовтня 2004 р. № 1331 "Про затвердження Державної науково-технічної програми "Ресурс". Тема дисертації прямо пов'язана та відповідає актуальним напрямам 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 (НДР № 21К) [13] 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 [14], де автор був співвиконавцем.

Частину робіт виконано за рахунок господарських договорів з розрахунку конструкцій, обстеження, 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 одержаних 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 і 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 впровадження 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.

Документи, які підтверджують результати впровадження роботи, наведено в Додатку В.

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 й 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 наукові 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 науко-метричних баз; 3 праці апробаційного характеру, 3 додаткові публікації.

Структура дисертації. 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 рисунків, 16 таблиць, список використаних джерел обсягом 122 найменувань, 3 додатки.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Голоднов А. И., Гордиук 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.
2. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. [Введений 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 45 с.
3. 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.
4. Gordiuk M. P., Semynoh M. M., Holodnov O. I., Tkachuk I. A., Ivanov V. 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.
5. ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016. Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд. [Введений 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 38 с.
6. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [Введені 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2017. 35 с.
7. ДБН В.1.2-7-2008. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека. [Введений 2008-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2008. 35 с.
8. ДСТУ-Н Б В.2.6-196:2014. Настанова з проектування залізобетонних балок. Розрахунок на вогнестійкість. [Введений 2015-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2015. 42 с.
9. ДСТУ-Н Б В.2.6-197:2014. Настанова з проектування залізобетонних колон. Розрахунок на вогнестійкість. [Введений 2015-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2015. 35 с.

10. Розрахунок залізобетонних конструкцій на вогнестійкість відповідно до Єврокоду 2: Практичний посібник. Київ: Мінрегіон України, 2016. 83 с.
11. ДБН В. 2.6-98:2009. Державні будівельні норми України. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. [Введені 2011-07-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 71 с.
12. ДБН В.2.3–14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проєктування. [Введені 2007-02-01.]. Вид. офіц. Київ: Мінбуд України, 2007. 359 с.
13. Вплив локальних термічних дій на міцність і стійкість елементів металевих будівельних конструкцій: Звіт про НДР (заключ.). № ДР 0109U008624. – Алчевськ: ДонДТУ, 2011. 252 с.
14. Прогнозування технічного стану будівельних конструкцій при дії силових, деформаційних та високотемпературних впливів: Звіт про НДР (заключ.). № ДР 0113U004019. Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2014. 181 с.
15. Мосалков И. Л., Плюснина Г. Ф., Фролов А. Ю. *Огнестойкость строительных конструкций*. Москва: Спецтехника, 2001. 484 с.
16. Джонс Р. *Неразрушающие методы испытаний бетонов*. Москва: Стройиздат, 1974. 292 с.
17. Зубков В. А. *Определение прочности бетона: учебное пособие*. Москва: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 1998. 125 с.
18. Клименко Є. В. *Технічний стан будівель та споруд*. Одеса: ОДАБА, 2010. 284 с.
19. ДСТУ Б В.2.7-223:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Метод визначення міцності за зразками, відібраними з конструкцій. [Введений 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. – 38 с.
20. ДСТУ Б В.2.7-224:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Правила контролю міцності. [Введений 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 27 с.

21. ДСТУ Б В.2.7-220:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю. [Введений 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 24 с.
22. ДСТУ Б В.2.7-226:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності. [Введений 2010-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 33 с.
23. Голоднов А. И. Регулирование остаточных напряжений в сварных двутавровых колоннах и балках. Київ: «Сталь», 2008. 150 с.
24. Беленя Е. И. Исследование действительной работы стальных каркасов производственных зданий – исходная база при реконструкции промзданий. *Промышленное строительство*. 1982. №2. С. 12–14.
25. Беленя Е. И., Валь В. Н., Уваров Б. Ю. Полнее использовать резервы прочности конструкций реконструируемых производственных зданий с металлическим каркасом. *Промышленное строительство*. 1986. №5. С. 2–4.
26. Балдин В. А., Гольденблат И. И., Коченов В. М. Расчет строительных инструкций по предельным состояниям. Москва: Стройиздат, 1951. 271 с.
27. Мельников Н. П., Зелетров В. Н. Выбор сталей для строительных металлических конструкций. Москва: Стройиздат, 1976. 136 с.
28. Стрелецкий Н. С. Работа стали в строительных конструкциях. Москва: ГИПСА, 1956. 216 с.
29. Соколовский П. И. Малоуглеродистые и низколегированные стали. Москва: Металлургия, 1966. 216 с.
30. Кураев В. В. Металловедение для строителей. – Москва: Госстройиздат, 1952. 102 с.
31. Урицкий М. Р. Статистическая оценка величины предела текучести листовой малоуглеродистой стали Ст3: *Труды института ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко*. – Москва: Стройиздат, 1975. Вып. 47. С. 122–123.
32. Гладштейн А. И. Эволюция качества стали для строительных металлоконструкций. *Промышленное строительство*. 1982. №2. С. 15–18.

33. Винклер О. Н., Демыгин Н. Е., Шишочкина К. В. Механические свойства и сопротивляемость хрупкому разрушению кислородно-конвертерной стали марки СтЗ, различной степени раскисленности. *Промышленное строительство*. 1973. №8. С 28–32.

34. Балдин В. А., Кобрин М. М., Одесский П. Д., Соколовский П. И. Анизотропия механических свойств толстолистовой малоуглеродистой стали. *Промышленное строительство*. 1966. №4. С. 35–37.

35. Балдин В. А., Одесский П. Д., Ратов В. А. Свойства листового проката из строительных сталей по толщине листов. *Промышленное строительство*. 1975. №1. С. 33–35.

36. Руководство по эксплуатации строительных конструкций производственных зданий промышленных предприятий. Москва: ЦНИИПРОМ-ЗДАНИЙ, 1995. 99 с.

37. СНиП 2.03.01–84*. Бетонные и железобетонные конструкции. Москва: ГП ЦПП, 1996. 76 с.

38. ДСТУ Б В.2.6–10–96. Конструкції будинків і споруд. Конструкції сталеві будівельні. Методи випробування навантаженням. [Введений 1996-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держстан-дарт України, 1996. 19 с.

39. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП II–23–81*). Москва: Стройиздат, 1989. 159 с.

40. СНиП II–23–81*. Стальные конструкции. Москва: ЦИТП Госстроя СССР, 1991. 96 с.

41. ГОСТ 1497–84* (ИСО 6892–84, СТ СЭВ 471–88). Металлы. Методы испытания на растяжение. Москва: ИПК Изд-во стандартов, 1986. 36 с.

42. ГОСТ 7564–97. Прокат. Общие правила отбора проб, заготовок и образцов для механических и технологических испытаний. Москва: Изд-во стандартов, 1999. 15 с.

43. ГОСТ 7565–81 (ИСО 377.2-89). Чугун, сталь и сплавы. Метод отбора проб для химического состава. Москва: Изд-во стандартов, 1982. 13 с.

44. ГОСТ 9651–84* (ИСО 783-89). Металлы. Методы испытаний на растяжение при повышенных температурах. Москва: Изд-во стандартов, 1986. 6 с.

45. ГОСТ 12004-81*. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. Москва: Изд-во стандартов, 1986. 11 с.

46. Захист від корозії і моніторинг залишкового ресурсу промислових будівель, споруд та інженерних мереж / Матеріали науково-практичної конференції (м.м. Донецьк–Макіївка, 9–12 червня 2003 р.). Донецьк–Макіївка: УАМК, 2003. 472 с.

47. Егоров Е. А. Исследования и методы расчетной оценки прочности, устойчивости и остаточного ресурса стальных резервуаров, находящихся в эксплуатации. Днепропетровськ: Навчальна книга, 2002. 95 с.

48. Должанский П. Р. Контроль надежности металла объектов котлонадзора: справочное пособие. Москва: Недра, 1985. 263 с.

49. ГОСТ 9012–59* (ИСО 410–82, ИСО 6506-81). Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю. Москва: Стандартиформ, 2008. 31 с.

50. ГОСТ 9013–59 (ИСО 6508-86). Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу. Москва: ИПК Изд-во стандартов, 2001. 6 с.

51. ГОСТ 2999–75 (СТ СЭВ 470-77). Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу. Москва: Изд-во стандартов, 2001. 25 с.

52. Борисов В. Г., Бугай Н. В., Измайлов Ф. И. Контроль металла в энергетике. Київ: Техніка, 1980. 134 с.

53. Пособие по контролю состояния строительных конструкций зданий и сооружений в агрессивных средах, проведению обследований и проектированию и восстановлению защиты конструкций от коррозии (к СНиП 2.03.11-85): ЦНИИПроектстальконструкция им. Н.П. Мельникова. Москва: Стройиздат, 1989. 51 с.

54. Золотаревский В. С. Механические свойства металлов: учебник для вузов. Москва: Металлургия, 1983. 352 с.

55. Лащенко М. Н. Повышение надежности металлических конструкций зданий и сооружений при реконструкции. Ленинград: Стройиздат, Ленингр. отделение, 1986. 136 с.
56. Бернштейн М. Л., Займовский В. А. Механические свойства металлов. Москва: Металлургия, 1979. 260 с.
57. ГОСТ 18835–73. Металлы. Метод измерения пластической твердости. Москва: Изд-во стандартов, 1974. 8 с.
58. Крутасова Е. И. Надежность металла энергетического оборудования. Москва: Энергоиздат, 1981. 214 с.
59. 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.
60. Вайнберг Д. В., Городецкий А. С., Киричевский В. В., Сахаров А. С. Метод конечных элементов в механике деформируемых тел. Киев: Прикладная механика, 1972. Т. 8, вып. 8, 3-28.
61. Городецкий А. С., Евзеров И. Д. Компьютерные модели конструкций. Киев: Издательство «Факт», 2005. 344 с.
62. Немчинов Ю. И. Сейсмостойкость зданий и сооружений. Киев: НДІБК, 2008. 480 с.
63. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. Москва: Наука, 1974. 224 с.
64. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. Москва: Мир, 1975. 683 с.
65. Дыховичный А. А., Вишневецкий А. И. Экспериментальные исследования упругих систем и математическое моделирование. *Сопротивление материалов и теория сооружений: сборник научных трудов*. – Киев: Будівельник, 1980. Вып. 36. С. 107-110.
66. Duhovichnuj A. Matematikal Modellezes a szerkezet-kutatasban. *Epitest Kutatas Feilesztes*. 1982. № 4. С. 209-211.

67. Городецкий А. С., Евзеров И. Д., Стрелец-Стрелецкий Е. Б. Метод конечных элементов: теория и численная реализация. Киев: Факт, 1997. 138 с.

68. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций ЛИРА версия 9.0 : руководство пользователя. Кн. 1 : Основные теоретические и расчетные положения. Некоторые рекомендации [под. ред. А. С. Городецкого]. Киев: НИИАСС, 2002. 148 с.

69. ПК ЛИРА, версия 9. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций: справочно-теоретическое пособие. [под. ред. А. С. Городецкого]. Киев-Москва: «Факт», 2003. 464 с.

70. Карпиловский В. С., Криксунов Э. З., Перельмутер А. В. SCAD для пользователя. Киев: ВПП «Компас», 2000. 328 с.

71. Карпиловский В. С., Криксунов Э. З., Перельмутер А. В. SCAD Office: реализация СНиП в проектирующих программах. Киев: ВПП «Компас», 2001. 240 с.

72. Тетиор А. Н. Строительная экология. Киев: Будівельник, 1992. 160 с.

73. Перельмутер А. В., Сливкер В. И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. Москва: Изд-во АСВ, 2011. 736 с.

74. Егупов В. К., Егупов К. В. Влияние конструктивных особенностей зданий и неравномерности поля колебаний грунта на формирование сейсмических нагрузок. *Сейсмостойкое строительство: сборник научных трудов*. Москва: ВНИИТПИ, 1997. Вып. 6. С. 20–28.

75. Семиног М. М., Голоднов, О. І. Моделювання напружено-деформованого стану для обґрунтування можливості продовження терміну експлуатації будівельних конструкцій, будівель та споруд. *Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського*. – Київ: «Сталь», 2009. Вип.4. С. 243–249.

76. 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.

77. Голоднов О. І., Антошина Т. В., Отрош Ю. А. Про необхідність розрахунку будівель зі сталевим каркасом на температурні впливи. *Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського.* – Київ: «Сталь», 2017. Вип. 20. С. 65–84.

78. Abdel-Fttah A., Said M., Salah A. Nonlinear finite element analysis for reinforced concrete slabs under punching loads. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, vol. 7(2016)3, pp.392 – 397.

79. Balomenos G. P., Genikomsou A. S., Polak M. A., Pandey M. D. Efficient method for probabilistic finite element analysis with application to reinforced concrete slabs. *Engineering Structures*, vol. 103(2015), pp.85–101.

80. Fraile-Garcia E., Ferreira-Cabello J., Martinez-Camara E., Jimenez Macias E. Frail Optimization based on life cycle analysis for reinforced concrete structures with one-way slabs. *Engineering Structures*, vol. 109(2016), pp.126-138.

81. Lantsoght E.O.L., van der Veen C., Walraven J., de Boer A. Experimental investigation on shear capacity of reinforced concrete slabs with plain bars and slabs on elastomeric bearings. *Engineering Structures*, vol. 103(2015), pp.1– 14.

82. Kwan A. K. H., Ma F. J. Crack width analysis of reinforced concrete under direct tension by finite element method and crack queuing algorithm. *Engineering Structures*, vol. 126(2016), pp. 618–627.

83. Einpaul J., Ospina C. E., Fernández Ruiz M., Muttoni A. (2016). Punching shear capacity of continuous slabs. *ACI Structural Journal*, vol. 113(2016) 4, pp.861–872.

84. CFD analysis of the thermal behaviour of heating walls in a coke oven battery. *International Journal of Thermal Sciences / Jacek Smolka, Lukasz Slupik, Adam Fic, Andrzej J. Nowak, Ludwik Kosyrczyk.* – June 2015. – Volume 104. – Pages 186-193.

85. Caldas R. B. Finite element implementation for the analysis of 3D steel and composite frames subjected to fire / R. B. Caldas, R. H. Fakury, J. R. Sousa, M. Batista João // *Lat. Am. j. solids struct.* – 2014. – Vol. 11. – № 1. – P. 1 – 18.

86. Vatulia G. Evaluation of steel-concrete beams fire resistance with the selection of effective fire protection / Vatulia G., Orel E., Kovalov M. // *Proceedings of the 6th International Conference on Dynamics of Civil Engineering and Transport Structures and Wind Engineering, Zilina, 2014.* – P. 327-331.

87. Башинська О. Ю. Створення розрахункових моделей будівельних конструкцій при врахуванні реологічних властивостей залізобетону: Автореф. дис. канд. ... техн. наук: 05.23.01. Київ, 2019. 22 с.

88. 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.

89. ДСТУ Б В.1.1–4–98*. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. [Введений 2006-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держбуд України, 2006. 18 с.

90. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. [Введені 2007-10-01]. Вид. офіц. Київ: Мінбуд України, 2007. 60 с.

91. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. [Введені 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2018. 30 с.

92. Поздєєв С. В. Розвиток наукових основ визначення меж вогнестійкості несучих залізобетонних конструкцій: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 21.06.02. Харків, 2012. 40 с.

93. Бертелеми Б., Крюпа Ж. Огнестойкость строительных конструкций. Москва: Стройиздат, 1989. 368 с.

94. Бушев В. П., Пчелинцев В. А., Федоренко В. С, Яковлев А. И. Огнестойкость зданий. Москва: Из-во литературы по строительству, 1970. 262 с.
95. Ватуля Г. Л. Розрахунок і проектування комбінованих та сталобетонних конструкцій: Автореф. дис. доктора техн. наук: 05.23.01. Харків, 2015. 40 с.
96. Демчина Б. Г. Вогнестійкість одно- і багат шарових просторових конструкцій житлових та громадських будівель: Автореф. дис... докт. техн. наук: 05.23.01. Харків, 2004. 40 с.
97. Корсун В. І. Розрахунок конструкцій на температурні і силові впливи з урахуванням неоднорідності властивостей матеріалів: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.23.01. Макіївка, 2004. 40 с.
98. Кричевский А. П. Железобетонные тонкостенные сооружения, подвергающиеся воздействию повышенных и отрицательных температур: Автореф. дисс. докт. техн. наук: 05.23.01. Москва, 1985. 47 с.
99. Милованов А. Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций. Москва: Стройиздат, 1986. 224 с.
100. Ройтман В. М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. Москва: "Пожарная безопасность и наука", 2001. 382 с.
101. Фомін С. Л. Робота залізобетонних конструкцій при впливі кліматичного, технологічного і пожежного середовища: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. 05.23.01; 05.26.03. Харків, 1997. 38 с.
102. Яковлев А. И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. Москва: Стройиздат, 1988. 143 с.
103. Голоднов О. І., Гордіюк М. П., Ткачук І. А., Семиног М. М. Зміна характеристик міцності арматури та бетону при високотемпературних впливах. *Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського, 2011. Вип. 8, С. 121–131.*
104. Рекомендации по обследованию зданий и сооружений, поврежденных пожаром. Москва: Стройиздат, 1987. 80 с.

105. Методические рекомендации по расчету огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. Москва: НИИЖБ, 2000. 92 с.

106. Рекомендации по расчету пределов огнестойкости бетонных и железобетонных конструкций. Москва: Стройиздат, 1986. 40 с.

107. Руководство по проектированию бетонных и железобетонных конструкций, предназначенных для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур (к СНиП 2.03.04-84). Москва: Стройиздат, 1989. 184 с.

108. ДСТУ Б В.1.1-14:2007. Захист від пожежі. Колони. Метод випробування на вогнестійкість. [Введений 2008-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2008. 15 с.

109. ДСТУ-Н EN 1991-1-2:2010 (EN 1991-1-2:2002, IDT). Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Загальні дії. Дії на конструкції під час пожежі. [Введений 2013-07-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 74 с.

110. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2: 2010 (EN 1992-1-2:2004, IDT). Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість. [Введений 2013-07-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2013. 129 с.

111. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. [Введений 2011-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 118 с.

112. ДСТУ 3760:2019. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. [Введений 2019-08-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2019. 28 с.

113. ДСТУ-Н Б В.1.2-13:2008. (EN 1990:2002, IDN). Основи проектування конструкцій. [Введений 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 81 с.

114. ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016. Проектування сталевих конструкцій. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість. [Введений 2017-04-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2017. 147 с.

115. Отрош Ю. А. Технічний стан залізобетонних конструкцій при силових і високотемпературних впливах: Дис. докт. ... техн. наук: 05.23.01. Одеса, 2019. 365 с.

116. ДБН В.2.1-10-2009. Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення. Основи та фундаменти будинків і споруд. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. [Введені 2009-07- 01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 82 с.

117. Пособие по обследованию строительных конструкций зданий. Москва: АО «ЦНИИПРОМЗДАНИЙ», 1995. 129 с.

118. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Державний стандарт України. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. [Введений 2007-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінбуд України, 2007. 10 с.

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

120. 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.

121. 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: ДДМІ, 2009. Вип. 29. С.275-284.

122. Ткачук І. 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..