

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

**ОТРОШ ЮРІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ**



УДК 624.012.3

**ТЕХНІЧНИЙ СТАН ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ  
ПРИ СИЛОВИХ І ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВАХ**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Одеса 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті цивільного захисту України Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор **Сур'янінов Микола Георгійович**, Одеська державна академія будівництва та архітектури, завідувач кафедри будівельної механіки.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Бамбура Андрій Миколайович**, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» Мінрегіон України, завідувач відділом надійності конструкцій будівель і споруд (м. Київ).

доктор технічних наук, професор **Банах Віктор Аркадійович**, Запорізький національний університет, проректор з науково-педагогічної роботи та технічної освіти (м. Запоріжжя).

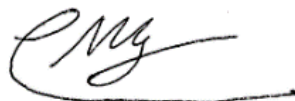
доктор технічних наук, професор **Лапенко Олександр Іванович**, Національний авіаційний університет, завідувач кафедри комп'ютерних технологій будівництва (м. Київ).

Захист дисертації відбудеться «26» лютого 2020 р. о 11<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.085.01 при Одеській державній академії будівництва та архітектури за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Одеської державної академії будівництва та архітектури за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4.

Автореферат розісланий «\_\_\_\_» січня 2020 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради, д.т.н., доцент



Кровяков С.О.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** За статистичними даними останніх років в Україні в середньому виникало 50-60 пожеж та вибухів, які досягали критеріїв надзвичайних ситуацій, 25-30 катастроф на транспорті, 7-12 аварій на системах життєзабезпечення, 5-10 випадків раптового руйнування будівель та споруд, 5-10 аварій в електроенергетичних системах.

За 2018 рік в Україні зареєстровано 78 608 пожеж. Матеріальні втрати від пожеж склали 8 млрд. 279 млн. 119 тис. грн. В середньому щодня виникало 215 пожеж, вогнем знищувалось або пошкоджувалось 70 будівель і споруд. Щоденні матеріальні втрати від пожеж становили 22,7 млн. грн. Кожною пожежею державі наносились прямі збитки на суму приблизно 28,0 тис. грн.

Однією з основних причин виникнення надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру в Україні є застарілість основних фондів та аварійний стан значної частини мереж комунального господарства.

Переважна більшість надзвичайних ситуацій виникала у зв'язку з незадовільним технічним станом споруд, конструкцій, обладнання інженерних мереж та їхньою значною спрацьованістю внаслідок закінчення нормативного строку експлуатації та вичерпанням нормативного ресурсу, невиконання нормативних обсягів планово-попереджувальних ремонтів, порушення регламенту експлуатації та недостатньої надійності функціонування в умовах агресивного середовища й екстремальних природних явищ.

У зв'язку з цим виникає необхідність в проведенні робіт з обстеження, оцінювання технічного стану та відновлення експлуатаційної придатності наявних конструкцій, а також прогнозу технічного стану та можливого руйнування після впливів високих температур. При цьому необхідно розв'язувати питання, що пов'язані із забезпеченням тривалої та надійної експлуатації будівельних конструкцій шляхом прийняття відповідних матеріалів або захисних заходів, а також визначенням напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій після силових і високотемпературних (далі – різних) впливів і виконанням робіт із продовження терміну експлуатації як окремих конструкцій, так і будівель в цілому.

Для будівель та споруд одним з головних та традиційних методів вивчення питань експлуатаційної придатності та надійності роботи систем є постійне спостереження за поведінкою об'єктів, що досліджуються, під час їхньої експлуатації та вивчення самих умов експлуатації. Такий метод прийнято за основу в даній дисертаційній роботі. Саме на основі аналізу результатів натурних обстежень отримано важливі дані про характерні дефекти та пошкодження конструкцій та їхній вплив на подальшу роботу; дані про зміну визначальних параметрів (фізико-механічних характеристик матеріалів, прогинів, переміщень, тріщин тощо) в процесі експлуатації; розроблено математичні моделі, що дозволили виконати оцінювання, прогноз та регулювання технічного стану конструкцій, будівель та споруд в цілому.

Система моніторингу будівель та споруд, яка діє в наш час в Україні, базується на формальних підходах і не враховує стан конструкцій, вплив навколишнього середовища та витрати на проведення поточних і капітальних ремонтів. Актуальним питанням залишається створення такої системи нагляду за окремими конструкціями,

будівлями та спорудами в цілому, яка б враховувала основні параметри процесу експлуатації та дозволила б виконати оптимізацію за критерієм мінімуму загальних витрат.

Отже, як актуальна науково-технічна проблема розглядається розробка методології та програми оцінювання технічного стану, визначення залишкового ресурсу та продовження термінів експлуатації залізобетонних конструкцій будівель та споруд після різних впливів. Реалізація методології та програми дозволить впровадити у практику будівництва та експлуатації будівель послідовність контролю, оцінювання технічного стану та його прогнозування (визначення залишкового ресурсу), управління старінням (обґрунтування необхідності проведення ремонту, підсилення або заміни) залізобетонних конструкцій, будівель та споруд в цілому.

Розв'язання цієї проблеми неможливе без удосконалення методів визначення визначальних параметрів технічного стану залізобетонних конструкцій і врахування можливих змін параметрів після різних впливів при розрахунках конструкцій за граничними станами для обґрунтування можливості подальшої експлуатації.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, питаннями, темами.** Тема дисертації прямо пов'язана та відповідає актуальним напрямам науково-технічної політики України в галузі впровадження нормативних документів, гармонізованих із європейськими, згідно з постановами та розпорядженнями Кабінету Міністрів України: від 23 травня 2011 № 547 «Про затвердження Порядку застосування будівельних норм, розроблених на основі національних технологічних традицій, та будівельних норм, гармонізованих з нормативними документами Європейського Союзу».

Основні наукові результати стали складовою частиною науково-дослідної роботи кафедри наглядово-профілактичної діяльності Національного університету цивільного захисту України (м. Харків) «Прогнозування залишкового ресурсу будівельних конструкцій після силових, деформаційних і високотемпературних впливів» №ДР 0119U001003 та кафедри будівельних конструкцій Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України (м. Черкаси) «Визначення технічного стану будівель та споруд при силових та високотемпературних впливах. Розробка неруйнівних методик дослідження технічного стану будівель та споруд» №ДР 0113U004019.

Крім того, значна частина робіт виконувалася шляхом господарських договорів з обстеження, визначення технічного стану та підвищення експлуатаційної придатності залізобетонних конструкцій, будівель та споруд в цілому.

**Метою роботи** є розроблення методології оцінювання, прогнозування та регулювання технічного стану експлуатованих залізобетонних конструкцій, будівель та споруд в цілому при силових і високотемпературних впливах на основі прямого і диференційованого врахування факторів, що характеризують їхній напружено-деформований стан.

#### **Завдання досліджень:**

1. Узагальнити результати досліджень в області визначення контрольованих параметрів, обґрунтувати необхідність проведення досліджень в цій області, сформулювати передумови та допущення, виконати комплексний аналіз характерних відмов і пошкоджень залізобетонних конструкцій.

2. Розробити комплекс взаємозв'язаних заходів щодо визначення контрольованих параметрів, НДС і технічного стану конструкцій при різних впливах на основі результатів проведених обстежень. Визначити небезпечні параметри, що характеризують можливу зміну умов експлуатації (збільшення силових навантажень, високотемпературні впливи тощо).

3. На основі результатів проведених розрахунків для реальних конструкцій встановити область таких параметрів НДС, при яких подальша безпечна експлуатація конструкцій, будівель та споруд була б можливою.

4. На основі розробленого методу визначення НДС експлуатованих конструкцій, будівель та споруд розробити математичну модель будівлі.

5. Розробити метод визначення технічного стану конструкцій та прогнозу його зміни в залежності від умов експлуатації конструкцій, а також методи розрахунку НДС, оцінки технічного стану і можливості його регулювання для подальшої безпечної експлуатації конструкцій будівель та споруд при різних впливах.

6. Розробити методи визначення залишкового ресурсу конструкцій в залежності від умов експлуатації.

7. Розробити методи визначення контрольованих параметрів конструкцій, які мають пошкодження в процесі експлуатації від різних впливів, а також методи розрахунку таких конструкцій.

8. Розробити інженерні способи розрахунку НДС та несучої здатності на основі методів визначення контрольованих параметрів.

9. Розробити пропозиції щодо розвитку способів регулювання технічного стану будівельних конструкцій, які мають забезпечити подальшу надійну експлуатацію конструкцій.

10. Розробити методологію моніторингу будівельних конструкцій, яка була б оптимальною за критерієм витрат, з метою організації спостережень за змінами показників параметрів технічного стану та оцінювання визначених змін.

11. Впровадити результати досліджень в практику проектування і спостереження за будівлями та спорудами.

*Об'єкт досліджень.* Процес деформування і руйнування експлуатованих залізобетонних конструкцій будівель та споруд при силових і високотемпературних впливах.

*Предмет досліджень.* Вплив силових і високотемпературних факторів на НДС та подальшу експлуатацію залізобетонних конструкцій будівель та споруд.

**Методи досліджень.** В роботі використано наступні методи досліджень:

– методи діагностики технічного стану будівельних конструкцій з визначенням їхніх контрольованих параметрів, що дозволяє обґрунтовано підходити до визначення виду технічного стану і прийняття відповідних рішень щодо подальшої експлуатації конструкцій;

– методи математичної статистики та теорії імовірності для обробки результатів, які отримано в ході натурних обстежень експлуатованих будівельних конструкцій, що дозволило адекватно підійти до оцінки отриманих експериментальних даних для визначення технічного стану конструкцій;

– експериментальні методи досліджень будівельних конструкцій при різних впливах, які базуються на передових методах досліджень конструкцій при

випробуваннях і обстеженнях пошкоджених під час експлуатації конструкцій будівель та споруд із залученням сучасних приладів і обладнання;

– методи розрахунку будівельних конструкцій за обома групами граничних станів, які дозволяють виконати визначення виду технічного стану реальних конструкцій і порівняти отримані під час розрахунку результати з даними, які отримано під час проведення експериментальних і натурних досліджень;

– методи математичного моделювання процесів експлуатації, що дозволяють моделювати різні впливи, яким можуть бути піддані реальні конструкції, та робити прогноз розвитку зміни параметрів технічного стану під час подальшої експлуатації конструкцій за різних умов.

**Наукова новизна** одержаних результатів полягає у тому, що *вперше*:

1. Розроблено комплексну математичну модель будівлі або споруди, яка відрізняється від наявних тим, що враховуються додаткові фактори – збільшення силових навантажень і високотемпературні впливи.

2. Розроблено методологію визначення технічного стану конструкцій, яка відрізняється від наявних врахуванням високотемпературних впливів.

3. Розроблено модель прогнозування стану споруди, якщо вона буде піддана високотемпературним впливам.

4. Розроблено методологію щодо розрахунку конструкцій при спільній дії силових і високотемпературних впливів, яка відрізняється від традиційних тим, що при проектуванні заздалегідь враховуються можливі зміни контрольованих параметрів.

**Одержали подальший розвиток:**

5. Інженерні способи визначення НДС і несучої здатності конструкцій, будівель та споруд при спільній дії силових і високотемпературних впливів, які відрізняються від традиційних тим, що при проектуванні заздалегідь враховуються можливі зміни контрольованих параметрів.

6. Методологія експериментальних досліджень будівельних конструкцій, фрагментів будівель та споруд при спільній дії силових і високотемпературних впливів.

7. Способи регулювання технічного стану будівельних конструкцій.

8. Методологія моніторингу будівельних конструкцій.

**Достовірність та обґрунтованість результатів** забезпечено розв'язанням поставленої задачі з використанням результатів експериментальних досліджень; використанням у розрахунках фундаментальних закономірностей будівельної механіки, опору матеріалів, методів розрахунку будівельних конструкцій за допомогою сучасних розрахункових комплексів МСЕ; порівняннями отриманих даних з експериментальними результатами, як власними, так і інших дослідників, у тому числі закордонних, даними чисельного моделювання роботи конструкцій, а також статистичною обробкою отриманих результатів.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в наступному:

1. Розроблена методологія дозволила створити математичну модель будівлі за результатами обстеження, що дозволяє визначити реальний НДС експлуатованих конструкцій будівель, дає можливість вивчити вплив різних факторів ризику, які

встановлено на основі аналізу умов експлуатації конструкцій за результатами обстеження, на подальшу поведінку конструкцій та будівлі в цілому.

2. Запропоновано методи розрахунку пошкоджених в процесі експлуатації конструкцій від силових та високотемпературних впливів, які базуються на положеннях чинних норм та доповнюють їх в цій частині.

3. Запропоновано рекомендації щодо прогнозування технічного стану конструкцій під час їхньої експлуатації, які дозволяють обґрунтовано визначити ресурс конструкцій.

4. Запропоновано систему моніторингу, яка дає можливість постійно отримувати інформацію про контрольовані параметри під час експлуатації конструкцій.

5. Метод розрахунку використано при розробці розділу проекту будівлі бізнес-центру за адресою пр. Богдана Хмельницького, 102 в місті Донецьку (розрахунок колони на вогнестійкість), розрахунках конструкцій покриття будівлі нежитлового призначення для медичного центру «Добробут» м. Києва на температурні впливи, а також визначенні несучої здатності шатрової плити перекриття після пожежі на дев'ятому поверсі дев'ятиповерхового житлового будинку №136 по вул. Червоноармійській в м. Києві.

6. Отримані в ході проведення робіт результати в частині визначення контрольованих параметрів, впливу різних чинників на НДС та несучу здатність конструкцій використано при розробці практичного посібника «Розрахунок залізобетонних конструкцій на вогнестійкість відповідно до Єврокоду 2», ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 «Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд», ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016 «Проектування сталевих конструкцій. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість».

7. Теоретичні, технологічні та методологічні положення роботи використані в навчальному процесі та підготовці бакалаврів та магістрів за спеціальністю 263 «Цивільна безпека».

**Особистий внесок здобувача** полягає в тому, що всі основні результати дисертаційної роботи автором одержані самостійно. Окремі наукові результати отримано у співавторстві й опубліковано у наукових статтях. Особистий внесок здобувача включає постановку мети та завдань виконаних досліджень, загальне керівництво виконанням робіт, розробку загальної методики проведення обстежень, участь у проведенні обстежень конструкцій будівель та споруд, розробку методики та проведенні досліджень на вогнестійкість, визначенні міцності бетону й арматури після досліджень на вогнестійкість, аналіз отриманих експериментальних даних, розробку методу розрахунку конструкцій з не проектними умовами експлуатації. Запропоновано новий підхід до оцінювання технічного стану будівельних конструкцій після високотемпературних впливів внаслідок пожежі, розроблено методики визначення технічного стану експлуатованих будівель та споруд і залишкового ресурсу. Крім того, розроблено окремі положення моніторингу будівельних конструкцій, комплексну математичну модель і виконано розрахунки конструкцій будівлі на основі результатів обстеження.

У дисертації не використовувались матеріали кандидатської дисертації.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися й отримали підтримку на науково-практичних конференціях різного рівня: I та II Міжнародних науково-практичних конференціях «Пожежна безпека: теорія та практика» (Черкаси, 2011 – 2012 рр.); Міжнародній науково-практичній конференції «Пожежна безпека – 2011» (Харків, 2011 р.); науково-практичній конференції «Теорія та практика ліквідації надзвичайних ситуацій-2011» (Черкаси, 2011 р.); 14-й Всеукраїнській науково-практичній конференції рятувальників (Київ, 2012 р.); Международном научном семинаре «Проблемы обеспечения пожарной безопасности объектов хозяйствования» (Республіка Казахстан, Кокшетау, 2013 – 2014 рр.); III та IV 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.); II научно-практической конференции курсантов и студентов «Стратегия «Казахстан - 2050»: совершенствование системы защиты от чрезвычайных ситуаций, развитие научных исследований в сфере безопасности и жизнедеятельности населения» (Республіка Казахстан, Кокшетау, 2014 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» (Черкаси, 2014 р.); I Международной научно-практической конференции «Роботизированные системы пожаротушения» (Республіка Білорусь, Гродно, 2014 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист» (Черкаси, 2015 р.); III Всеукраїнському науково-практичному семінарі «Досвід впровадження у навчальний процес сучасних комп'ютерних технологій (Кіровоград, 2015 р.); Международной научно-практической конференции «Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций: противодействие современным вызовам и угрозам» (Республіка Білорусь, Мінськ, 2017 р.); XVIII Международная научная конференция «Новые технологии и достижения в металлургии, инженерии материалов и процессов и физике» (Польща, Ченстохова, 2017 р.); I науково-практичній конференції «Будівельне право: проблеми теорії і практики» (м. Київ, 2017 р.); V та VI Міжнародних конференціях «Актуальні проблеми інженерної механіки» (м. Одеса, 2018–2019 рр.); VII Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (м. Харків, 2018 р.), III Міжнародній конференції «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд» (м. Одеса, 2019 р.).

Дисертація в цілому розглядалася на засіданні наукового семінару кафедри будівельної механіки Одеської державної академії будівництва та архітектури (січень 2019 р.); розширеному засіданні кафедри наглядно-профілактичної діяльності факультету цивільного захисту Національного університету цивільного захисту України (березень 2019 р.); розширеному семінарі відділу надійності будівельних конструкцій та відділу досліджень конструкцій будівель та споруд ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (липень 2019 р.).

**Публікації.** Результати дисертаційної роботи опубліковані в 65 наукових працях, з них 30 статей у фахових виданнях України, 9 статей в закордонних фахових виданнях, з них 7 статей у виданнях, які включено до міжнародних наукометричних баз Scopus, 1 патент на корисну модель та 23 тези доповідей на конференціях.



**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та 7 додатків. Загальний обсяг дисертації складає 365 сторінок, з яких 269 сторінок основного тексту, містить 94 рисунки та 20 таблиць. Список використаних джерел складається з 331 найменування на 39 сторінках, додатки на 30 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано вибір теми досліджень, сформульовано мету та завдання досліджень, наукову новизну та практичне значення роботи, представлено її загальну характеристику.

У **розділі 1** розглядаються сучасні методи та підходи для визначення технічного стану будівель та споруд. Розкривається стан проблеми оцінювання технічного стану залізобетонних конструкцій будівель та споруд, які було піддано дії силових та високотемпературних впливів.

Проблемам визначення та прогнозування технічного стану і залишкового ресурсу будівель та споруд присвячено роботи Т.Н. Азізова, К.М. Бабіка, Є.М. Бабича, А.М. Бамбури, З.Я. Бліхарського, О.П. Воскобійник, О.І. Голоднова, В.М. Гордеева, Є.А. Єгорова, Д.А. Єрмоленка, М.Ю. Ізбаша, Р.І. Кінаша, Є.В. Клименка, В.П. Корякіна, М.Б. Краковського, О.П. Кудзіса, В.М. Кущенко, А.І. Лантуха-Лященко, В.А. Банаха, О.І. Лапенка, О.С. Личева, А.В. Махінька, О.В. Нижника, В.А. Пашинського, С.Ф. Пічугіна, Л.І. Стороженка, О.В. Семка, Б.Й. Снаркіса, С.Б. Усаковського, О.В. Шимановського, В.С. Шмуклера та ін.

Проведений аналіз нормативної та науково-технічної літератури дозволяє зробити висновок, що в Україні відсутня нормативна база щодо визначення технічного стану і залишкового ресурсу залізобетонних конструкцій після силових та високотемпературних впливів.

Дослідження зміни характеристик міцності матеріалів конструкцій і поведінки конструкцій при високотемпературних впливах проводили Б. Бертелемі, Ж. Крюпа, О.П. Кричевський, А.І. Яковлев, А.Ф. Мілованов, І.Л. Мосалков, Г.Ф. Плюсніна, О.Ю. Фролов, С.Л. Фомін, Г.Л. Ватуля, О.І. Голоднов, Б.Г. Демчина, В.І. Корсун, Л.А. Като, Л.Б. Кравців, С.В. Поздєєв, О.В. Некора та ін.

Пропозиції щодо врахування чинних навантажень і впливів, зокрема впливу високих температур, зміни властивостей матеріалів елементів будівлі та контактних умов, які представлено в зручній формі для експлуатованих залізобетонних конструкцій, відсутні.

Аналіз досліджень вітчизняних і закордонних авторів виявив, що основну частину робіт присвячено вивченню вогнестійкості залізобетонних конструкцій. В нормативних документах досить повно наведено основні положення щодо розрахунку вогнестійкості залізобетонних конструкцій. Однак експериментальних досліджень, які пов'язано з вивченням залишкової несучої здатності залізобетонних конструкцій після пожежі, відомо небагато.

Проведено аналіз сучасних вимог до засобів і методів захисту будівель та споруд, які побудовано у складних ґрунтових умовах (СГУ). Крім особливостей деформацій ґрунтової основи, для будівель та споруд у СГУ необхідно передбачати

можливість високотемпературного впливу під час пожежі. Оскільки для СГУ в будівлях встановлюються додаткові металеві елементи підсилення, високотемпературні впливи при пожежі можуть спричинити руйнування елементів захисту і призвести до руйнування будівлі не стільки від пожежі, скільки від нерівномірних деформацій основи.

Розглянуто загальні принципи забезпечення надійної експлуатації будівель та споруд у зв'язку з тенденцією зростання кількості аварій, пожеж та руйнувань, які викликано головним чином вичерпанням залишкового ресурсу.

Надійність об'єктів залишається не визначальною, але безумовною вимогою безпеки. Дослідження в цьому напрямку проводили Г. Аугусті, А. Баратта, А.Я. Барашиков, Ф. Кашиаті, В.В. Болотін, В.Д. Райзер, О.Р. Ржаніцин, А.В. Перельмутер, М.Д. Сирота, О.П. Синіцин, М.С. Стрелецький, С.Ф. Пічугін та ін.

Під безпекою розуміється відсутність неприпустимого ризику, який пов'язаний з можливістю завдання будь-якої шкоди для життя, здоров'я та майна громадян, а також для навколишнього природного середовища. До об'єктів пред'являються не тільки звичні вимоги збереження експлуатаційних якостей протягом запроєктованого терміну служби, але й вимоги з обмеження можливих наслідків експлуатації, які можуть бути пов'язані не тільки із загрозою для здоров'я людей і небезпекою для навколишнього середовища, а й з серйозним економічним і моральним збитком.

Аналіз чинних методик дозволив встановити, що відсутні доведені до практичного використання методи визначення й оцінювання технічного стану, розрахунку НДС, моделювання технічного стану та обґрунтування подальшої надійної експлуатації залізобетонних конструкцій будівель та споруд після силових і високотемпературних впливів.

На основі виконаного аналізу сучасної науково-технічної літератури сформульовано основні завдання досліджень.

У **розділі 2** дисертаційної роботи викладено методичний підхід до оцінювання технічного стану залізобетонних конструкцій будівель та споруд. З цією метою розроблено комплекс взаємозв'язаних заходів щодо визначення параметрів НДС і технічного стану при силових і високотемпературних впливах.

Метою проведення робіт з оцінювання технічного стану конструкцій будівель та споруд залишається визначення можливості їхньої подальшої експлуатації.

За результатами візуального обстеження при виявленні істотних дефектів, що впливають на несучу здатність і довговічність конструкцій, необхідно виконати інструментальне обстеження. За результатами аналізу технічної документації, візуального й інструментального обстежень приймається рішення про необхідність виконання математичного моделювання технічного стану залізобетонних конструкцій і перевірочних розрахунків.

Оцінювання технічного стану будівельних конструкцій проводиться шляхом зіставлення контрольованих параметрів, які визначаються в ході проведеного візуального й інструментального обстежень, з відповідними проектними параметрами, а також за результатами перевірочних розрахунків.

Наведено особливості визначення технічного стану конструкцій після пожежі та інших аварійних ситуацій. Практика інженерних обстежень залізобетонних конструкцій після пожеж показує, що 50-80% конструкцій технічно можливо й

економічно доцільно використовувати для подальшої експлуатації. Несуча здатність, прогини та тріщиностійкість конструкцій після пожежі визначаються в процесі розробки проекту відновлення конструкцій і будівлі в цілому.

Запропоновану методику було апробовано на прикладі конструкцій будівлі, яку розташовано на території ДО Комбінату “Прогрес” в м. Києві, що зазнали впливу пожежі (рис. 1, 2).



Рис. 1 Вигляд тріщин у місцях обпирання залізобетонних балок на стіну



Рис. 2 Порушення захисного шару бетону з оголенням робочої арматури

Перехід конструкцій в граничний стан можливий, якщо досягли граничних величин такі параметри як геометричні розміри (зменшення внаслідок корозійного зносу), міцність матеріалу конструкцій, а вузли сполучення, закладні деталі тощо зруйновано або пошкоджено.

Мінімально допустимі величини контрольованих параметрів встановлюються за результатами розрахунків будівельних конструкцій відомими методами будівельної механіки й опору матеріалів для визначення несучої здатності та порівняннями їх з максимальним чинним зусиллям:

$$F_{cr}[x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)] > F, \quad (1)$$

де  $F_{cr}[x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)]$  – функція несучої здатності;  $F$  – визначається за результатами спрощених розрахунків або математичного моделювання НДС конструкцій і будівлі в цілому.

Як параметри  $x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)$  приймаються розміри поперечного перерізу, міцність матеріалів, деформації ґрунтової основи як функції часу. Визначення величини чинного зусилля  $F$  для статично визначених конструкцій не представляє ускладнень з принципової точки зору. Для статично невизначених конструкцій величина  $F$  визначається за результатами математичного моделювання технічного стану, який встановлено за результатами обстеження.

Перехід нерівності (1) в рівняння свідчить про вичерпання несучої здатності конструкції. Подальша експлуатація можлива після проведення робіт із підсилення (заміни) або ремонту.

В **третьому розділі** наведено методики визначення НДС та характеристик жорсткості залізобетонних елементів при силових і високотемпературних впливах.

Визначення НДС, несучої здатності та тріщиностійкості залізобетонних конструкцій необхідно виконувати згідно з загальними принципами розрахунку, які наведено у чинному ДБН В.2.6-98:2009. При цьому необхідно враховувати зміну властивостей бетону й арматури після пожежі введенням додаткових коефіцієнтів, які враховують зниження контрольованих параметрів матеріалів. Додаткові коефіцієнти враховують зміну тривалої міцності бетону після дії високих температур та зовнішнього навантаження, порушення структури бетону тощо. Значення цих коефіцієнтів залежать від класу арматури, виду бетону й умов його твердіння, від температури нагріву бетону й арматури при пожежі, від дії води на залізобетонні конструкції при гасінні пожежі.

В основу розробленої методики статичного розрахунку та врахування властивостей залізобетону покладено передумови, які зазвичай приймаються за таких умов (модель НДІБК):

- за розрахунковий приймається переріз, НДС якого відповідає середньому стану блоку між тріщинами, якщо такі є;
- для середніх деформацій бетону й арматури приймається гіпотеза плоских перерізів;
- зв'язок між напруженнями та деформаціями бетону й арматури приймається у вигляді умовно-точних або ідеалізованих діаграм;
- вплив тріщиноутворення на роботу залізобетону враховано шляхом множення опору  $f_{cd}$  на коефіцієнт  $\psi_{bt} < 1$ ;
- вичерпання несучої здатності перерізу відбувається у разі досягнення деформаціями стиснутого бетону або розтягнутої арматури своїх граничних значень  $\epsilon_{cu}$ ,  $\epsilon_{su}$ .

При розрахунках конструкцій при високотемпературних впливах необхідно врахувати температурний режим пожежі та її тривалість. На несучу здатність і деформативність будівельних конструкцій, що знаходяться в умовах пожежі, впливають фізико-механічні властивості матеріалу конструкції, які змінюються залежно від температури нагріву. Зокрема, такі властивості визначаються границею міцності й модулем пружності матеріалу, з якого виконано конструкції.

Залежності зміни характеристик міцності отримано із застосуванням методу найменших квадратів і для призмової міцності вони мають вигляд:

- для керамзитобетону на ділянці від 60 °C до 700 °C

$$\alpha_{\theta} = \frac{f_{cd,\theta}}{f_{cd}} = 0,98 + 0,102 \cdot \left(\frac{\theta}{100}\right) - 0,02555 \cdot \left(\frac{\theta}{100}\right)^2; \quad (2)$$

- для важкого бетону на ділянці від 60 °C до 700 °C

$$\alpha_{\theta} = \frac{f_{cd,\theta}}{f_{cd}} = 0,6184 + 0,232 \cdot \left(\frac{\theta}{100}\right) - 0,03608 \cdot \left(\frac{\theta}{100}\right)^2. \quad (3)$$

Залежності зміни модуля пружності бетону від температури також отримано методом найменших квадратів. Формули для модуля пружності мають вигляд:

- для керамзитобетону на ділянці від 120 °C до 800 °C

$$\beta_{\theta} = \frac{E_{cm,\theta}}{E_{cm}} = 1,025 - 0,121 \cdot \left(\frac{\theta}{100}\right) + 0,00367 \cdot \left(\frac{\theta}{100}\right)^2; \quad (4)$$

– для важкого бетону на ділянці від 120 °С до 800 °С

$$\beta_{\theta} = \frac{E_{cm,\theta}}{E_{cm}} = 1,2 - 0,14 \cdot \left(\frac{\theta}{100}\right) - 0,0012 \cdot \left(\frac{\theta}{100}\right)^2. \quad (5)$$

В цих формулах:  $\theta$  - температура нагріву.

Залежності зміни характеристик міцності бетону для розрахунків залізобетонних конструкцій при силових і високотемпературних впливах можна отримати і безпосередньо з діаграми «напруження-деформації» (рис. 3).

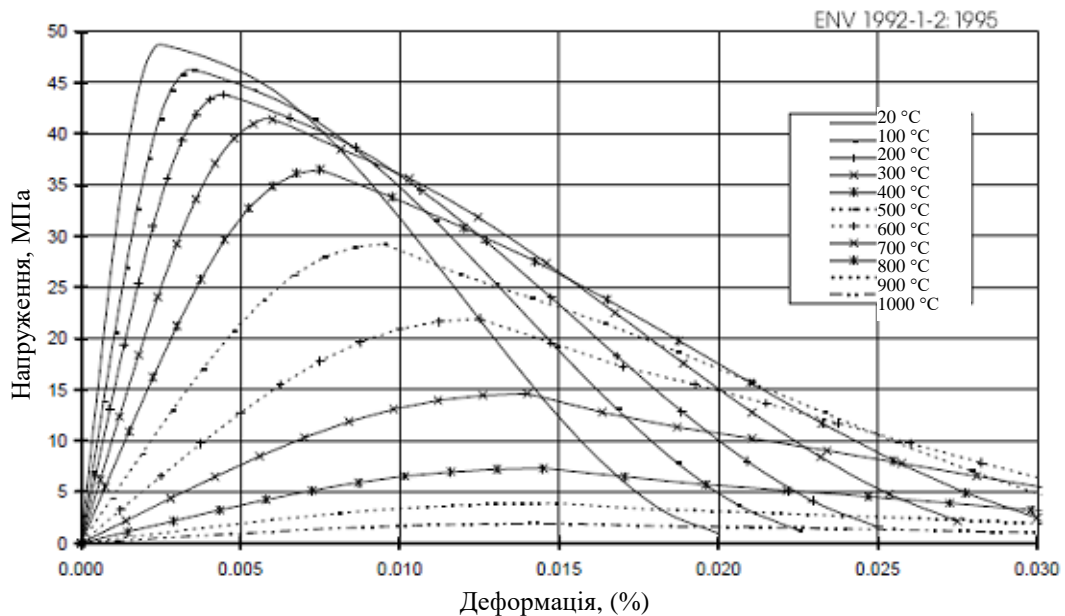


Рис. 3 Діаграми «напруження-деформація» стиснутого бетону за підвищених температур

Таким чином, напруження в бетоні при тривалій дії навантаження і високотемпературних впливах можна визначити за формулою:

$$\sigma_{c,\tau,\theta} = \alpha_{cd} \cdot \alpha_{\tau} \cdot \alpha_{\theta} \cdot f_{cd}. \quad (6)$$

Величину коефіцієнта  $\alpha_{\theta}$  визначають за формулами (2), (3), діаграмою (рис. 3), а зміну модуля пружності бетону при нагріванні – за формулами (4), (5).

Для оцінки технічного стану конструкцій зазвичай використовуються:

- критерій відповідності конструкції (споруди) робочій документації (розміри, армування, конструктивні особливості тощо);
- критерій відповідності конструкції (споруди) визначальним параметрам технічного стану (наявність або відсутність дефектів і пошкоджень, відповідність застосованих матеріалів вимогам проекту тощо) і задоволення вимогам розрахунку за граничними станами I й II груп.

В ході виконання перевірочних розрахунків передбачається:

- математичне моделювання конструкцій методом скінченних елементів (МСЕ) з урахуванням встановленого технічного (деформованого) стану;

- розрахунок конструкцій і визначення зусиль і деформацій в елементах;
- порівняння характеру деформацій реального об'єкту і математичної моделі й уточнення, у разі потреби, характеристик жорсткості матеріалів елементів моделі;
- розрахунок уточненої моделі, визначення зусиль і переміщень;
- перевірка дотримання умов, які забезпечують несучу здатність і деформативність будівельних конструкцій, будівель та споруд, оцінювання їхнього технічного стану;
- коректування розрахункової схеми з урахуванням встановлення елементів підсилення та розрахунок нової моделі, проектування підсилення конструкцій.

У **четвертому розділі** наведено результати експериментальних досліджень залізобетонних плит, колон, балок-стінок і фрагменту будівлі на силові та високотемпературні впливи.

Наведено результати випробувань двох серій зразків плит по 2 шт. в кожній (рис. 4, 5). Для випробувань першої серії було надано два зразки плити ПБ 36-12-8 розмірами 3580x1195x220 мм. Несучий сталевий каркас складався з чотирьох верхніх поздовжніх попередньо напружених арматурних стрижнів з арматурної проволочки Ø5 Вр II та семи нижніх груп по три арматурних стрижні Ø5 Вр II.



Рис. 4 Вигляд зразків на печі під навантаженням



Рис. 5 Зона обвалення зразка №2

Крім цього, було виготовлено допоміжні зразки (куби, призми, фрагменти арматурних стрижнів). Випробування допоміжних зразків дозволило отримати дані про фізико-механічні характеристики застосованих матеріалів. Відрізки арматурних стрижнів було вилучено з арматури, що використовувалась для армування плит.

Зразки було змонтовано на горизонтальній печі з обпиранням на 100 мм по краях через шар з базальтових плит ROCKMIN. Торці плити не було замуровано, а нижня поверхня не була облицьована шпаклівкою. Навантаження здійснювалось каліброваними вантажами у вигляді бетонних блоків, які встановлювались на зразках через компенсуючі опори 160x30x25 мм з мінеральних плит CONLIT 150 P.

Прогин визначався в центрі плити. На кожному зразку з не обігрівальної сторони встановлювались по 5 термопар ТХА (рис. 6).

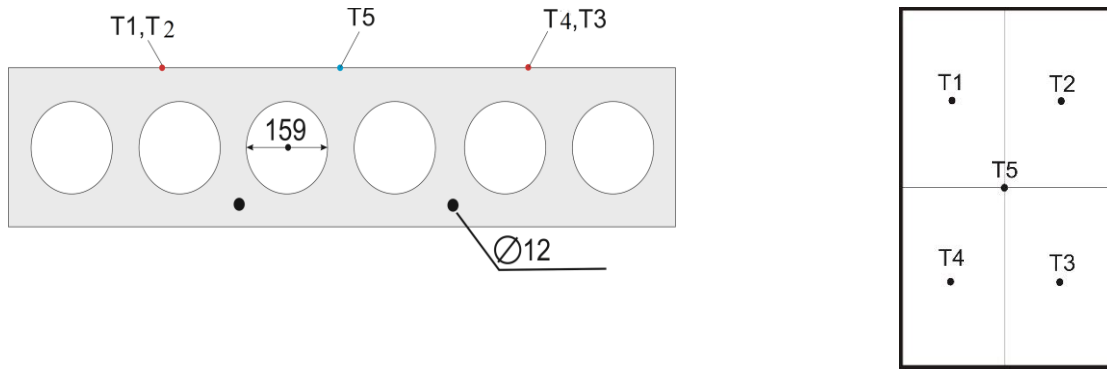


Рис. 6 Схема розташування термопар ТХА на необігрівній поверхні

На 25 хв. випробувань у зразках відбулося утворення поздовжніх тріщин з обох сторін, які з часом збільшувались і на 39 хв. випробувань відбулося обвалення (втрата цілісності та несучої здатності зразка) краю зразка №2. Випробування були продовжені до 45 хв. Втрати несучої здатності, цілісності та теплоізолювальної здатності зразка №1 не відбулося.

Максимальні значення прогину та швидкості наростання деформацій склали (45 хв.), відповідно 30 мм та 1 мм/хв. (зразок №1) і 31 мм та 1 мм/хв. (зразок №2).

Було встановлено, що межа вогнестійкості плит перекриття без замурування торців і облицювання шпаклівкою становить 38 хв. (REI 30).

В роботі наведено результати досліджень залізобетонних балок-стінок прямокутного перерізу 600x700 мм довжиною 2000 мм (рис. 7).

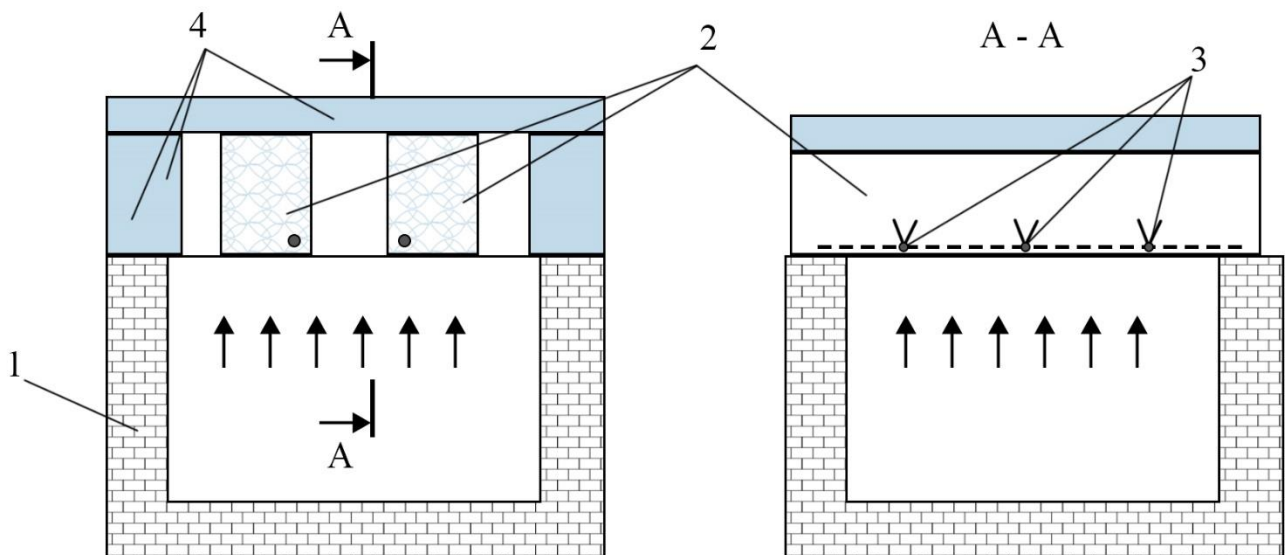


Рис. 7 Схема розташування зразків в печі: 1 – піч, 2 – зразки балки, 3 – термопари, 4 – огорожувальні елементи

Зразки мали арматурний об'ємний каркас. Основна несуча арматура (нижня повздовжня) Ø25 мм А500С (3 шт.) та Ø32 мм А500С (3 шт.). Значення товщини

захисного шару бетону до нижніх поздовжніх арматур 34 мм. Бетон для плит був класу C25/30.

Межа вогнестійкості залізобетонної балки-стінки прямокутного перерізу 600x700 мм становить не менше 62 хв. Клас вогнестійкості R60. Результати експериментальних досліджень надалі дозволили перевірити основні положення розроблених розрахункових методик.

На полігоні УкрНДЦЗ було розроблено методику і виконано випробування на вогнестійкість залізобетонної просторової конструкції, яка моделювала кімнату багатопверхового будинку. Вогневе навантаження приймалось у вигляді реального вогнища пожежі таким, що виникає при згоранні меблів. Під час випробувань передбачалось визначення технічного стану залізобетонних конструкцій після високотемпературного впливу. Конструктивна система являла собою просторову конструкцію із монолітними залізобетонними стінами та плитою перекриття розміром на кімнату. Армвання конструкцій, а також застосовані матеріали (бетон, арматура), відповідали фактично використовуваним при будівництві житлових будинків із монолітного залізобетону. Стіни було виконано з трьох сторін, а одна сторона конструкції була не забудована і дозволяла спостерігати розвиток пожежі в часі.

Отримані в ході проведення випробувань результати дозволили встановити наступне:

- високотемпературне нагрівання і подальше гасіння пожежі водою призводить до руйнувань поверхневих прошарків і знеміцнення бетону. Витримка конструкцій на відкритому повітрі призводить до руйнувань і розшарувань знеміцненого бетону з оголенням і кородуванням арматури;

- конструкції, які зазнали пошкоджень під час дії високих температур при пожежі, мають бути обов'язково підсилені або замінені. Експлуатація таких конструкцій неможлива внаслідок локальних змін характеристик міцності та деформативності бетону.

Для отримання експериментальних даних було проведено дослідження зразків арматурної сталі різних класів (A240, A400, A500, A600). Нагрівання зразків до температури 700 °С виконувалось за допомогою трубчастої електропечі. Випробування на розтяг виконувались на розривній машині УМ-4Р. Коефіцієнт зниження опору арматурної сталі зі збільшенням температури зменшується, має вигляд пологої кривої, суттєво відрізняється від кривої ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016 (рис. 8, 9, 10).

Крім цього, було виконано випробування колон на вогнестійкість. Було виготовлено два зразки залізобетонних колон перерізом 600x600 мм заввишки 2000 мм. Зразки було виготовлено на Броварському ЗБВ у металевій опалубці. Кожний зразок мав несучий каркас, який складався з восьми поздовжніх арматурних стрижнів Ø20 мм А400С за ДСТУ 3760:2006.

Поперечну арматуру прийнято Ø10 мм А240С за ДСТУ 3760:2006 і було встановлено по зовнішньому контуру поздовжніх арматурних стрижнів. Крім того, було встановлено арматуру Ø10 мм А240С, за допомогою якої було об'єднано між собою центральні стрижні по кожній грані.



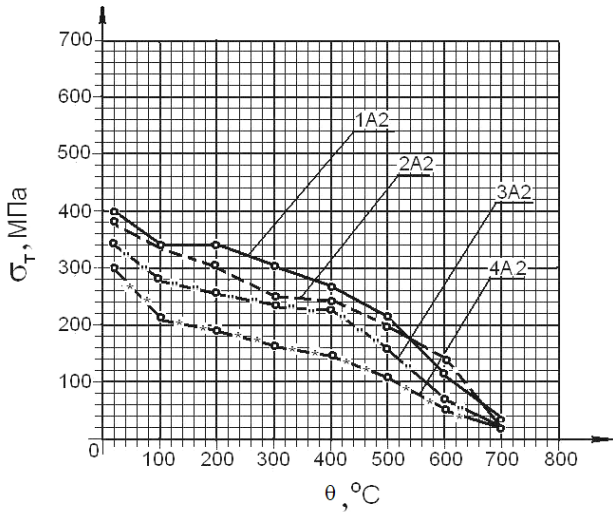


Рис. 8 Залежність границі текучості від температури

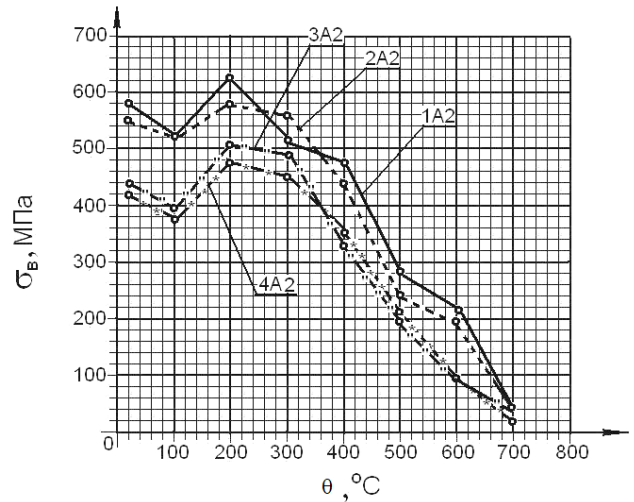


Рис. 9 Залежності границі міцності від температури

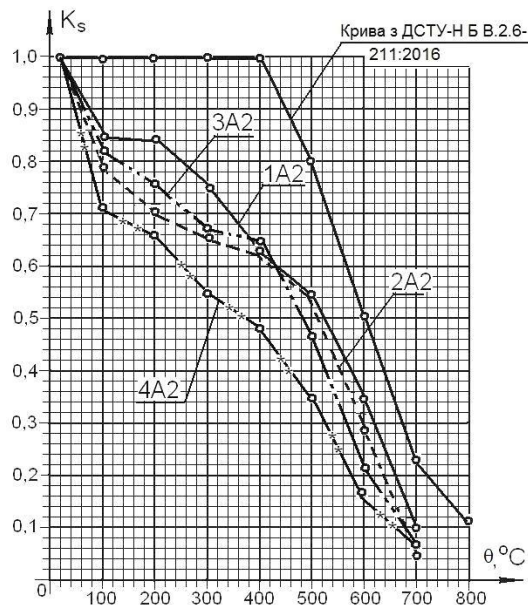


Рис. 10 Залежність коефіцієнта зниження характеристичного опору від температури

При виготовленні колон використано бетон класу С25/30. Для визначення характеристик бетону в колонах було проведено експериментальні дослідження міцності бетону колон ультразвуковим методом за ДСТУ Б В.2.7-226:2009.

Після проведення попередніх випробувань було виконано випробування колон на вогнестійкість.

Для випробувань використано спеціальну випробувальну піч та відповідні засоби вимірювальної техніки.

Характеристики арматури визначено за результатами стандартних випробувань зразків, які було вилучено з арматурних стрижнів під час виготовлення арматурних каркасів.

Оскільки колони було випробувано без навантаження, межу вогнестійкості за ознакою втрати несучої здатності (ознака **R**) було визначено за умови розподілу температур по перерізу колони. Час втрати несучої здатності визначено по перевищенню середньої температури стрижнів несучої арматури над початковим значенням цієї температури на  $480^{\circ}\text{C}$ . Для вимірювання температури поздовжньої арматури зразків під час випробувань на чотирьох арматурних стрижнях кожного зразка було встановлено термопари ТХА. Для отримання розподілення значень температури по перерізу зразка було встановлено по п'ять термопар ТХА (рис. 11).

Втрата несучої здатності зразка №1 під час випробувань відбулась на 152 хв., оскільки значення середньої температури ( $T_{l,cp}$ ) поздовжньої несучої арматури зразка перевищила початкове значення на  $480^{\circ}\text{C}$ , виявлено руйнування захисного шару бетону (рис. 12). Втрати несучої здатності зразка №2 під час випробувань протягом 160 хв. не відбулося, оскільки значення середньої температури несучої арматури зразка не перевищило початкового значення на  $480^{\circ}\text{C}$ .

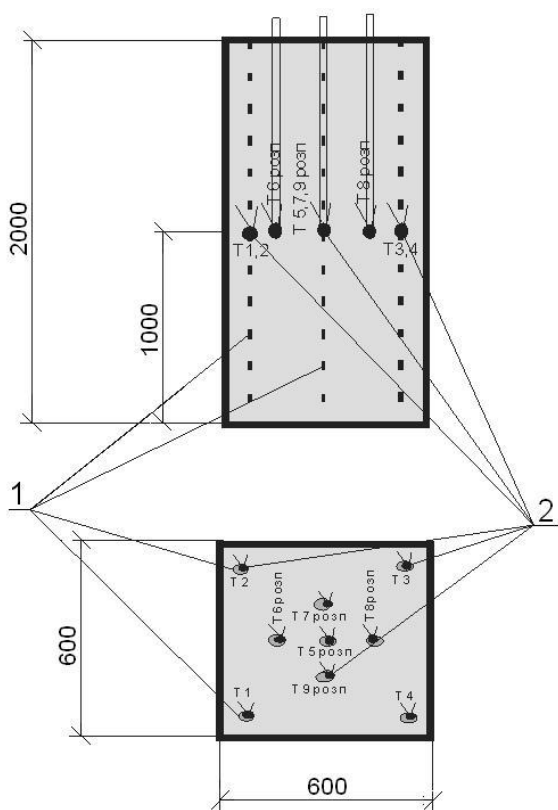


Рис. 11 Схема розміщення термопар в колоні



Рис. 12 Руйнування захисного шару бетону колони після випробувань

Після випробувань було виконано розрізання колони №1 з метою визначення характеру руйнування і характеристик бетону по перерізу. Розрізання дозволило встановити, що в кутових зонах і по периметру відбулося руйнування бетону з утворенням тріщин по колу (рис. 13).

В центральній частині перерізу було сформовано ядро, яке майже не зазнало руйнувань під час випробувань. Таким чином, за результатами випробувань встановлено, що найбільш ефективною формою поперечного перерізу залізобетонної колони можна вважати круглу. Для такої форми, під час нагрівання, бетон буде

розширюватись в поперечному напрямку рівномірно, а кільцева арматура буде забезпечувати роботу бетону без руйнування.



Рис. 13 Розрізання колони після випробувань

Характеристики міцності арматурної сталі після нагрівання до температури 500 °С зазнали зменшення: для арматури А240С це зменшення досягло приблизно 1,5%, а для арматури А400С – майже 2,5%.

Результати експериментальних досліджень надалі дозволили перевірити основні положення розроблених розрахункових методик.

У **п'ятому розділі** наведено результати порівнянь експериментальних досліджень, чисельного моделювання і розрахунків за розробленими методиками.

Враховуючи розвинуті можливості ANSYS, саме цей пакет було обрано для моделювання залізобетонних конструкцій, що розглядаються, при силових і високотемпературних впливах та подальшого їх розрахунку методом скінченних елементів з метою визначення та оцінювання технічного стану (рис. 14-18).

Найбільш перспективним шляхом для проведення верифікації експерименту є комп'ютерне моделювання конструкції при силових та високотемпературних впливах, яке виконано в програмному забезпеченні ANSYS Workbench 17.1. Для оцінки результатів експериментальних досліджень НДС залізобетонних конструкцій при температурах, відповідних пожежі, виконано комп'ютерне моделювання процесу з подальшим порівнянням результатів в контрольних точках, де встановлено термопари. При проведенні всіх експериментів зміни температури фіксувалися в контрольних точках кожену хвилину.

Результати експериментальних досліджень і чисельного аналізу трьох видів залізобетонних конструкцій (колона, балка-стінка, плита) в програмі ANSYS Workbench 17.1. для перших 10-30 хв. досить суттєво відрізняються у всіх контрольних точках, проте надалі ця відмінність стабілізується, і аж до закінчення експерименту не перевищує 10,0%, що можна вважати цілком прийнятним.

В цілому отримані результати підтверджують, що методика проведених експериментальних досліджень конструкцій та їхнього комп'ютерного моделювання

з подальшим чисельним аналізом може бути рекомендована для практичного застосування.

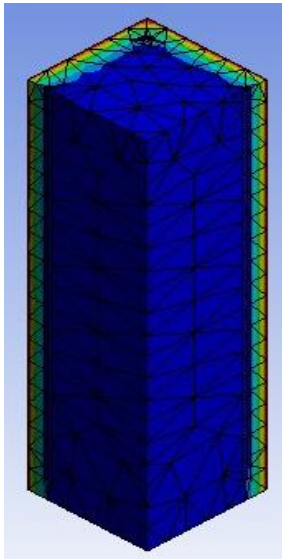


Рис. 14 Розподіл температур в моделі колони

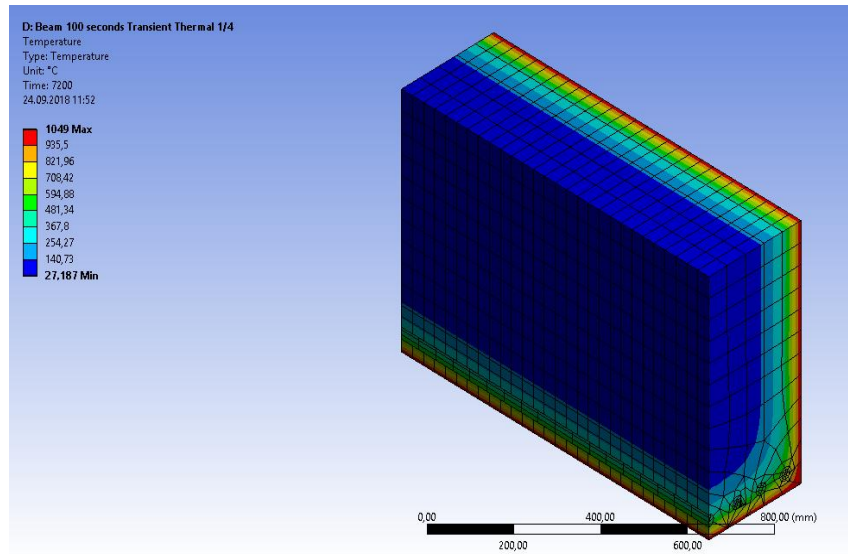


Рис. 15 Розподіл температур в моделі залізобетонної балки-стілки

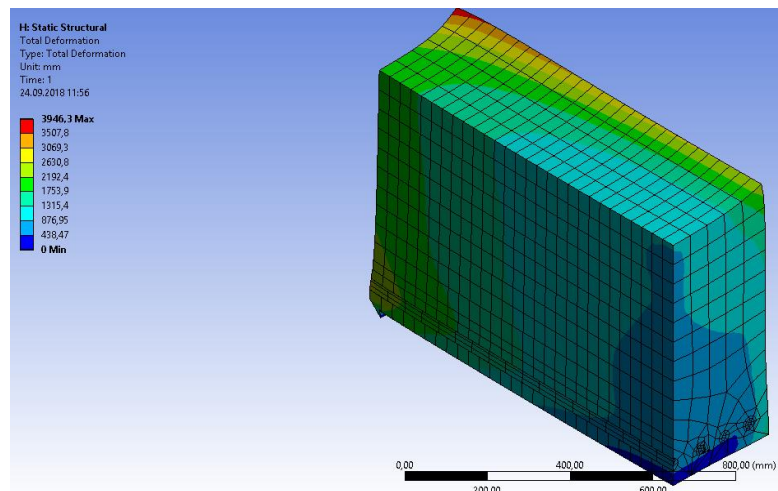


Рис. 16 Деформації в моделі залізобетонної балки-стілки

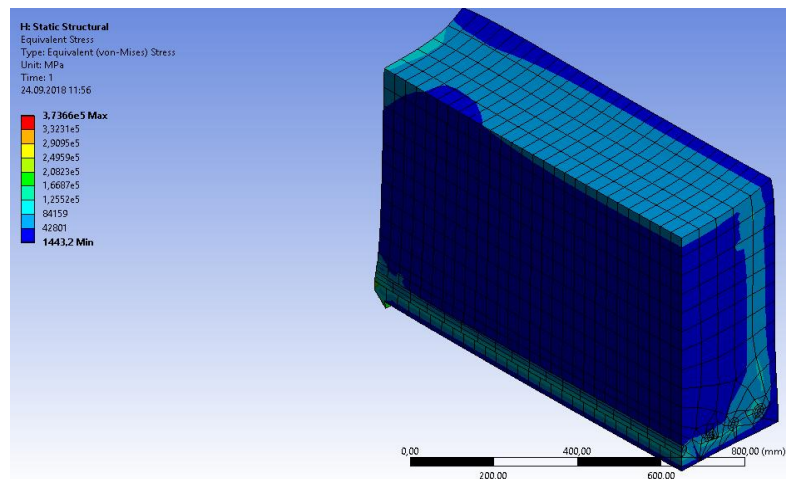


Рис. 17 Напруження в моделі залізобетонної балки-стілки

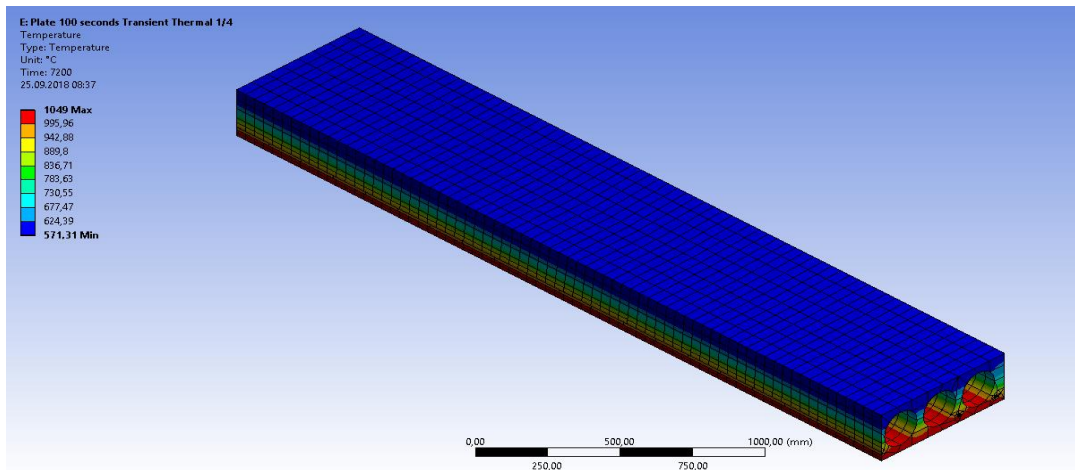


Рис. 18 Розподіл температури в плиті перекриття

Розрахунки конструкцій будівель можна виконати і за допомогою розрахункових комплексів, які розроблено вітчизняними вченими. До таких комплексів, зокрема, відноситься ПК «ЛІРА-САПР». Останні дослідження вітчизняних вчених, зокрема розробників ПК «ЛІРА-САПР», дозволяють виконувати розрахунки конструкцій з урахуванням в'язко-пружно-пластичної роботи бетону для скінченно-елементних моделей конструкцій будівель та споруд.

Залізобетонний фрагмент будівлі змодельовано в ПК «ЛІРА-САПР» (рис.19).

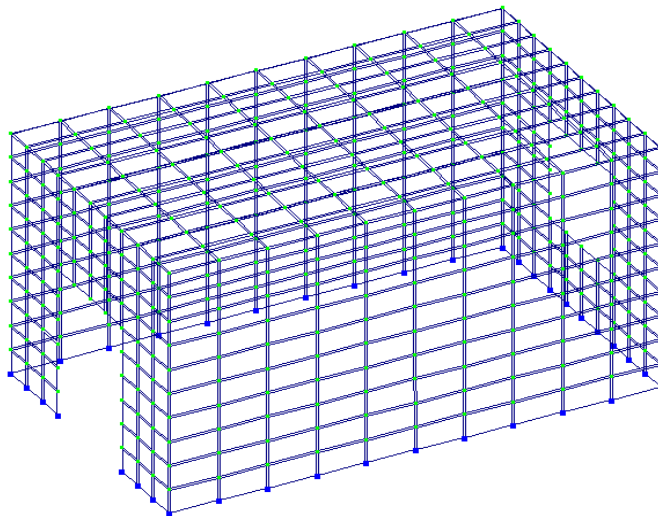


Рис. 19 Розрахункова схема фрагмента будівлі в ПК «ЛІРА-САПР»

За експериментальними значеннями середньої за об'ємом температурної кривої та за стандартною температурною кривою було здійснено розрахунок деформацій перекриття та стін залізобетонного фрагмента. Результати розрахунків наведено на рис. 20, 21.

При розрахунку переміщень стін при високотемпературних впливах за стандартною температурною кривою отримано, що їхні максимальні значення склали 21,5 мм (рис. 21, а) в кінці вогневого впливу, а величина прогину плити перекриття після вогневого впливу склали 57,6 мм (рис. 20, а).

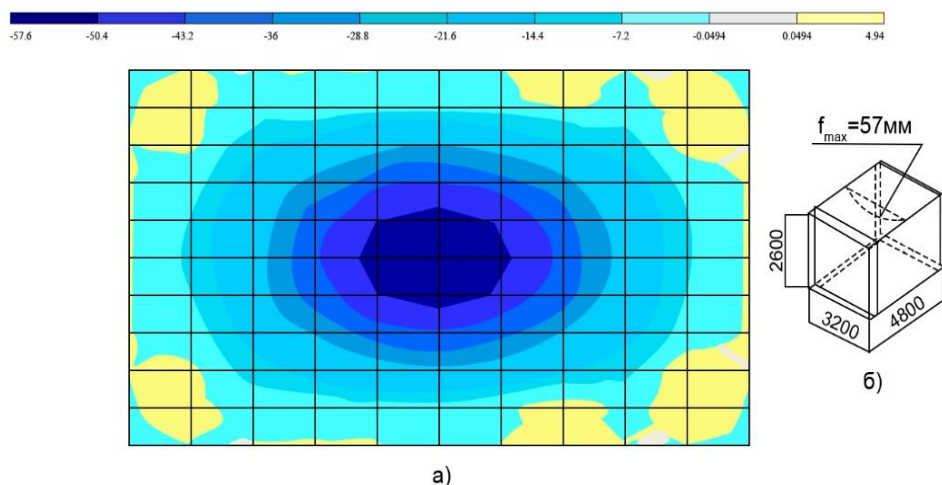


Рис. 20 Прогини залізобетонної плити перекриття: а) ізополя переміщень плити перекриття по осі Z, мм; б) прогини плити перекриття після витримки

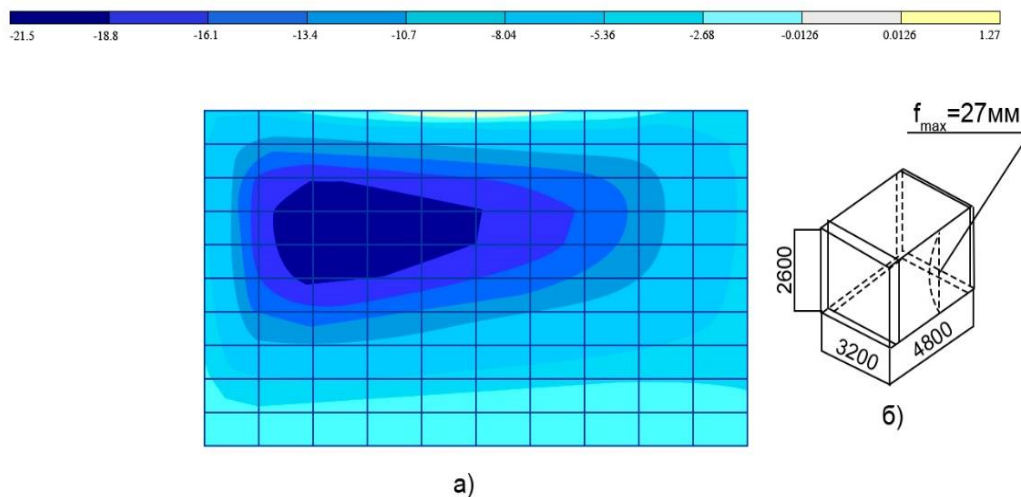


Рис. 21 Прогини залізобетонної стіни: а) ізополя переміщень стіни, мм; б) прогини стіни після витримки

Багато залізобетонних будівель, які зазнали впливу пожеж, відремонтовано та введено в експлуатацію.

Розроблено методику розрахунку залишкової несучої здатності залізобетонних колон при силових та високотемпературних впливах на основі статичного розрахунку. Такий розрахунок дозволяє на основі отриманих раніше даних розрахувати розподіл температури по перерізу і визначити несучу здатність з урахуванням зменшення характеристик міцності та деформативності. Наведено залежності, які дозволяють на отриманих експериментальних даних визначити характер зміни коефіцієнта зниження характеристичного опору сталі від температури.

Зниження розрахункового опору арматурної сталі можна врахувати шляхом введення коефіцієнта зниження характеристичного значення величини опору залежно від температури  $k_{y,\theta}$ , 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.

Крім того, було отримано рівняння для визначення усередненого значення коефіцієнта зниження опору:

$$k_{y,\theta}^{red} = 1 - 0,06 \cdot \left(\frac{\theta}{100}\right) - 0,01 \cdot \left(\frac{\theta}{100}\right)^2, \quad (7)$$

де  $\theta$  – температура нагрівання сталі, °С.

Як приклад застосування розробленої методики наведено результати визначення межі вогнестійкості залізобетонних колон перерізом 600x600 мм, які було випробувано на вогнестійкість. На рис. 22 наведено графік залежності величини коефіцієнта  $K_u$ , який являє собою відношення несучої здатності колони після заданого часу нагрівання до несучої здатності при кімнатній температурі, від часу нагрівання.

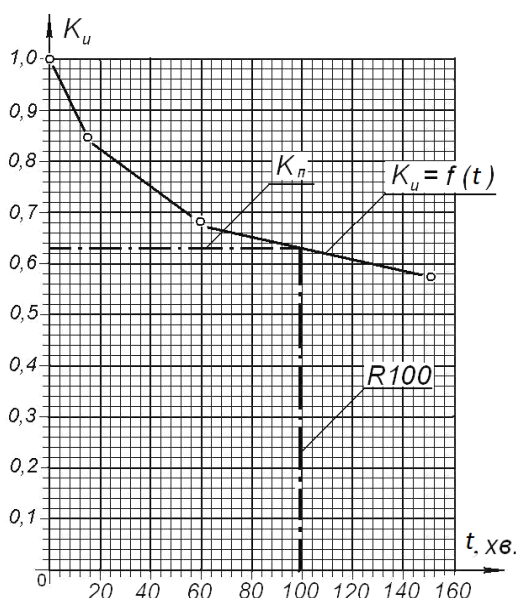


Рис. 22 Визначення вогнестійкості на основі статичного розрахунку

На цьому ж рисунку наведено алгоритм визначення вогнестійкості конструкцій на основі статичного розрахунку. Пряма лінія ( $K_n$ ) являє собою величину внутрішніх силових чинників. По графіку визначається значення межі вогнестійкості  $R$ , тобто часу, при якому несуча здатність конструкції знизиться до величини внутрішніх силових чинників  $M_n$  від величини характеристичного навантаження. Виконання цієї умови дозволяє визначити межі вогнестійкості колони залежно від чинних навантажень  $K_n$ .

Дослідження бетону колони після випробувань на вогнестійкість дозволило встановити залишкову несучу здатність, тобто врахувати зниження міцності бетону й арматури після вогневих впливів. Залишкова несуча здатність дорівнює:

$$N_{rez} = 2,37 \cdot 900 + 1,65 \cdot 2700 + 45,4 \cdot 25,13 = 7728 \text{ кН.}$$

Таким чином, залишкова несуча здатність становить 7728 кН, що відповідає

$$K_u = N_{rez} / N_0 = 7728 / 11064 = 0,699.$$

Розроблена методика дозволяє на основі проектних або отриманих в результаті обстеження даних і контрольованих параметрів визначити вогнестійкість конструкцій розрахунковим методом.

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 колони переріз було розбито на квадрати зі стороною 5 см. В центрі кожного квадрата визначено температуру і розрахунковий опір бетону залежно від температури. Залежність розрахункового опору бетону від температури визначено за запропонованими формулами. Також визначено температуру в робочій арматурі та в залежності від температури визначено розрахунковий опір арматурної сталі.

**Розділ 6** роботи присвячено розробці методів оцінювання і моделювання технічного стану конструкцій будівель та споруд при спільній дії силових і високотемпературних впливів.

Оцінювання технічного стану будівельних конструкцій, будівель та споруд здійснюють шляхом поєднання взаємопов'язаних і взаємодоповнюючих дослідницьких, розрахункових і аналітичних процедур, перелік і повноту яких у кожному конкретному випадку уточнює експерт, що проводить обстеження.

Для повної оцінки технічного стану будівель та споруд необхідно паралельно з натурними обстеженнями та лабораторними дослідженнями планувати і здійснювати також наступні діагностичні процедури:

- проаналізувати та виявити зміни основних проектних і розрахункових передумов (для конструкцій, будівель та споруд в цілому), які виникли за період експлуатації;

- проаналізувати дефекти та пошкодження, характер зміни характеристик матеріалів конструкцій та ґрунтів основи;

- скоригувати розрахункові моделі елементів, конструкцій, ґрунтової основи у зв'язку з наявністю дефектів і пошкоджень, а також зміни характеристик матеріалів і ґрунтів;

- виконати перевірочні розрахунки елементів, конструкцій, ґрунтової основи за скоригованими розрахунковими моделями та з урахуванням змін, які виникли в проектних і розрахункових передумовах за час експлуатації;

- оцінити технічний стан елементів, конструкцій, ґрунтової основи відповідно до розроблених критеріїв;

- оцінити технічний стан будівлі або споруди в цілому залежно від технічного стану її елементів, конструкцій, ґрунтової основи.

Наведено відомості про моніторинг будівельних конструкцій будівель, а також результати практичного застосування розроблених методик розрахунку.

Розроблений стандарт ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 поширюється на будівлі та споруди для класів відповідальності за можливими наслідками СС2, СС3 згідно з ДБН В.1.2-14-2018. Цей стандарт встановлює загальні вимоги до проведення моніторингу технічного стану конструктивних елементів, будівель та інженерних споруд.



Моніторинг будівельних об'єктів дозволяє визначити контрольовані параметри різних видів для контролю технічного стану будівельних конструкцій, будівель та споруд на різних етапах їхнього життєвого циклу: проектування, будівництва, експлуатації, консервування, розконсервації, ліквідації.

Моніторинг будівельних конструкцій проводиться на основі затвердженої програми за допомогою технічних засобів неруйнівного контролю та встановленої в програмі періодичності. Періодичність проведення робіт визначається з урахуванням класів відповідальності будівельних конструкцій згідно з ДБН В.1.2-14-2018. При цьому мінімальна періодичність спостережень встановлюється відповідно до проектної та нормативної документації або спеціальних вимог до конкретного об'єкта. За необхідності періодичність окремих видів спостережень елементів будівельних конструкцій будівель та споруд може коригуватись.

Математична модель (або її автоматизований аналог в інформаційній системі) дає можливість виконати оперативне попереднє прогнозування значень контрольованих параметрів будівельних конструкцій. Результатом оперативного попереднього прогнозу є висновок про експлуатаційну придатність контрольованих будівельних конструкцій з врахуванням можливої тенденції до погіршення їхнього технічного стану. Прогноз виходу зареєстрованих значень визначальних параметрів будівельних конструкцій за межу заданого критерію є основою для прийняття рішень щодо можливості подальшої експлуатації будівлі або споруди.

Залишковий ресурс будівельних конструкцій, будівель та споруд в цілому, визначають шляхом оцінки ресурсу їхніх окремих елементів.

В розділі наведено результати визначення технічного стану окремих будівель, які отримали пошкодження під час експлуатації, в т.ч. і після пожежі (рис. 23).

Отримані в ході проведених розрахунків дані (характер розвитку деформацій) дозволили провести порівняння з реальним розвитком деформацій і тріщин в стінах і провести коригування характеристик жорсткості елементів. Після проведеного коригування (коли характер розвитку деформацій в реальному будинку відповідав НДС, який було отримано в результаті розрахунку) було визначено зусилля в стрижньових елементах, що моделюють елементи підсилення. Такий підхід дозволив підібрати перерізи елементів підсилення, розробити відповідні конструктивні рішення та виконати підсилення конструкцій в натурі.

Оцінювання і моделювання технічного стану було виконано при обстеженні шатрової плити перекриття після пожежі на дев'ятому поверсі дев'ятиповерхового житлового будинку №136 по вул. Червоноармійській в м. Києві (рис. 24). За результатами розрахунку було встановлено НДС конструкції плити з урахуванням зміни характеристик міцності та деформативності бетону. Результати розрахунків свідчать, що для забезпечення подальшої безпечної роботи конструкцій необхідно враховувати як фактори впливу на конструкції, так і в'язко-пружно-пластичну роботу бетону при нагріванні.

Було виконано розрахунки конструкцій покриття будівлі нежитлового призначення для медичного центру «Добробут» м. Києва на температурні кліматичні впливи (рис. 25, 26). Необхідність в розрахунку була викликана появою тріщин в стінах будівлі в місцях обпирання змонтованих сталевих конструкцій покриття.



Рис. 23 Натурні обстеження будівельних конструкцій після пожежі в магазині промислових товарів в м. Алчевську

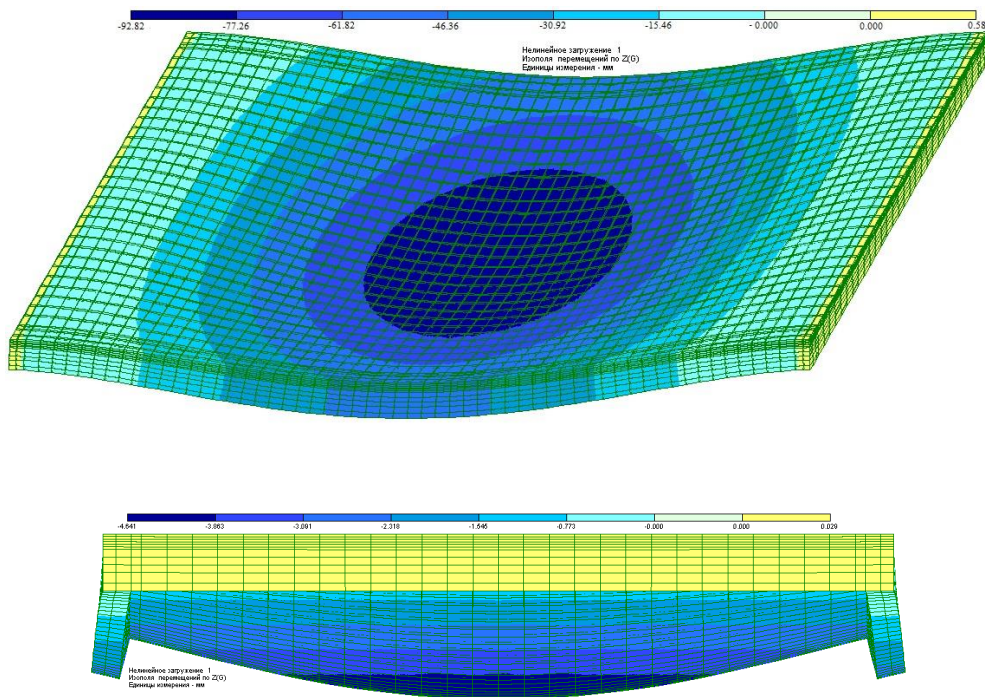


Рис. 24 Деформації плити уздовж осі OZ при силовому і температурному навантаженні

Результати розрахунків конструкцій покриття дозволили зробити висновок, що нехтування вимогами чинних нормативних документів на практиці стосовно розрахунку та проектування сталевих конструкцій (в т.ч. і на температурні впливи) може призвести до порушень нормальної експлуатації, а в окремих випадках – і до обвалення конструкцій.

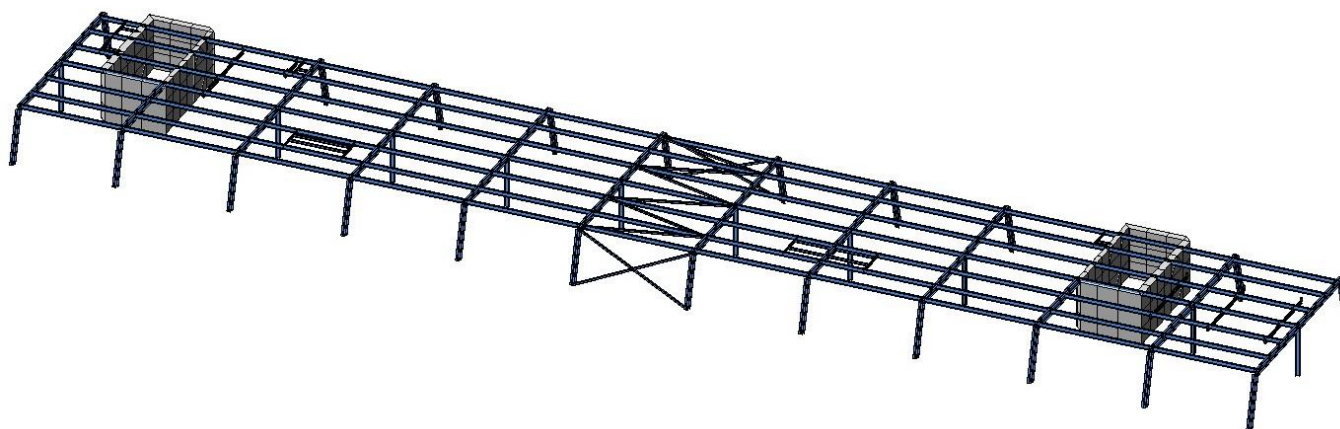


Рис. 25 Розрахункова схема рами (3D)

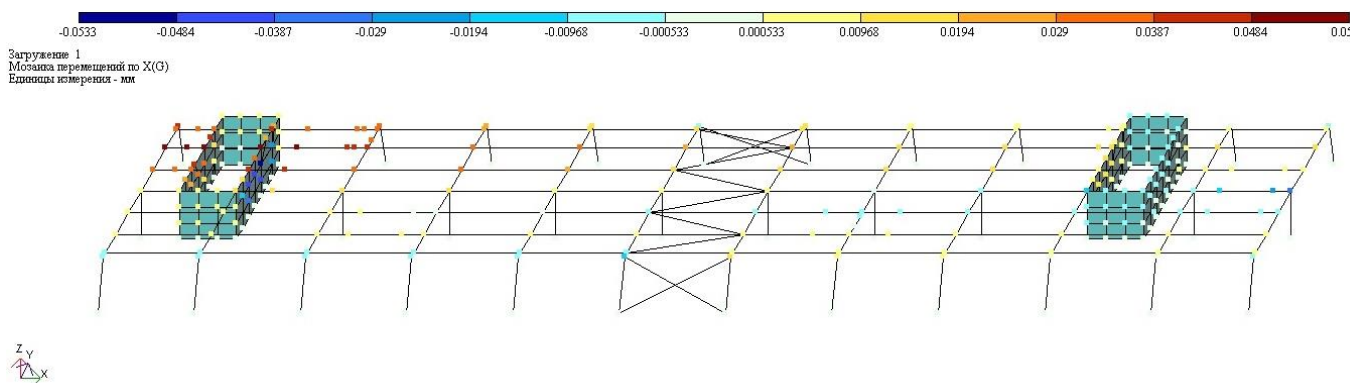


Рис. 26 Переміщення рами при дії власної ваги конструкцій, технологічного обладнання та рівномірного нагріву металу

Таким чином, за допомогою розробленої методології можливе виконання робіт із визначення технічного стану конструкцій після різних, в т.ч. і кліматичних, впливів.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ І ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті виконаних досліджень вирішено важливу науково-технічну проблему, яка полягає в розробці комплексу взаємозв'язаних заходів щодо визначення параметрів НДС і несучої здатності залізобетонних конструкцій, будівель та споруд в цілому при силових і високотемпературних впливах, обґрунтовано необхідність проведення робіт в цьому напрямку.

1. Узагальнено результати досліджень щодо визначення контрольованих параметрів, обґрунтовано необхідність проведення досліджень в цій області, сформульовано передумови та допущення; виконано комплексний аналіз характерних відмов і пошкоджень залізобетонних конструкцій.

2. Вперше для конструкцій будівель та споруд розроблено комплекс взаємозв'язаних заходів щодо визначення контрольованих параметрів, НДС і технічного стану конструкцій при силових і високотемпературних впливах на основі результатів проведених обстежень. На основі розрахунку реальних об'єктів визначено небезпечні параметри, що характеризують можливу зміну умов експлуатації (збільшення силових навантажень, високотемпературні впливи тощо);

вперше для будівель та споруд встановлено параметри та критерії технічного стану, які були б придатні для розрахунків НДС і визначення технічного стану конструкцій, будівель та споруд в цілому.

3. На основі результатів проведених розрахунків для реальних конструкцій встановлено область таких параметрів НДС, при яких подальша безпечна експлуатація конструкцій, будівель та споруд була б можливою. Визначені за результатами розрахунку параметри НДС порівнювались із відповідними характеристиками матеріалів конструкцій (бетону, сталі, кладки тощо). Результати порівняння дозволили прийняти рішення про можливість подальшої експлуатації та необхідність підсилення конструкцій.

4. На основі розробленого методу визначення НДС експлуатованих будівельних конструкцій, будівель та споруд розроблено математичну модель будівлі, що дає можливість вивчення впливу різних факторів ризику, які встановлено на основі аналізу умов експлуатації конструкції.

5. Вперше розроблено метод визначення технічного стану конструкцій та прогнозу його зміни в залежності від умов експлуатації конструкцій, а також методи розрахунку НДС, оцінки технічного стану і можливості його регулювання для подальшої безпечної експлуатації конструкцій будівель та споруд при силових та високотемпературних впливах.

6. Розроблено методи визначення залишкового ресурсу конструкцій в залежності від умов експлуатації. Достовірне оцінювання та прогнозування технічного стану дає можливість запобігти виникненню аварій конструкцій та пов'язаних з ними збитків, раціонально використовувати кошти на виконання поточних та капітальних ремонтів, а також регулювати технічний стан таким чином, щоб досягти найбільшої ефективності використання основних фондів. При цьому основним питанням залишається визначення фізико-механічних характеристик матеріалів, які було застосовано при виготовленні конструкцій, а також виконання розрахунку конструкцій для обґрунтованого призначення перерізів елементів підсилення.

7. Запропоновано методи визначення контрольованих параметрів конструкцій, які мають пошкодження в процесі експлуатації від силових та високотемпературних впливів. Розроблено методику визначення жорсткості перерізів залізобетонних елементів, яка базується на прийнятих передумовах і допущеннях, що з високою імовірністю описують поведінку конструкцій під навантаженням, і дозволяє врахувати зміну характеристик жорсткості елементів в залежності від чинних зусиль. Проведено експериментальні дослідження вогнестійкості залізобетонних конструкцій, за результатами досліджень запропоновано конструктивні вогнезахисні заходи. Характеристики матеріалів визначаються під час проведення обстежень. В ході обстеження використовуються різні методи визначення фізико-механічних характеристик матеріалів конструкцій (бетону, арматури, сталі, цегляної кладки тощо).

8. Розроблено інженерні способи розрахунку НДС та несучої здатності на основі методів визначення контрольованих параметрів. Можливість перепризначення залишкового ресурсу визначається шляхом зіставлення величин несучої здатності конструкцій з тими величинами, що діють. Несучу здатність конструкцій визначають

з використанням величин характеристик матеріалів і параметрів (розмірів поперечних перерізів, геометричних розмірів з урахуванням корозійного зносу тощо), які було отримано під час проведення обстеження. Величини зусиль, що діють в конструкціях будівель та споруд, визначаються шляхом моделювання їхньої роботи з використанням методу скінченних елементів і сучасних програмних комплексів.

9. Розроблено пропозиції щодо розвитку способів регулювання технічного стану будівельних конструкцій, які мають забезпечити подальшу надійну експлуатацію конструкцій. Завдяки такій процедурі, можна отримати зусилля, які могли б виникнути в конструкціях будівлі та підсилення. При цьому забезпечується можливість прийняття рішення про перепризначення залишкового ресурсу конструкцій, тобто можливість подальшої експлуатації, необхідність підсилення або заміни.

10. Розроблено методологію моніторингу будівельних конструкцій, яка була б оптимальною за критерієм витрат, з метою організації спостережень за змінами показників параметрів стану та оцінювання визначених змін. Загальний моніторинг технічного стану будівель і споруд являє собою систему планових, безперервних або періодичних спостережень і контролю. Ці заходи проводяться за спеціально розробленою програмою для визначення змін у технічному стані будівель та споруд і оцінки їх з метою недопущення граничних значень контрольованих параметрів. Під цим терміном маються на увазі максимальні (мінімальні) значення контрольованих параметрів, які використовуються для настроювання системи моніторингу та призначені для оцінювання змін стану несучих конструкцій об'єкта.

11. Результати, які отримано під час виконання роботи, впроваджено в практику проектування та спостереження за будівлями та спорудами, а також при розробці нормативних документів та в навчальному процесі.

Метод розрахунку використано при розробці розділу проекту будівлі бізнес-центру за адресою пр. Богдана Хмельницького, 102 в місті Донецьку (розрахунок колони на вогнестійкість), розрахунках конструкцій покриття будівлі нежитлового призначення для медичного центру «Добробут» м. Києва на температурні впливи, а також визначенні несучої здатності шатрової плити перекриття після пожежі на дев'ятому поверсі дев'ятиповерхового житлового будинку №136 по вул. Червоноармійській в м. Києві.

Отримані в ході проведення робіт результати в частині визначення контрольованих параметрів, впливу різних чинників на НДС та несучу здатність конструкцій використано при розробці практичного посібника «Розрахунок залізобетонних конструкцій на вогнестійкість відповідно до Єврокоду 2».

Запропоновану систему моніторингу, яка дає можливість постійно отримувати інформацію про контрольовані параметри під час експлуатації конструкцій, включено до ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 «Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд».

Теоретичні, технологічні та методологічні положення роботи використані в навчальному процесі та підготовці бакалаврів та магістрів за спеціальністю 263 «Цивільна безпека».

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**  
**Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію**  
**результатів дисертації**

*Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:*  
 Статті у наукових фахових виданнях України

1. Отрош Ю.А. Визначення міцності арматури методом «зрізу нарізки». *Промислове будівництво та інженерні споруди*. Київ, 2011. Вип. 4. С. 17-20.

2. Отрош Ю.А., Голоднов О.І., Іванов А.П. Комплекс взаємозв'язаних заходів щодо визначення параметрів напружено-деформованого і технічного стану конструкцій при різних впливах. *Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського*. 2011. № 8. С.98-109.

*Особистий внесок – участь у розробці комплексу взаємопов'язаних заходів щодо визначення параметрів напружено-деформованого і технічного стану конструкцій при різних впливах, підготовці статті.*

3. 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*. Черкаси, 2011. №9. С. 37-43.

*Особистий внесок – участь у розробці методики і проведенні досліджень на вогнестійкість, визначення міцності бетону і арматури після досліджень на вогнестійкість, участь у підготовці статті до друку.*

4. Отрош Ю.А. Практичне визначення характеристик міцності арматури в шатрових плитах перекриття для встановлення їхнього технічного стану. *Науковий вісник будівництва*. Харків, 2012. № 67. С.183-188.

5. Голоднов А.И., Отрош Ю.А., Ткачук И.А., Семиног Н.Н. Влияние высокотемпературных воздействий на прочность и деформативность стальной арматуры. *Сборник научных трудов Одесской государственной академии строительства и архитектуры. Современные конструкции из металла и древесины*. Одесса, 2012. Вып. №16. С.47-52.

*Особистий внесок – участь у розробці методики і проведенні досліджень сталеві арматури при дії високих температур, участь у підготовці статті до друку.*

6. Отрош Ю.А., Дагіль В.Г., Малигін Г.О. Актуальність забезпечення безпеки об'єктів будівництва. *Науковий вісник будівництва*. Харків, 2012. № 70. С.457-462.

*Особистий внесок – розробка методики визначення технічного стану експлуатованих будівель та споруд і залишкового ресурсу, участь у підготовці статті до друку.*

7. Отрош Ю.А. Особливості проектування залізобетонних конструкцій при спільній дії силових, деформаційних та високотемпературних впливів. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне, 2012. № 23. С.347-354.

8. Отрош Ю.А., Карапетян С.Х. Напружено-деформований стан залізобетонних конструкцій при силових, деформаційних та високотемпературних впливах. *Сборник*

научных трудов Донбасского государственного технического университета. Алчевськ, 2012. № 36. С.360-367.

*Особистий внесок – розробка методики деформаційного розрахунку залізобетонних елементів з урахуванням властивостей залізобетону, ґрунтів основи і можливості їхньої деградації, участь у підготовці статті.*

9. Карапетян С.Х., Псюк В.В., Отрош Ю.А. Влияние многократно повторных нагружений на несущую способность внецентренно сжатых железобетонных стоек. Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. Алчевск, 2012. Вып. 37. С.250-255.

*Особистий внесок – участь у проведенні експериментальних досліджень позацентрово стиснутих залізобетонних стійок, участь у підготовці статті до друку.*

10. Рудешко І.В., Отрош Ю.А., Золотарьов В.В. Особенности химического состава і механических свойств вогнестійких сталей. Пожежна безпека: теорія і практика. Черкаси, 2013. № 13. С.116-122.

*Особистий внесок – аналіз останніх досліджень та постановка проблеми, участь у підготовці статті до друку.*

11. Ivanova M.S., Otrosh Y.A., Kamakina N.V. Method for determining soil density in laboratory conditions. Пожежна безпека: теорія і практика. Черкаси, 2013. № 14. С.33-38.

*Особистий внесок – розробка принципів забезпечення надійної експлуатації будівель та споруд, які будуються у складних ґрунтових умовах, участь у підготовці статті до друку.*

12. 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, 2013. Вып. 11. С. 148-155.

*Особистий внесок – участь у розробці методичних підходів щодо визначення впливу технологічних факторів на вогнестійкість залізобетонних плит, проведенні експериментальних досліджень, підготовці статті до друку.*

13. Отрош, Ю.А., Семиног М.М., Голоднов О.І. Експериментальні дослідження міцності арматури і бетону колон при високотемпературних впливах. Збірник наукових праць «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди». Рівне, 2013. Вып.25. С.433-440.

*Особистий внесок – участь у розробці методики і проведенні експериментальних досліджень на вогнестійкість, участь у підготовці статті до друку.*

14. Поздєєв С.В., Отрош Ю.А., Омельченко А.М. Інтерпретація результатів вогневих випробувань залізобетонних балок для оцінки їхньої межі вогнестійкості. Промислове будівництво та інженерні споруди. Київ, 2014. Вып. 2. С. 14-18.

*Особистий внесок – участь у розробці методики визначення меж вогнестійкості залізобетонних балок розрахунковим методом на основі результатів експериментальних досліджень, участь у підготовці статті до друку.*

15. Поздєєв С.В., Отрош Ю.А., Омельченко А.М., Щіпець С.Д. Методика оцінки межі вогнестійкості залізобетонних балок шляхом інтерпретації результатів їх

вогневих випробувань. *Збірник наукових праць Донбаського державного технічного університету*. Алчевськ, 2014. Вип. 1 (42). С. 119-127.

*Особистий внесок – участь у розробці методики визначення меж вогнестійкості залізобетонних балок, участь у підготовці статті до друку.*

16. Поздєєв С.В., Отрош Ю.А., Федченко І.В., Нешпор О.В. Методика оцінювання адекватності результатів визначення меж вогнестійкості залізобетонних балок експериментально-розрахунковим методом. *Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво)*. Полтава, 2014. Вип. 1(40). С. 129-136. (індексується наукометричною базою *Index Copernicus*)

*Особистий внесок – участь у розробці методики визначення меж вогнестійкості залізобетонних балок експериментально-розрахунковим методом, участь у підготовці статті до друку.*

17. Ступак Д.О., Нуянзін О.М., Отрош Ю.А., Словінський В.К. Уточнений метод відповідно Eurocode 6 для перевірки вогнестійкості кам'яних стін. *Пожежна безпека : теорія і практика*. Черкаси, 2014. Вип. № 18. С.121-126.

*Особистий внесок – участь у розробці уточненого розрахункового методу на основі системи європейських стандартів оцінки вогнестійкості несучих кам'яних стін, участь у підготовці статті до друку.*

18. Поздєєв С.В., Отрош Ю.А., Омельченко А.М., Федченко І.В. Адекватність результатів інтерполяції температурного розподілення у залізобетонному ригелі за даними його випробувань на вогнестійкість. *Промислове будівництво та інженерні споруди*. Київ, 2015. Вип. 3. С. 11-16.

*Особистий внесок – участь у виконанні порівняльних розрахунків і температурного розподілу у поперечному перерізі залізобетонного ригеля при дії «стандартної» пожежі, участь у підготовці статті до друку.*

19. Поздєєв С.В., Отрош Ю.А., Омельченко А.М., Кропива М.О. Метод інтерпретації температурних полів в перерізі залізобетонних балок. *Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво)*. Полтава, 2015. Вип. 2(44). С. 70 -78. (індексується наукометричною базою *Index Copernicus*)

*Особистий внесок – участь у розробці алгоритма визначення температурного поля в поперечному перерізі залізобетонного ригеля, участь у підготовці статті до друку.*

20. Поздєєв С.В., Отрош Ю.А., Демешок В.В., Кропива М.О. Оцінка вогнестійкості ненесучих стін за розрахунковими методами Єврокоду. *Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво)*. Полтава, 2015. Вип. 3(45). С. 277 -283. (індексується наукометричною базою *Index Copernicus*)

*Особистий внесок – участь у розробці методики оцінювання вогнестійкості ненесучих стін, які засновано на використанні методу скінченних різниць, участь у підготовці статті до друку.*

21. Поздєєв С.В., Отрош Ю.А., Нижник В.В., Федченко І.В. Розрахунковий метод оцінки вогнестійкості плити перекриття. *Промислове будівництво та інженерні споруди*. Київ, 2016. Вип. 2. С. 28-33.

*Особистий внесок – участь у розробці розрахункової методики оцінки вогнестійкості плити перекриття, участь у підготовці статті до друку.*



22. Отрош Ю.А. Оцінка технічного стану стін і перекриттів житлових будинків після пожежі. *Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво.* Полтава, 2016. №.1. С. 212-220. (індексується наукометричною базою *Index Copernicus*)

23. Отрош Ю.А. Методика визначення технічного стану будівельних конструкцій виробничих будівель після пожежі. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту.* Харків, 2016. №. 160. С. 111-119. (індексується наукометричною базою *Index Copernicus*)

24. 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, 2017. Вип. 20. С. 65-84.

*Особистий внесок – участь у проведенні обстежень конструкцій, розробці методики розрахунку конструкцій при різних впливах і підготовці статті до друку.*

25. Рудешко І.В., Отрош Ю.А. Пустоти в будівлях, як шляхи прихованого поширення пожежі. *Промислове будівництво та інженерні споруди.* Київ, 2018. Вип. 2. С. 21-25.

*Особистий внесок – розробка пропозицій щодо збереження існуючого житлового фонду з реконструкцією будинків перших масових серій в напрямку підвищення їх споживчих якостей, участь у підготовці статті до друку.*

26. Отрош Ю.А. Використання системи моніторингу для оцінки технічного стану будівельних конструкцій. *Промислове будівництво та інженерні споруди.* Київ, 2018. Вип. 3. С. 1-7.

27. Отрош Ю.А. Розробка підходу до визначення технічного стану будівельних конструкцій при дії силових та високотемпературних впливів. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури.* 2018. № 71. С.54-60. (індексується наукометричною базою *Index Copernicus*)

28. Ковальов А.І., Зобенко Н.В., Отрош Ю.А., Хмиров І.М., Данілін О.М. Точність визначення параметрів покриттів сталевих конструкцій при вуглеводневому режимі пожежі. *Проблеми пожежної безпеки: Сб. науч. тр.* Харків, 2018. Вип. 43. С.73-79.

*Особистий внесок – участь у розробці методики та проведенні обчислювального експерименту, участь у підготовці статті до друку.*

29. Ковальов А.І., Отрош Ю.А., Данілін О.М., Алексєєва О.С. Методика оцінки вогнезахисної здатності покриттів сталевих конструкцій після впливу кліматичних факторів. *Проблеми пожежної безпеки: Сб. науч. тр.* Харків, 2018. Вип. 44. С.49-56.

*Особистий внесок – участь у розробці методики оцінки вогнезахисної здатності покриттів після впливу кліматичних факторів, участь у підготовці статті до друку.*

30. Ковальов А.І., Отрош Ю.А., Данілін О.М. Експериментальні дослідження вогнестійкості залізобетонних перекриттів з системою вогнезахисту. *Проблеми пожежної безпеки: Сб. науч. тр.* Харків, 2019. Вип. 45. С.73-78.

*Особистий внесок – участь у розробці методики та проведенні*

*обчислювального експерименту, участь у підготовці статті до друку.*

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав

31. Голоднов А.И., Кудряшов В.А., Полевода 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 Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. Минск, 2015. Вып. 1(21). С. 30-39.

*Особистий внесок – проведення співставлення вогнестійкості залізобетонних плит з використанням раніше отриманих експериментальних даних, участь у підготовці статті.*

32. Поздеев С.В., Отрош Ю.А., Ступак Д.О., Сідней С.О. Дослідження поведінки залізобетонної стіни в умовах пожежі за допомогою метода кінцевих елементів. *Журнал Logistika-nauka, Main School of Fire Service, «TECHNICAL SAFETY – 2015»*. Варшава, №5/2015. С. 1265 - 1272.

*Особистий внесок – участь у розробці розрахункової схеми стіни в умовах пожежі та у підготовці статті.*

33. Kovalov, A., Otrosh, Y., Ostroverkh, O., Hrushovinchuk, O., Savchenko, O. Fire resistance evaluation of reinforced concrete floors with fire-retardant coating by calculation and experimental method. *E3S Web of Conferences*, 2018, 60, 00003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000003>. (індексується наукометричною базою Scopus)

*Особистий внесок – участь у розробці методики і проведенні експериментальних досліджень на вогнестійкість залізобетонного перекриття, участь у розробці розрахунково-експериментального методу оцінювання вогнестійкості конструкцій та вогнезахисної здатності покриттів, участь у підготовці статті до друку.*

34. Otrosh, Y., Kovalov, A., Semkiv, O., Rudeshko, I., Diven, V. Methodology remaining lifetime determination of the building structures. *MATEC Web of Conferences*, 2018, 230, 02023. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201823002023>. (індексується наукометричною базою Scopus)

*Особистий внесок – участь у розробці методики перепризначення ресурсу конструкцій при різних впливах, розроблено математичну модель і виконано розрахунки конструкцій будівлі на основі результатів обстеження, розроблено підхід визначення залишкового ресурсу конструкцій в залежності від умов експлуатації, участь у підготовці статті до друку.*

35. Vasilchenko, A., Otrosh, Y., Adamenko, N., Doronin, E., Kovalov, A. Feature of fire resistance calculation of steel structures with intumescent coating. *MATEC Web of Conferences*, 2018, 230: 02036. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201823002036>. (індексується наукометричною базою Scopus)

*Особистий внесок – участь у виконанні розрахунків конструкцій, які захищені вогнезахисними покриттями, на вогнестійкість, участь у підготовці статті до друку.*

36. Kovalov, A. I., Otrosh, Y. A., Vedula, S., Danilin, O. M., Kovalevska, T. M. Parameters of fire-retardant coatings of steel constructions under the influence of climatic

factors. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 2019, (3): 46-53. DOI: 10.29202/nvngu/2019-3/9. (індексується наукометричною базою Scopus)

*Особистий внесок – участь у розробці методики і проведенні експериментальних досліджень, участь у розробці методики оцінки вогнезахисної здатності покриттів після впливу кліматичних факторів, участь у підготовці статті до друку.*

37. Otrosh, Y., Surianinov, M., Golodnov, A., Starova, O. Experimental and Computer Researches of Ferroconcrete Beams at High-Temperature Influences. *Trans Tech Publications Ltd. In Materials Science Forum*, 2019, Vol. 968, pp. 355-360. <https://doi.org/10.4028/www.scientist.net/MSF.968.355>. (індексується наукометричною базою Scopus)

*Особистий внесок – участь у розробці методики і проведенні експериментальних досліджень на вогнестійкість, участь у розробці методики та проведенні обчислювального експерименту, участь у підготовці статті до друку.*

38. Kovalov, A., Otrosh, Y., Surianinov, M., Kovalevska, T. Experimental and Computer Researches of Ferroconcrete Floor Slabs at High-Temperature Influences. *Trans Tech Publications Ltd. In Materials Science Forum*, 2019, Vol. 968, pp. 361-367. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.968.361>. (індексується наукометричною базою Scopus)

*Особистий внесок – участь у розробці методики і проведенні експериментальних досліджень на вогнестійкість, участь у розробці методики та проведенні обчислювального експерименту, участь у підготовці статті до друку.*

39. Otrosh, Y., Rybka, Y., Danilin, O., Zhuravskiy, M. Assessment of the technical state and the possibility of its control for the further safe operation of building structures of mining facilities. *EDP Sciences. In E3S Web of Conferences*, 2019, Vol. 123, p. 01012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301012>. (індексується наукометричною базою Scopus)

*Особистий внесок – розробка методики оцінювання та моделювання технічного стану залізобетонних конструкцій, участь у проведенні обчислювального експерименту, участь у підготовці статті до друку.*

#### *Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації*

40. Голоднов А.И., Риблов 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, 2014. Вип. 13. С. 104-115.

*Особистий внесок – участь у розробці методики визначення залишкового ресурсу залізобетонних балок при різних впливах, підготовці статті до друку.*

41. 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*. 2014. № 14. С.105-110.

*Особистий внесок – участь у виконанні розрахунків колон на вогнестійкість, підготовці статті до друку.*

42. Отрош Ю.А., Иванов А.П., Голоднов О.И., Рудешко И.В. Комплекс взаємозв'язаних заходів щодо визначення технічного стану конструкцій при різних

впливах. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Пожежна безпека: теорія і практика», Черкаси, 2011. С. 33-35.

*Особистий внесок – участь у розробці комплексу взаємопов'язаних заходів щодо визначення параметрів напружено-деформованого і технічного стану конструкцій при різних впливах, підготовці тез.*

43. Отрош Ю.А., Голоднов О.І., Рудешко І.В., Золотарьов В.В. Прогноз технічного стану будівель і споруд. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Теорія та практика ліквідації надзвичайних ситуацій», Черкаси, 2011. С. 76-78.

*Особистий внесок – розробка методики прогнозування технічного стану експлуатованих будівель та споруд і залишкового ресурсу, участь у підготовці тез до друку.*

44. Отрош Ю.А., Дагіль В.Г., Луценко А.М. Забезпечення безпечної експлуатації будівель та споруд. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Пожежна безпека: теорія і практика», Черкаси, 2012. С. 236-238.

*Особистий внесок – розробка методики визначення технічного стану експлуатованих будівель та споруд і залишкового ресурсу, участь у підготовці тез до друку.*

45. Отрош Ю.А., Рудешко І.В., Іванов А.П., Голоднов О.І. Визначення параметрів напружено-деформованого і технічного стану конструкцій при різних впливах. Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції «Пожежна безпека – 2011», Харків, 2011. С. 115-116.

*Особистий внесок – розробка методики деформаційного розрахунку залізобетонних елементів з урахуванням властивостей залізобетону, участь у підготовці тез.*

46. Отрош Ю.А., Голоднов О.І., Рудешко І.В., Гандрабура В.С. Оцінка якості арматури та визначення механічних властивостей сталі після високотемпературних впливів. Матеріали 14-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції рятувальників, Київ, 2012. С. 305-309.

*Особистий внесок – участь у розробці методики і проведенні досліджень сталевих арматур при дії високих температур, участь у підготовці тез до друку.*

47. Отрош Ю.А. Джулай А.Н., Цвиркун С.В. Обеспечение безопасности эксплуатации зданий и сооружений. Материалы Международного научного семинара «Проблемы обеспечения пожарной безопасности объектов хозяйствования», Казахстан, Кокшетау, 2013. С. 78-81.

*Особистий внесок – розробка методики визначення технічного стану експлуатованих будівель та споруд і залишкового ресурсу, участь у підготовці тез до друку.*

48. Отрош Ю.А., Сіленко М.В. Оцінювання технічного стану будівель та споруд. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Надзвичайні ситуації: теорія і практика», Черкаси, 2013. С. 103-105.

49. Отрош Ю.А., Ткачук І.А., Семиног М.М. Вплив технологічних факторів на вогнестійкість залізобетонних плит. Матеріали Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проектування, виготовлення і монтаж сталевих конструкцій. Досвід та перспективи розвитку», Київ, 2013. С. 148-155.

*Особистий внесок – участь у розробці методичних підходів до визначення вогнестійкості залізобетонних плит, проведенні експериментальних досліджень, підготовці тез до друку.*

50. Отрош Ю.А., Колле В.А. Экспериментальные исследования огнестойкости железобетонных плит. Материалы II научно-практической конференции курсантов и студентов «Стратегия «Казахстан - 2050»: совершенствование системы защиты от чрезвычайных ситуаций, развитие научных исследований в сфере безопасности и жизнедеятельности населения», Кокшетау, 2014. С. 144-148.

51. Отрош Ю.А., Омельченко А.М., Некора О.В., Поздеев А.В. Методи оцінки вогнестійкості кам'яних несучих стін. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Надзвичайні ситуації: безпека та захист», Черкаси, 2014. С. 164-165.

*Особистий внесок – участь у розробці уточненого розрахункового методу на основі системи європейських стандартів оцінки вогнестійкості несучих кам'яних стін, участь у підготовці тез до друку.*

52. Поздеев С.В., Отрош Ю.А., Омельченко А.Н., Василенко И.Р., Бондар А.М. Оценка предела огнестойкости железобетонных балок интерпретацией результатов огневых испытаний. Материалы Международного научного семинара «Проблемы обеспечения пожарной безопасности объектов хозяйствования», Кокшетау, 2014 г. С. 107-111.

*Особистий внесок – участь у розробці методики визначення меж вогнестійкості залізобетонних балок, участь у підготовці тез до друку.*

53. Поздеев С.В., Отрош Ю.А., Щіпець С.Д., Омельченко А.М. Застосування методу кінцевих елементів для дослідження поведінки залізобетонної стіни. Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій», Черкаси, 2014. С. 188-191.

*Особистий внесок – участь у розробці розрахункової схеми стіни в умовах пожежі та у підготовці тез до друку.*

54. Голоднов А.И., Риблов В.В., Слюсар Ю.Н., Отрош Ю.А., Ткачук И.А. Определение остаточного ресурса изгибаемых элементов после термических воздействий. Сборник материалов докладов I Международной научно-практической конференции «Роботизированные системы пожаротушения», Гродно, 2014 г. С. 167-179.

*Особистий внесок – участь у розробці методики визначення залишкового ресурсу залізобетонних балок при різних впливах, підготовці тез до друку.*

55. Отрош Ю.А., Некора О.В., Сідней С.О., Федченко І.В. Апроксимація ліній ізотерм еліптичними залежностями в перерізі залізобетонного ригеля. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист», Черкаси, 2015. С. 115-118.

*Особистий внесок – участь у розробці алгоритма визначення температурного поля в поперечному перерізі залізобетонного ригеля, участь у підготовці тез до друку.*

56. Отрош Ю.А., Трошкін С.Е. Оцінка класу вогнестійкості ненесучої стіни з цегли. Збірник тез доповідей III Всеукраїнського науково-практичного семінару «Досвід впровадження у навчальний процес сучасних комп'ютерних технологій»,

Кіровоград, 2015. С. 105-108.

57. Отрош Ю.А., Полонець В.М., Черницький В.О. Застосування методики дослідження залізобетонних конструкцій, які пошкоджено пожежею, для визначення осередку займання. Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Надзвичайні ситуації: безпека та захист», Черкаси, 2016. С. 88-89.

58. Отрош Ю.А. Методика исследования железобетонных конструкций после пожара и определения очага возгорания. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции «Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций : противодействие современным вызовам и угрозам», Минск, 2017. С. 161-163.

59. Отрош Ю.А., Мошенець К.О. Конструктивна безпека та живучість будівельних конструкцій. Матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист», Черкаси, 2017. С. 50.

60. Отрош Ю.А. Правове регулювання у сфері забезпечення надійності і безпечної експлуатації будівель та споруд. Матеріали Першої науково-практичної конференції «Будівельне право: проблеми теорії і практики», Київ, 2017. С. 197-201.

61. Отрош Ю.А., Островерх О.О. Дослідження залізобетонних конструкцій при експертизі пожеж. Матеріали V Міжнародної конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки», Одеса, 2018. С. 45-46.

62. Отрош Ю.А., Васильченко О.В., Данілін О.М., Хмиров І.М. Визначення терміну експлуатації конструкцій. Збірка тез доповідей 7-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 2018. С. 135-136.

*Особистий внесок – участь у розробці методики перепризначення ресурсу конструкцій при різних впливах, участь у підготовці тез до друку.*

63. Отрош Ю.А., Сур'янінов М.Г., Ковалевська Т.М. Експериментальні та комп'ютерні дослідження залізобетонних балок при високотемпературних впливах. Матеріали VI Міжнародної конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки», Одеса, 2019. С. 236-238.

*Особистий внесок – участь у розробці методики та проведенні обчислювального експерименту, участь у підготовці тез до друку.*

64. Голоднов О.І., Отрош Ю.А. Визначення параметрів технічного стану будівельних конструкцій. Тези доповідей III Міжнародної конференції «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд», Одеса, 2019. С. 47.

65. Пат. на корисну модель 132449 Україна, МПК G 01 N 3/24 (2006.01). Визначення температури втрати несучої здатності будівельної конструкції / заявники Отрош Ю.А., Ковальов А.І., Островерх О.О., Удянський М.М., Дивень В.І., Рибка Є.О.; власник Національний університет цивільного захисту України. – № u 2018 09788; заяв. 01.10.18; публ. 25.02.2019, Бюл. №4. – 4 с.

*Особистий внесок – участь у проведенні патентного пошуку, розробка нового способу визначення температури втрати несучої здатності будівельної конструкції, участь у підготовці патенту.*

## АНОТАЦІЯ

**Отрош Ю.А. Технічний стан залізобетонних конструкцій при силових і високотемпературних впливах.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» (192 – Будівництво та цивільна інженерія). – Національний університет цивільного захисту України, Харків, 2019.

У роботі розглянуто сучасні методи та підходи для визначення технічного стану будівель та споруд. Розкрито стан проблеми оцінювання технічного стану залізобетонних конструкцій будівель та споруд, які було піддано дії силових та високотемпературних впливів. Розглянуто загальні принципи забезпечення надійної експлуатації будівель та споруд у зв'язку з тенденцією зростання кількості аварій і руйнувань.

Викладено методичний підхід до оцінювання технічного стану залізобетонних конструкцій будівель та споруд. З цією метою розроблено комплекс взаємозв'язаних заходів щодо визначення параметрів НДС і технічного стану при силових і високотемпературних впливах. Наведено особливості визначення технічного стану конструкцій після пожежі та інших аварійних ситуацій. Наведено результати експериментальних досліджень залізобетонних плит, колон, балок-стінок і фрагменту будівлі на силові та високотемпературні впливи. Приведені результати порівнянь експериментальних досліджень, чисельного моделювання і розрахунків за розробленими методиками.

Наведено результати обстежень, визначення і моделювання технічного стану, а також розрахунку реальних конструкцій, будівель та споруд в цілому, які отримали пошкодження при силових та високотемпературних впливах.

**Ключові слова:** залізобетонні конструкції, високотемпературні впливи, пожежа, технічний стан, контрольовані параметри, залишковий ресурс, моделювання системи «основа–фундамент–споруда».

## АННОТАЦИЯ

**Отрош Ю.А. Техническое состояние железобетонных конструкций при силовых и высокотемпературных воздействиях.** – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» (192 – Строительство и гражданская инженерия). – Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков, 2019.

В работе рассмотрены современные методы и подходы для определения технического состояния зданий и сооружений. Раскрыто состояние проблемы оценки технического состояния железобетонных конструкций зданий и сооружений, которые были подвергнуты действию силовых и высокотемпературных воздействий. Рассмотрено общие принципы обеспечения надежной эксплуатации зданий и сооружений в связи с тенденцией роста количества аварий и разрушений.

Изложено методический подход к оценке технического состояния железобетонных конструкций зданий и сооружений. С этой целью разработан комплекс взаимосвязанных мероприятий по определению параметров НДС и технического состояния при силовых и высокотемпературных воздействиях. Приведены особенности определения состояния конструкций после пожара и других аварийных ситуаций. Приведены результаты экспериментальных исследований железобетонных плит, колонн, балок-стенок и фрагмента здания на силовые и высокотемпературные воздействия. Приведены результаты сравнений экспериментальных исследований, численного моделирования и расчетов по разработанным методикам.

Приведены результаты обследований, определения технического состояния и расчета реальных конструкций, зданий и сооружений в целом, которые получили повреждения при силовых и высокотемпературных влияниях.

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции, высокотемпературные воздействия, техническое состояние, контролируемые параметры, остаточный ресурс, моделирование системы «основание–фундамент–сооружение».

## ABSTRACT

**Otrosh Y. A. Technical condition of reinforced concrete structures under strength and high temperature influences.** – Qualifying scientific work on the rights of a manuscript.

Dissertation for the Doctor of Science Degree in specialty 05.23.01 «Constructional Structures, Buildings and Constructions» (192 – Construction and Civil Engineering). – National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, 2019.

**The introduction** substantiates the choice of the theme, defines the purpose and objectives of the research, scientific novelty and practical significance of the work, and also presents its general characteristics.

**Section 1** discusses modern methods and approaches for evaluating the technical condition of buildings and structures with strength and high temperature impacts. The conducted review of the normative and scientific literature allows us to conclude that there is no normative base in Ukraine for examination, determination of the technical condition and residual life of structures after strength and high temperature influences.

The analysis of available methods allowed to establish that there are no methods which have practical application of determination and evaluation of technical condition, calculation of stress-strain state, and justification of further reliable exploitation of reinforced concrete structures of buildings and constructions after strength and high temperature influences.

**Section 2** of the Dissertation presents a methodical approach to the evaluation of the technical condition of reinforced concrete structures of buildings and constructions.

It was shown the features of determination of the technical condition of structures after fire. The bearing capacity, deflections and fracture resistance of structures after fire are determined in the course of developing the project of the reconstruction of structures and the building as a whole.



Transition of structures to a limit state is possible if parameters such as geometric dimensions (reduction due to corrosion wear), strength of the material of structures, and junctions, mortgages, etc. - are destroyed or damaged.

**Section 3** of the paper describes the methods for determining the stress-strain state and stiffness of reinforced concrete elements under strength and high-temperature influences.

It is necessary to calculate the change in the properties of concrete and armature after exposure to high temperatures by introducing additional coefficients which take into account the reduction of controlled parameters of materials.

The following algorithm was proposed during the process of the check calculations performance: mathematical modeling of structures by the finite element method, taking into account the set technical condition; calculation of structures and determination of forces and deformations in the elements; comparing the nature of the deformation of the real object to the mathematical model and specification, if necessary, the rigidity characteristics of the materials of the model elements; calculation of the refined model, determination of efforts and displacements; verification of the compliance with conditions that ensure the bearing capacity and deformability of reinforced concrete constructions, buildings and structures, assessment of their technical condition; adjustment of the estimated scheme of the structure, taking into account the installation of reinforcement elements and the calculation of the new model, design of reinforcement structures.

**Section 4** presents the results of experimental investigations of reinforced concrete slabs, columns, beams, and building fragments on strength and high temperature influences.

There are presented the results of the fire resistance test of a reinforced concrete spatial structure, which simulated a room of a high-rise building.

In order to obtain experimental data, the samples of reinforcing steel of different classes (A240, A400, A500, A600) were investigated. The samples were heated to a temperature of 700 °C using a tubular electric furnace.

In addition, there was performed a test for the fire resistance of columns.

The limit of fire resistance on the basis of the loss of bearing capacity was determined by the temperature distribution along the cross section of the column.

The results of the experimental studies further allowed us to check the basic principles of the developed calculation methods.

**The fifth section** presents the results of comparisons of experimental studies, numerical simulations and calculations using the developed methods.

Results of experimental studies and numerical analysis of three types of structures (column, beam-wall, slab) in ANSYS Workbench 17.1. for the first 10-30 minutes significantly differ at all control points. In the future this difference stabilizes, and up to the end of the experiment does not exceed 10.0%, which can be considered quite acceptable.

The method for calculating the fire resistance of reinforced concrete columns based on static calculation was developed and tested. This calculation, which is based on the previously obtained data, allows to calculate the temperature distribution along the cross section and to determine the bearing capacity, taking into account the reduction of the strength and deformation characteristics.

**Section 6** is devoted to the development of evaluation methods and modeling of the technical condition of buildings structures and constructions with the combined action of strength and high temperature influences.

It is proposed to perform the analysis and detection of changes in the basic design and calculation preconditions that have arisen during the exploitation period by comparing such design (normalized) and actual (at the time of inspection and certification) indicators and their parameters.

In all cases, the assessment of the technical condition must be performed on the basis of results of current and periodic inspections or special examination. During the examination data is collected on the actual actuation of structures, clarifying information on current and predicted loads, conducting necessary studies of the properties of materials, collecting current information based on the results of diagnostics or observations, performing the necessary calculations.

There were given the results of inspections, determination of technical condition and calculation of real constructions, buildings and structures in general, which were damaged during the fire.

**Keywords:** reinforced concrete structures, high temperature influences, fire, technical condition, controlled parameters, residual resource, modeling of the system «basis–foundation–structure».