

Шифр "міцність залізобетону"

**КОНТРОЛЬ ПОКАЗЧИКІВ МІЦНОСТІ ЕКСПЛУАТОВАНИХ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ**

Зміст

Вступ	3
1. Класифікація методів контролю параметрів міцності бетону залізобетонних конструкцій.....	4
2. Класифікація методів контролю параметрів міцності прокату та арматурної сталі залізобетонних конструкцій	11
3. Особливості поведінки матеріалів конструкцій при високотемпературних впливах	20
Висновки	29
Список використаної літератури	30

Вступ

Оскільки спрацьованість обладнання та будівельних конструкцій у різних галузях економіки становить 50-70 % і продовжує зростати, витрати на ремонтні роботи для будівельних конструкцій і обладнання суттєво перевищують витрати на створення нової техніки. Тому особливої уваги набувають питання управління експлуатаційною надійністю та довговічністю об'єктів шляхом визначення їхнього технічного стану та залишкового ресурсу.

Мета роботи полягає у дослідженні контрольованих параметрів бетону та арматури експлуатованих залізобетонних конструкцій при спільній дії різних впливів з подальшим використанням отриманих даних для обґрунтування можливості продовження терміну експлуатації або необхідності ремонту (заміни) конструкцій.

Завдання наукової роботи: узагальнити результати досліджень в області визначення контрольованих параметрів матеріалів конструкцій при різних впливах різними методами, обґрунтувати необхідність проведення досліджень у цій області, використання отриманих даних для обґрунтування можливості продовження терміну експлуатації або необхідності ремонту (заміни) конструкцій.

Пропозиції щодо врахування чинних навантажень і впливів, властивостей матеріалів елементів системи і контактних умов, представлені в зручній формі для конструкцій, що знаходяться в експлуатації, відсутні. Визначати міцність експлуатованих залізобетонних конструкцій будівель необхідно за результатами виконаного обстеження з подальшим використанням отриманих результатів для моделювання технічного стану на ПК і перевірного розрахунку конструкцій.

1. Класифікація методів контролю параметрів міцності бетону залізобетонних конструкцій

В основу руйнівного методу покладено випробування до руйнування контрольних зразків, виготовлених з того самого бетону і за тією самою технологією, що й будівельна конструкція. При цьому прийнято умову, що міцність бетону в контрольних зразках така сама, як і в конструкції. Цим методом визначається міцність на стиск R_b і на розтягування R_{bt} . В країнах СНД як контрольні зразки використовуються куби розмірами 100 x 100 x 100 мм, 150 x 150 x 150 мм, 200 x 200 x 200 мм і балочки (призми) розмірами 100 x 100 x 400 мм або 150 x 150 x 600 мм. У зарубіжних країнах як контрольні зразки використовуються циліндри 100 x 100 x 400 мм [1, 3-6].

Зразки для випробування (куби і циліндри) можуть бути відібрані безпосередньо з будівельної конструкції. За цих умов визначається міцність бетону в конструкції. Проте в процесі відбирання виникають мікроруйнування на поверхні зразків, тому отримана міцність може бути дещо заниженою.

Міцність бетону визначається за величиною руйнівного навантаження:

$$R = f(P), \quad (1.1)$$

де R – характеристика міцності бетону (R_b, R_{bt} , МПа); P – зусилля, при якому руйнується зразок, кН.

Цей метод набув значного поширення одним із перших. Згадку про нього можна знайти в роботах, присвячених можливості використання бетону в будівництві. Основні теоретичні дослідження при вивченні теорії міцності бетону і залізобетону були проведені О. О. Гвоздевим, Б. Г. Скрамтаєвим, О. Я. Бергом та ін., а найбільшого розвитку він досяг у 50-х роках минулого століття і зв'язку із розвитком будівельної індустрії в СРСР [1, 2 та ін.]. Застосування методу регламентоване чинними нормативними документами [3, 4 та ін.]

Руйнівним методом визначаються основні характеристики міцності та деформативності бетону (призмova міцність на стиск R_b , міцність на розтягування R_{bt} , модуль пружності E_b , коефіцієнт Пуассона μ). Міцність бетону в серії визначається як середнє арифметичне значення міцності в окремих зразках.

Міцність бетону на розтягування розраховується за наслідками випробувань на розтягування спеціальних зразків «вісімок» або на вигин призми. Цю характеристику можна визначити також розколюванням циліндрів або кубів.

Проте висока точність методу може бути визнана тільки при оцінюванні міцності бетону в самих випробовуваних зразках. Поширення значення міцності бетону в зразках на бетон в конструкціях навіть за умови, що використано один заміс, призводить до суттєвих похибок. По-перше, умови укладання, ущільнення, термовологісного оброблення і тверднення бетону в зразках і конструкціях завжди різні. Позначається вплив технологічних чинників. По-друге, навіть при максимально можливій подібності бетону в зразках і конструкціях процес тверднення залежатиме від розмірів, відкритої поверхні конструкції, ступеня прогрівання. По-третє, різниця між наростанням міцності бетону в зразках і конструкціях ще більш суттєва у разі застосування попереднього напруження або центрифугування бетону. З цього випливає, що міцність бетону у зразках і конструкціях завжди різна. Тому контроль міцності бетону за зразками є деякою мірою умовним і дає можливість, в основному, оцінити якість бетонної суміші. До того ж цей метод дає можливість отримати результат лише під час виготовлення конструкції – для експлуатованих конструкцій цей метод непридатний.

Для усунення вказаних недоліків було запропоновано відбирання з конструкції за допомогою відповідного устаткування кубики або циліндрові керни з подальшим їх випробуванням. У цьому разі міцність бетону в зразках максимально відповідатиме міцності бетону в конструкції в тій частині, де відбулося відбирання зразків.

Всі механічні методи дуже трудомісткі, вимагають чималих затрат ручної праці і практично не піддаються автоматизації. Однак ці методи контролю міцності бетону (зокрема, шляхом випробування контрольних кубів) набули значного поширення в країнах СНД і донині залишаються основними для заводів ЗБВ, внаслідок чого тисячі кубічних метрів зруйнованого бетону після випробувань кубів та призм вивозяться на звалище.

Метод відриву зі сколюванням ґрунтується на використанні залежності зусилля, необхідного для виривання анкерного стержня з бетону, від міцності даного бетону (разом з анкерним стержнем виривається частина бетону кінчної форми):

$$R_b = f(P), \quad (1.2)$$

де P – зусилля, при якому виривається анкерний стрижень, кН.

При бетонуванні конструкцій у місцях, в яких передбачається визначати міцність, встановлюються анкерні стержні, і після тверднення бетону вони висмикуються. Якщо визначається міцність вже затверділого бетону, то в ньому свердлиться отвір і вставляється анкерний пристрій з розтискним конусом.

Найширшого застосування набули два типи анкерних пристроїв. Перший тип – робочий стержень з анкерною головкою, який застосовується для установки в свіжеукладений бетон (рис. 1.1, а).

Другий тип – пристрій, який дає можливість виконати самоанкерування із застосуванням рифлених сегментних щічок і розтискного конуса. Такий анкерний пристрій застосовується для установки в просвердлений отвір при контролі затверділого бетону (рис. 1.1, б).

Відстань від анкерного пристрою до грані конструкції повинна бути не меншою за 150 мм, а від місця встановлення сусіднього анкера – не меншою за 250 мм.

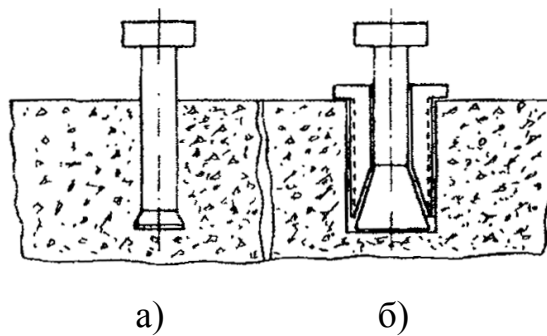


Рис. 1.1. Загальний вигляд анкерних пристроїв

Діаметр шпуру (отвору) в бетоні для постановки анкерного пристрою другого типу має бути таким, що дорівнює 25 мм, а глибина повинна відповідати величині, що регламентована чинними державними стандартами [9, 13].

Для виготовлення шпурів необхідно застосовувати пневматичні або електричні свердлувальні машинки з алмазними свердлами, оскільки при виконанні роботи механізмами ударної дії на стінках отвору виникають мікротріщини і отримані характеристики міцності будуть заниженими.

Закладення анкерних пристроїв повинне забезпечити надійне зчеплення анкера з бетоном конструкції. Висмикування їх здійснюється переносним гідравлічним прес-насосом ГПНВ-5 (рис. 1.2, а), конструкція якого розроблена в Донецькому ПромбудНДІпроекті під керівництвом І. Д. Вольфа [1, 5]. Цей прилад може створювати зусилля в 5500 кгс. Всі внутрішні порожнини приладу заповнюються моторним маслом.

Працює ГПНВ-5 таким чином (рис. 1.2, б). Прилад встановлюють на поверхні бетонної конструкції, суміщують в одній площині обидві опорні ніжки і анкерний пристрій, який заздалегідь було закріплено в бетоні, і вставляють розширення анкерного пристрою в захват 2. За допомогою гайок 9 вибираються всі люфти і створюється невелике зусилля в анкері.

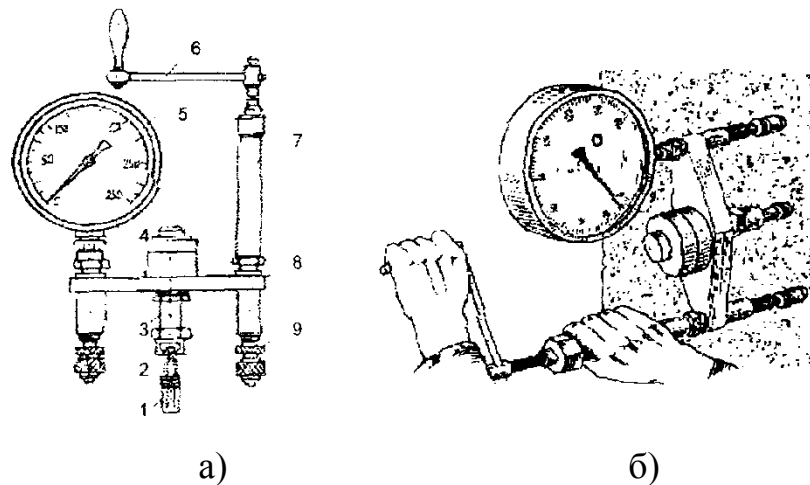


Рис. 1.2. Загальний вигляд приладу ГПНВ-5

Прилад готовий до роботи. Далі, обертаючи ручку 6 гвинтового насоса, створюють тиск у гідравлічній системі, внаслідок чого в штоку 3 виникає зусилля, яке через захват 2 передається анкерному пристрою. Величина зусилля фіксується манометром 5.

При випробуванні бетону, міцність якого не перевищує 40 МПа, для висмикування анкерного пристрою можна використовувати гідравлічний прес-насос типу ГНВС-4, який створює максимальне зусилля 40 кН. У процесі прикладення зусилля до анкерного стрижня в бетоні на рівні кінця анкера виникають розтягувальні та дотичні напруження. Після досягнення ними граничних значень у бетоні виникає руйнування по твірній конуса від розтягування і сколювання (рис. 1.3).

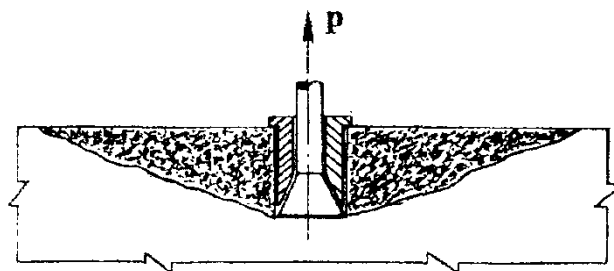


Рис. 1.3. Характер руйнування бетону при відриві зі сколюванням

Міцність випробуваного бетону визначається за формулою

$$R_c = \alpha m P, \quad (1.3)$$

де P – зусилля висмикування анкерного пристрою, кН; α – коефіцієнт пропорційності між зусиллям висмикування і міцністю бетону, який визначається за відповідними методиками [1, 5]; m – коефіцієнт, що враховує максимальний розмір крупного заповнювача в зоні висмикування, приймається таким, що дорівнює 1 при розмірі фракції заповнювача, що менший за 50 мм, і таким, що дорівнює 1,1 при, розмірі фракції, що більший 50 мм.

Порушені ділянки конструкції після випробування закладаються бетоном з міцністю, не нижчою за ту, що використана в конструкції.

Розглянутий метод порівняно точний, оскільки він базується на характеристиці міцності бетону. До позитивних якостей методу слід віднести і той чинник, що міцність бетону визначається безпосередньо в конструкції. Основними недоліками методу вважається його висока трудомісткість як при свердлінні отворів, так і при самих випробуваннях, а також обмеженість його використання при визначенні міцності бетону в стиснутих елементах конструкції, оскільки відбувається часткове руйнування бетону і ослаблення поперечного перерізу випробовуваних елементів.

На практиці розглянутий метод набув широкого застосування в комплексі з іншими, наприклад, неруйнівними методами, при градуванні залежностей непрямих характеристик від міцності бетону.

Метод сколювання кутів використовує залежності зусилля, необхідного для сколювання кута в конструкції на певній довжині від міцності бетону (рис. 1.4). Цей метод використовує залежність величини зусилля, необхідного для сколювання ребра конструкції на певній довжині, від міцності бетону. Ця залежність визначається за формулою (1.2).

Для проведення випробування застосовується прилад ГПНВ-5 і спеціальний пристрій, що забезпечує прикладання зусилля під кутом 18° до навантажуваної поверхні (рис. 1.4). Довжина сколюваної ділянки дорівнює 30 мм, а глибина – 20 мм.

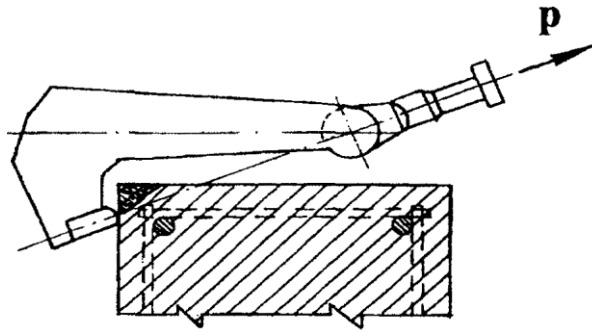


Рис. 1.4. Пристрій для сколювання ребра

Результати випробування не враховуються, якщо при сколюванні бетону оголюється арматура або фактична глибина сколювання відрізняється від потрібної (20 мм) і перевищує її більш ніж на 1 мм.

Міцність бетону визначають за зусиллям сколювання, використовуючи градувальну залежність («зусилля сколювання – міцність»).

Переваги і недоліки методу аналогічні, як для методу відриву зі сколюванням.

У вогнепальному методі використовується залежність об'єму зруйнованого бетону в конструкції від удару кулі, випущеної з пістолета, від міцності цього бетону [9]:

$$R_c = f(V), \quad (1.4)$$

де V – об'єм зруйнованого бетону, см^3 .

Послідовність вимірювання міцності бетону така.

У досліджуваній конструкції вибирається ділянка розміром 300 x 300 мм, на якій необхідно визначити міцність бетону, і в цю ділянку робляться постріли з пістолета. Під час удару кулі частина бетону руйнується і з'являється воронка.

Міцність бетону залежно від об'єму зруйнованого бетону визначається за градувальною кривою. Об'єм зруйнованого бетону приймається таким, що дорівнює об'єму пластиліну (або іншого пластичного матеріалу), необхідного для заповнення воронки. Градувальна крива будується за результатами вогнепальних випробувань контрольних кубів і порівнянням отриманих результатів із результатами, отриманими руйнівними методами.

В обмеженому просторі, коли немає можливості проводити стрільбу з відстані, можна використовувати насадку на ствол пістолета або вибух електричного детонатора. Порядок визначення міцності бетону і побудови градувальної кривої аналогічний вищенаведеним. Точність методу досить висока, а результати випробувань майже не залежать від складових бетону.

Даний метод набув широкого застосування тільки при будівництві об'єктів військового призначення, де є досвід володіння вогнепальною зброєю.

Склерометричний метод, або метод пластичних деформацій ґрунтується на використанні залежності діаметра відбитку, отриманого внаслідок пластичних деформацій бетону від удару об його поверхню сферичного пружного тіла, наприклад, кульки, від міцності бетону. В цьому разі враховуються тільки пластичні властивості бетону [1, 5].

Метод пружного відскоку базується на використанні залежності величини відскоку пружного тіла при зіткненні його з поверхнею бетону, від міцності цього бетону.

Ультразвуковий імпульсний метод використовує залежність швидкості поширення імпульсного ультразвуку від міцності бетону [1, 6].

2. Класифікація методів контролю параметрів міцності прокату та арматурної сталі залізобетонних конструкцій

Дослідження міцності сталі з листів товщиною 40 мм виконуються у всіх напрямках методом розтягування: характеристики міцності та пластичності, отримані при випробуваннях як удовж, так і поперек прокатки, повинні задовольняти вимогам державних стандартів. У напрямку, перпендикулярному до площини прокату, величина тимчасового опору на розтягування може бути приблизно в два рази меншою за величину, що регламентована чинним державним стандартом. Таким чином, міцність сталі в перпендикулярному до площини листа напрямку виявляється майже в два рази меншою [7].

Іншими дослідженнями було встановлено, що з метою забезпечення необхідної надійності металевих конструкцій доцільно проводити випробування товстих сталевих листів на розтягування по товщині [8].

Зазначене вище дає можливість стверджувати, що механічні властивості товстолистової сталі не збігаються з нормативними характеристиками в напрямку, перпендикулярному до площини листа, що вимагає досліджень і, в разі необхідності, перерахунку та підсилювання.

При неможливості відбору зразків нормативні документи рекомендують використовувати для розрахунків такі значення опору арматури на розтягування [9]:

- гладкої арматури $R_s = 155$ МПа;
- для арматури періодичного профілю «гвинт» – $R_s = 245$ МПа;
- для арматури періодичного профілю «ялинка» – $R_s = 295$ МПа.

Коефіцієнти надійності для арматури при розрахунках за першою групою граничних станів [9]:

- для арматури класів А-I, А-II та А-III приймаються такими, що дорівнюють 1,15;
- для арматури класу А-IV, А-V та А-VI приймаються такими, що дорівнюють 1,25.

Прийняття таких явно занижених характеристик арматурної сталі призводить до недооцінювання реальної міцності конструкцій та економічно невиправданого конструктивного рішення за умов підсилення.

Чинні нормативні документи та стандарти [10, 11, 12] встановлюють перелік механічних показників та методи механічних випробувань сталі.

Основним методом механічних випробувань арматурної сталі залишається випробування зразків на односне статичне розтягування з метою визначення межі текучості σ_m , тимчасового опору розриву σ_s , модуля пружності та відносного видовження при розриві. Такі методи потребують руйнування конструкції з метою вирізування стандартних зразків [13-17].

Застосування цього методу обмежене, а отримані результати не завжди можуть бути достовірними внаслідок статистичного розкиду даних. Крім того, дослідників цікавлять характеристики матеріалу в найбільш навантаженій частині конструкції, але дослідити матеріал у таких місцях за допомогою руйнівного методу неможливо, а відбирання зразків з найменш відповідальних ділянок з точки зору визначення несучої здатності сумнівне. Відбирання ж зразків з найбільш навантажених ділянок потребує розвантаження конструкцій, відбирання зразків для досліджень і подальшого відновлення, що призводить до додаткових витрат.

Ці методи поділяються на статичні та динамічні і потребують ретельного підготування поверхні конструкцій. При підготовці поверхні недопустима зміна властивостей поверхневого шару внаслідок нагрівання або наклепу. При використанні таких методів має бути забезпечена перпендикулярність напрямку дії сили до поверхні конструкції.

Вимірювання виконуються методом плавного (статичний) або ударного (динамічний) вдавлювання індентора в поверхню матеріалу. Найбільш поширеними є методи вимірювання твердості за Брінеллем [18], за Роквелом [19], за Віккерсом [20].

Вимірювання твердості за Брінеллем виконується за допомогою вдавлювання сталевोї загартованої кульки певного діаметра D під впливом певного навантаження P протягом певного часу. В поверхневому прошарку відбувається пластична деформація: чим більший опір металу, тим меншим залишається відбиток на поверхні.

При застосуванні методу Роквела для вимірювання твердості індентор завантажують початковим, а потім основним навантаженням. Після витримки протягом кількох секунд основне навантаження знімають і вимірюють глибину проникнення індентора. Твердість за Роквеллом розраховується як різниця глибин під дією послідовних навантажень. Як індентор використовують сталеву кульку або алмазний конус.

За Віккерсом твердість вимірюють використовуючи чотиригранну піраміду. Після витримки протягом певного часу прикладають навантаження, величина якого дорівнює 50, 100, 200, 300, 500, 1000 Н. Твердість за Віккерсом розраховується діленням величини навантаження на площу бічної поверхні відбитка, обчислену через його середню діагональ.

Між методами Брінелля та Віккерса багато спільного, тому значення HV збігаються з HV у певному інтервалі тиску.

Одержана за допомогою зазначених вище методів твердість являє собою деяке умовне середнє напруження на поверхні відбитка, яке характеризує опір матеріалу деформації. При отриманні двох відбитків однакової геометрії при застосуванні одного і того ж індентора вважається, що наявна однакова пластична деформація. Твердість пов'язана з основними механічними характеристиками, які визначаються розтягуванням. Складність визначення цієї функції пов'язана з розв'язанням задачі аналізу деформацій з неоднорідним розподілом напружень.

Залежність між характеристиками міцності та твердості можна розглядати як кореляційну. Головним обґрунтування можливості визначення механічних параметрів за твердістю є діаграма твердості та діаграма розтягування сталі. Характерні точки на діаграмі твердості збігаються з характерними точками на діаграмі розтягування (межі пропорційності, текучості та міцності), що дає змогу за допомогою діаграми твердості визначати основні механічні показники.

Для вимірювання твердості за Брінеллем, Роквеллом та Віккерсом використовуються стаціонарні та мобільні прилади. Як стаціонарні використовуються прилади ТП (HV) та модернізовані ТП-2 (HV). Останній прилад має екран для масштабного зображення відбитку. Прилад ТК використовується для вимірювання HRB . Прилади російського виробництва МЭИ (Т-6, Т-9, Т-10) дають можливість записувати діаграми. Ці прилади мають чималу масу, габарити і застосовуються тільки в лабораторних умовах [21].

Користуючись загальними даними, встановленими для різних марок сталей, встановлюють механічні характеристики металів за твердістю з точністю, яка не завжди може бути задовільною. Похибка вимірювань може становити 8...12%.

Матеріали з подібними характеристиками міцності, визначеними за допомогою статичних випробувань, можуть відрізнятися за своїми характеристиками в умовах динамічних навантажень. Динамічні методи вимірювання дають відносно більше розходження значень твердості, ніж статичні. Перевагами статичних методів є простота та швидкість випробувань. Динамічні методи поділяють на три групи:

- 1) метод відбитка (вдавлювання кульки ударом);
- 2) метод відскоку;
- 3) маятникові методи.

Більшість динамічних методів та прилади дають значення твердості, які відповідні до твердості за Бринеллем.

Прилади для вимірювання твердості динамічними методами можна поділити на дві групи:

- 1) з певним запасом енергії;
- 2) з невизначеним запасом енергії.

До першої групи приладів належить прилад Баумана, де під ударною дією пружини шарик притискається до поверхні зразка (вимірюється НВ). Прилад має суттєві недоліки, зокрема похибку внаслідок зміни енергії пружини з часом. Широкого застосування набули прилади ударної дії Волгоградського політехнічного інституту ВПІ-2 та ВПІ-3К, які використовують еталонний зразок при вимірюванні [22]. За допомогою цих приладів отримані залежності σ_m та σ_s , але надійність результатів була нижчою, ніж при застосуванні статичних методів.

До другої групи відносять прилад Польді – Хютте, принцип дії якого полягає у вдавлюванні за допомогою молотка сталевій кульки одночасно в

поверхню зразка і в контрольний матеріал. За діаметрами відбитків на випробовуваному зразку d_0 та контрольному d_m розраховують твердість H_0 .

При застосуванні вищезгаданих методів Баумана та Польді – Хютте похибка може бути значно вищою за 7% [23].

Прилади, принцип дії яких базується на відскоку наконечника, мають назву склекротоскопи. За цією схемою працює метод вимірювання динамічної твердості, який має назву метод Шора. Твердість за Шором (HSD) розраховується за висотою відскоку h сталевого бойка з алмазним наконечником, який падає на зразок з висоти H [44]. Для знаходження σ_m та σ_e використовуються емпіричні формули. Згідно з результатами досліджень, похибка цього методу може сягати 15%.

Загальним недоліком наведених вище методів залишається дослідження механічних показників через визначення непрямих показників, які можуть бути підтверджені лише при одночасному застосуванні руйнівних методів контролю. На сьогодні розроблені прямі методи контролю без руйнування, які дають змогу визначати межу текучості σ_m та тимчасовий опір розриву σ_e безпосередньо, але не за чинними нормативними методиками.

При вгвинчуванні стандартного гвинта в стандартну різьбу руйнівне зусилля розподіляється на витки повного і неповного профілю, а напруження розподілені нерівномірно. При цьому найбільш напруженими є перший та останній витки. Спосіб І.В.Ізосімова відрізняється тим, що з метою підвищення точності з різьби гвинта та з різьби отвору матеріалу вилучають елементи неповного профілю та вкручують на повне число витків, але не більше двох. Далі гвинт висмикують, заміряючи зусилля висмикування та площу різьби, яка зрізується. Користуючись одержаними показниками, роблять висновки про міцність матеріалу.

Конструкція гвинта має ряд недоліків. Це, по-перше, складність виготовлення гвинта – його неможливо виготовляти машинними методами внаслідок відсутності ділянок сходу та заходу різьби. По-друге, внаслідок цієї

особливості конструкції можливий перекид гвинта в різьбі при випробуваннях, що може призвести до значних похибок.

Цей метод був модифікований В.М.Лапшиновим [26]. Схема установки наведена на рис. 1.6. В матеріалі (5) виконують отвір (6) і нарізають різьбу. На дно отвору встановлюють упор (7) з елементом (8), вгвинчують гвинт (1) до взаємодії з елементом (8). Напруження здійснюють за допомогою обертання важеля (3), реєструють зусилля за допомогою датчика (4). При зрізуванні різьби залишки матеріалу відходять через лиски (2) на поверхні гвинта (1). Заміна упору (7) на менший дає змогу вимірювати міцність матеріалу на різній глибині.

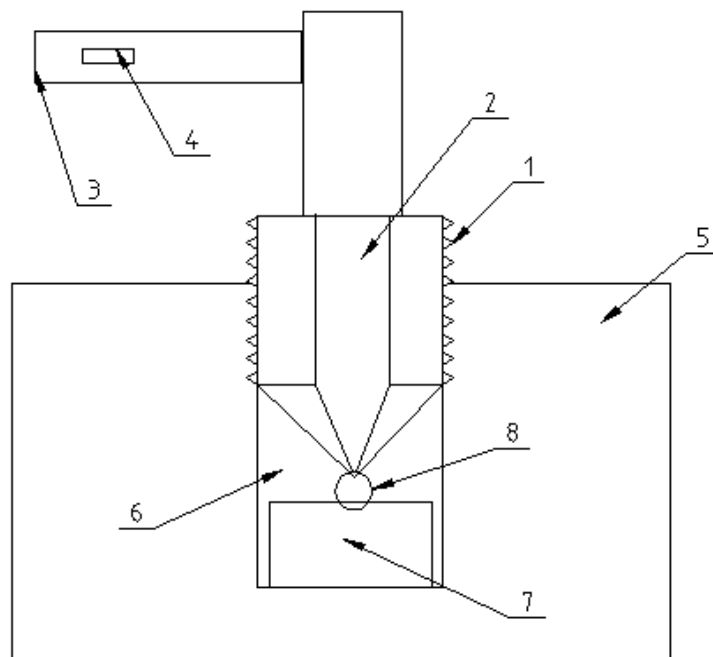


Рис. 1.5. Схема установки В.М. Лапшинова

Передача зусилля від силового до навантажувального гвинта виконується за допомогою системи рычагів з чотирма шарнірами (3), (4), (5), (6). Прилад має опорний ролик (8), який розміщується на поверхні випробовуваного матеріалу (10), та засіб вимірювання (9).

У випробовуваному матеріалі виконують отвір, нарізують різьбу. Гвинт (2) вгвинчують у різьбу. Роликовий (8) прилад підлаштовується під напрямок осі різьбового отвору в матеріалі. Зближуючи шарніри (5) та (6), створюють зусилля у гвинті (2) до руйнування різьби, яке фіксується засобом 9.

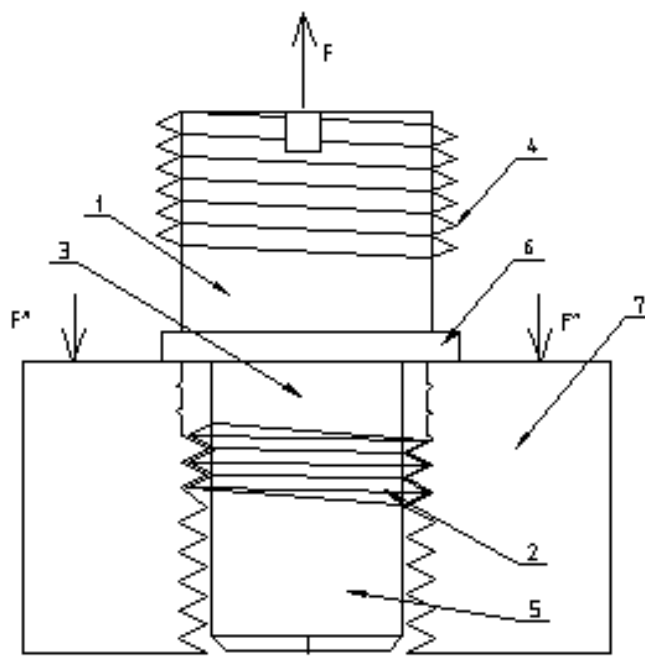


Рис. 1.6. Конструкція гвинта А.П. Іванова

Конструкція гвинта (рис. 1.8) включає в себе таке: робочу різьбу (2) на стрижні (1), циліндричні проточки (3), (5) та допоміжну різьбу (4). Співвісність різьбового з'єднання досягається за допомогою напрямної проточки (5), висота якої перевищує 0,7 діаметра стрижня. Внаслідок наявності циліндричної проточки (3) частина зруйнованої різьби зверху не перешкоджає експерименту. Різьба (2) має висоту двох кроків із заходом та сходом. Така конструкція гвинта дозволила підвищити точність визначення міцності.

Гвинт, розроблений А.П. Івановим, використовується у приладі, який був сконструйований та запатентований І.В.Ізосімовим та А.П.Івановим [27] для вимірювання міцності матеріалу на зріз. Конструкція (рис. 1.9) містить базу (1), встановлений на ній привід (2) з силовим гвинтом (3), важіль (4), вставлений

таким чином, що його кінець (10) може взаємодіяти з силовим гвинтом (3), а кінець (11) – з навантажувальним гвинтом (8). Фіксування зусилля здійснюється індикатором (13) за допомогою системи важелів (4), (5), (10), (13), (14), (15), (16), (17). Схема роботи приладу така: гвинт навантаження вгвинчують у різьбовий отвір (18) матеріалу, який випробовується (19), при цьому вилка (9) центрує головку навантажувального гвинта (8) відносно кінця (11) важеля (4). Вмикають привод (2), який рухає гвинт (3) та повертає важіль (4) навколо осі (7). Інший кінець важеля діє на гвинт (8) та намагається вирвати його із різьбового з'єднання (18).

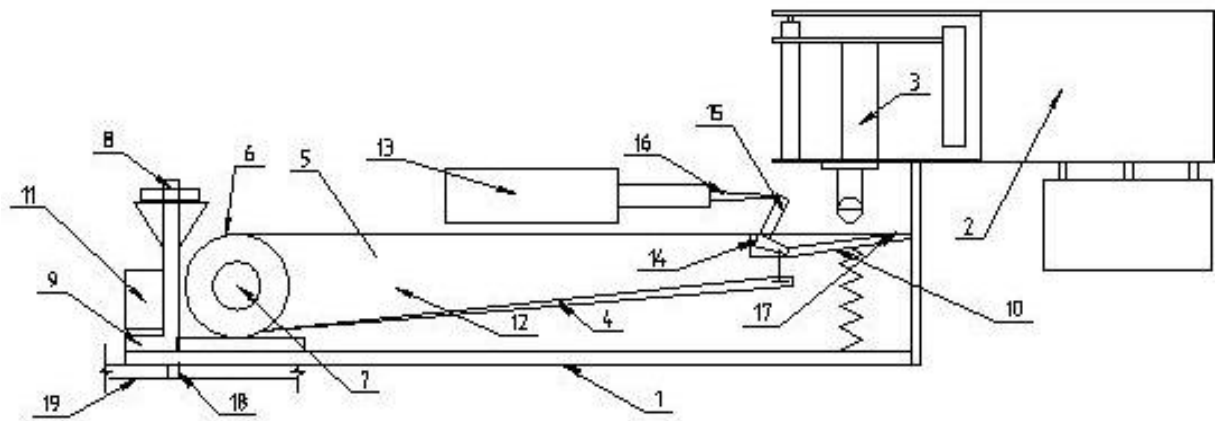


Рис. 1.7. Схема приладу І.В. Ізосімова та А.П. Іванова

При вимірюванні міцності матеріалу методом «зрізу різьби» на якість вимірювання впливають такі фактори: якість виконання різьби в матеріалі та на гвинті, встановлення гвинта перпендикулярно до площини зразка. Цей вимірювальний комплекс призначений для використання на площині листового та фасонного прокату незалежно від положення конструктивного елемента в просторі. Крім цього, ним можна вимірювати міцність зварного шва в будь-якому його положенні. Для знаходження механічних характеристик було встановлено відносно прості кореляційні залежності лінійного виду з достатньо

високою точністю при надійності результатів 0,95 [23]. Дослідження в цьому напрямі продовжуються [28, 29].

3. Особливості поведінки матеріалів конструкцій при високотемпературних впливах

Досвід експлуатації залізобетонних і сталевих конструкцій різного призначення свідчить про їхній достатній запас несучої здатності за умов відсутності непередбачуваних впливів (агресивної дії навколишнього середовища, нерівномірних деформацій основи, високотемпературних впливів тощо). Як одна з найбільш істотних причин підвищеної небезпеки для таких конструкцій розглядається нерівномірний нагрів і зміна характеристик міцності та деформативності під час і після пожежі. У зв'язку з цим необхідно вирішувати питання, пов'язані із забезпеченням тривалої та надійної експлуатації будівельних конструкцій за рахунок відповідних конструктивних рішень, прийнятих матеріалів для конструкцій або захисних заходів; визначенням НДС конструкцій при різних впливах і виконанням робіт щодо продовження терміну експлуатації як окремих конструкцій, так і будівель в цілому.

На несучу здатність і деформативність будівельних конструкцій, які піддаються високотемпературним впливам при пожежі, впливають фізико-механічні властивості матеріалу конструкції, що змінюються залежно від температури нагріву. Зокрема, такі властивості визначаються межею міцності (R) і модулем пружності (E) матеріалу, з якого виконано конструкції [30–39 та ін.].

Межею вогнестійкості будівельних конструкцій називають показник вогнестійкості конструкцій, який визначається часом від початку вогневого випробування за стандартним температурним режимом до настання одного з нормованих для даної конструкції граничних станів з вогнестійкості. Межа

вогнестійкості знижується зі збільшенням навантажень, що діють на конструкції.

Межа вогнестійкості будівельних конструкцій встановлюється за часом у хвилинах настання одного або послідовно декількох нормованих для даної конструкції ознак граничних станів [38, 39 та ін.]:

- втрати несучої здатності R ;
- втрати теплоізолювальний здатності I ;
- втрати цілісності E .

Розрахунок межі вогнестійкості залізобетонної конструкції за втратою несучої здатності R поділяється на теплотехнічну та статичну частини.

Теплотехнічний розрахунок має забезпечити час межі вогнестійкості, після вичерпування якої арматура нагрівається до критичної температури або переріз бетону конструкції скорочується до граничного значення при дії на неї стандартного температурного режиму.

Статичний розрахунок має забезпечити захист залізобетонної конструкції від руйнування, а також від втрати стійкості при спільній дії нормативного навантаження і стандартного температурного режиму.

Межа вогнестійкості залізобетонної конструкції за теплоізолюючою здатністю I має бути забезпечена теплотехнічним розрахунком. Знайдені значення температури на поверхні, що не обігрівається, мають бути менші за гранично допустиму температуру нагріву.

Втрата цілісності при крихкому руйнуванні бетону різко знижує межу вогнестійкості залізобетонної конструкції, тому доцільно застосовувати бетони з обмеженням витрати цементу, низьким V/C відношенням і з нижчим коефіцієнтом температурного розширення заповнювача.

Межа вогнестійкості залізобетонної конструкції настає при прогріванні робочої арматури до критичної температури, а також при нагріві бетону в розрахунковому перерізі вище його критичної температури.

Критична температура для важкого бетону на силікатних заповнювачах становить $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, для конструкційного керамзитобетону і бетону на

карбонатних заповнювачах – 600 °С. Критична температура нагріву арматури $T_{s,c}$ характеризує стадію утворення пластичного шарніра в розтягнутій зоні залізобетонних конструкцій і настання межі вогнестійкості при високотемпературному впливі.

Критична температура нагріву арматури $T_{s,c}$, при якій утворюється пластичний шарнір і настає межа вогнестійкості, орієнтовно може бути прийнята такою для арматури різних класу згідно з [38]:

- A240, A300 – 510 °С;
- A400 – 550 °С;
- A500, A540 – 520 °С;
- B500 – 430 °С;
- Bp1200...Bp1500, K1400 і K1500 – 410 °С.

Дослідження за тематикою визначення вогнестійкості і вогнезбереження будівельних конструкцій проводили Б. Бартелемі, С.С. Була, В.П. Бушев, О.І. Голоднов, М.П. Гордіюк, Б.Г. Демчина, Л.А.Като, В.І. Корсун, Л.Б. Кравців, О.П. Кричевський, А.Ф. Мілованов, І.Л. Мосалков, О.В. Некора, К.Д. Некрасов, Г.Ф. Плюсніна, В.А. Пчелінцев, В.М. Ройтман, М.М. Семиног, І.А. Ткачук, В.С. Федоренко, О.Ю. Фролов, С.Л. Фомін, А.І. Яковлєв [30–42 та ін.]. Результати досліджень увійшли до численних рекомендацій, чинних нормативних документів і національних стандартів України та країн СНД [43–47 та ін.].

При проектуванні багатофункціональних висотних будівель, комплексів і споруд, що належать до першого відповідального рівня надійності [49], відмови яких після пожежі можуть призвести до тяжких економічних і екологічних наслідків, а також тих конструкцій, відновлення яких пов'язане з суттєвими складностями і витратами, необхідно забезпечити можливість експлуатації їхніх несучих конструкцій після пожежі.

За можливість експлуатації несучих конструкцій будівлі після пожежі (зокрема залізобетонних конструкцій) приймають такий їх стан, при якому залишкова міцність або незворотні деформації забезпечують надійну роботу після стандартної пожежі. Розрахунок такого стану несучих залізобетонних

конструкції після пожежі виконується при розрахункових навантаженнях і розрахункових опорах бетону і арматури після вогневої дії.

Розрахунок вогнестійкості та можливості експлуатації несучих залізобетонних конструкцій після пожежі рекомендується проводити за наведеним перерізом, коли переріз елемента розбивається на малі характерні ділянки, нагріті до різних температур, і кожна мала ділянка наводиться до ненагрітого бетону з урахуванням відповідних знижуючих характеристик міцності бетону. При цьому розрахункова площа наведеного перерізу бетону може обмежуватися ізотермою критичних температур нагріву бетону $T_{s,c}$.

При проектуванні залізобетонних конструкцій необхідно забезпечувати можливість експлуатації їх після пожежі протягом часу, який має бути еквівалентний межі вогнестійкості конструкції. При цьому слід аналітично передбачити всілякі наслідки руйнівної дії вогню на зовнішні шари бетону і арматуру.

Класифікація навантажень, що використовується в ДБН В.1.2-2:2006 [48], відносить випадок пожежі до особливих впливів. У відповідності з цим, для оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій використовуються постійні та тривалі навантаження.

Несуча здатність конструкції в умовах пожежі залежить від способу її з'єднання з іншими конструкціями та способу обпирання (умов на контурі). У будівництві використовуються статично визначені і статично невизначувані конструкції. При нагріванні статично невизначуваних конструкцій у них з'являються додаткові температурні напруження.

Так, при жорсткому защемленні на опорах конструкція позбавлена можливості вільно деформуватися, внаслідок чого в ній з'являються додаткові зусилля і згинальні моменти.

Наразі основним методом розрахунку будівельних конструкцій для умов експлуатації та монтажу є метод граничних станів. Суть методу полягає у встановленні для конструкцій так званих граничних станів і в забезпеченні конструкцій за допомогою розрахунку від настання цих станів [49].

Граничним називається такий стан конструкції, при досягненні якого вона перестав задовольняти вимоги, що пред'являються до неї в процесі експлуатації або монтажу, тобто конструкція втрачає здатність чинити опір зовнішнім впливам або отримує неприпустимі деформації.

Розрізняють граничні стани першої і другої груп.

До граничних станів першої групи відносять загальну втрату стійкості форми, втрату стійкості положення, руйнування будь-якого характеру, перехід у змінну систему, якісну зміну конфігурації, а також стани, при яких виникає необхідність припинення експлуатації внаслідок текучості матеріалу, його повзучості, а також надмірних зрушень у з'єднаннях.

Граничні стани другої групи включають стани, настання яких ускладнює нормальну експлуатацію конструкції або призводить до її недовговічності.

До таких станів належать неприпустимі переміщення, а також поява або розкриття тріщин у залізобетонних конструкціях.

Основними нормованими характеристиками міцності конструкційних будівельних матеріалів залишаються характеристичні та граничні опори, значення яких визначаються певними стандартними випробуваннями з урахуванням статистичної змінності показників міцності та різного ступеня забезпеченості (довірчої імовірності) по мінімуму. Для характеристичного значення опору R_n забезпеченість має бути не нижчою за 0,95 [48].

Опір стиску бетону, нагрітого вище за критичну температуру, можна не враховувати. Опір бетону стиску приймається рівномірно розподіленим по стиснутій зоні. В цьому разі температура нагріву бетону має бути нижчою за критичну температуру. Розрахункові опори стиску приймають такими, що дорівнюють R_b , а розрахункові опори арматури розтягування і стиску після вогневого впливу при пожежі приймають відповідно такими, що дорівнюють R_{st} і R_{sct} .

Значення коефіцієнтів умов роботи арматури γ_{st} в охолодженому стані після пожежі приймають за даними відповідних таблиць [38] залежно від температури нагріву арматури під час пожежі. Прогрівання бетону до

критичної температури під час пожежі встановлюють за відповідними графіками [38] або за даними теплотехнічного розрахунку.

При розрахунку можливості експлуатації залізобетонних конструкцій після пожежі за деформаційною моделлю обов'язково враховують зміни властивостей бетону після пожежі по всьому перетину елементу.

Міцність після пожежі, зусилля і деформації в нормальному до поздовжньої осі елемента перерізі визначають з використанням діаграм стану бетону і арматури за розрахунковими опорами і значеннями відповідних коефіцієнтів умов роботи в охолодженому стані після пожежі [38].

Під час пожежі в згинаних, позацентрово стиснутих і позацентрово розтягнутих елементах при експлуатаційному навантаженні від вогневої дії виникає додатковий прогин внаслідок значного нагріву розтягнутої арматури і перепаду температур по висоті перерізу.

При температурах нагріву арматури до 350 °C прогин залізобетонного елемента розвивається за рахунок температурного розширення арматури і бетону в тій частині поверхні, яка більше нагрівається.

При вищих температурах вогневої дії прогин розвивається, в основному, внаслідок високотемпературної повзучості арматури.

Після пожежі (в охолодженому стані об'єкта) прогин від нерівномірного нагріву по висоті перерізу елемента зменшується. Залишковий прогин від навантаження значно більший, ніж до пожежі, внаслідок зниження модуля пружності бетону і розвитку пластичних деформацій арматури при нагріві.

Після пожежі міцність і пружнопластичність бетону практично не відновлюються, а в арматурі відбувається часткове відновлення міцності і повне відновлення пружності [38, 39 та ін.].

Таким чином, несуча здатність в умовах пожежі – це властивість конструкції зберігати свої функції, сприймати власну вагу, прикладені навантаження, а також температурні впливи, що виникають при пожежі. Для несучих конструкцій (колон, балок, ферм, арок, рам) як граничний стан за вогнестійкістю розглядається тільки втрата несучої здатності. Залежно від виду

матеріалу та характеру роботи конструкції граничний стан за вогнестійкістю може наступити внаслідок крихкого руйнування матеріалу або за рахунок розвитку значних необоротних деформацій.

Для конструкцій, що одночасно виконують несучі та огорожувальні функції, необхідно визначити час від початку пожежі до настання граничного стану за несучою та теплоізолювальною здатністю, а за межу вогнестійкості прийняти мінімальне з набутих значень.

Специфіка стану конструкцій після пожежі вимагає проведення додаткових робіт з метою підготовки висновку про технічний стан, можливість і методи відновлення. Перелік додаткових робіт, які необхідно виконати після ліквідації пожежі, регламентовано чинним ДБН В.1.2-1-95 [50]. Ще за часів СРСР на допомогу організаціям і фахівцям, які проводять обстеження будівельних конструкцій, НДІЗБ розроблено відповідні «Рекомендації по обстеженню будівель та споруд, пошкоджених пожежею» [46].

У відповідності з [50] відразу після пожежі власнику будівлі, де відбулася пожежа, необхідно наказом призначити комісію для попереднього обстеження.

Попереднє обстеження проводиться з метою [31, 46]:

- з'ясування можливості перебування в будівлі людей і виконання технологічного процесу, для якого будівля призначена;
- виявлення, ліквідації або огорожі небезпечних для людей зон, повністю або сильно зруйнованих конструкцій;
- ухвалення рішення про подальші заходи, спрямовані для повної ліквідації наслідків пожежі власними силами або із запрошенням представників науково-дослідних і проектних організацій для проведення детального обстеження та розроблення проекту відновлення конструкцій і будівлі в цілому;
- підготовки попередніх матеріалів і виконання робіт для проведення детального обстеження конструкцій (даних, що характеризують пожежу, місць для пристрою риштувань, сходів, освітлення).

Обстеженню підлягають всі приміщення, в яких сталося пожежа, будівельні конструкції цих приміщень і будівля в цілому.

Детальне обстеження конструкцій виконується спеціалізованою організацією. Рекомендована послідовність проведення робіт:

- вивчити всю наявну документацію;
- ознайомитися з постраждалим об'єктом;
- виконати обстеження конструкцій з метою з'ясування їхнього технічного стану після пожежі;
- виконати обстеження конструкцій, які найбільш постраждали від високотемпературного впливу під час пожежі;
- скласти та передати адміністрації підприємства висновок.

Висновок повинен містити весь матеріал, необхідний власнику будівлі та проектній організації для відновлення або ліквідації зруйнованої пожежею будівлі, а також відновлення конструкцій, які постраждали під час пожежі.

У висновку повинні бути зроблені чіткі висновки про кожну конструкцію та будівлю в цілому.

Висновок повинен містити таке:

- відомості про пожежу – час виникнення пожежі, її тривалість, час інтенсивного горіння, причина пожежі, місце розташування вогнища пожежі, значення максимальної температури в приміщенні під час пожежі;
- відомості про способи гасіння пожежі (вода, піна тощо), характеристику будівлі (найменування, рік спорудження, розміри в плані, поверховість, кількість приміщень та їхня коротка характеристика, конструктивна схема);
- характеристику конструкцій (розміри, матеріал, проектні дані, номер і назва типових креслень, схеми роботи конструкції тощо);
- значення температури нагріву бетону й арматури конструкцій (максимальна температура нагріву арматури й бетону, тривалість нагріву);
- розподіл температур по поперечному перерізу, характеристики бетону й арматури після нагріву (міцність, наявність тріщин тощо);
- характеристику конструкції після пожежі (прогини, довжина та ширина розкриття тріщин, стан стиків і обпирання тощо);

- несучу здатність конструкції після пожежі (за необхідності);
- зміна розрахункової схеми конструкцій та будівлі в цілому після пожежі;
- перелік конструкцій: непридатних для подальшої експлуатації; придатних, але таких, що вимагають підсилення або зменшення діючих на них навантажень; придатних, але таких, що необхідно зробити ремонт; придатних для експлуатації без підсилення і ремонту;
- перелік приміщень, в яких до відновлення або розбирання конструкцій не повинні перебувати люди;
- рекомендації щодо техніки безпеки і пожежної безпеки.

Визначення несучої здатності, прогинів і тріщиностійкості залізобетонних конструкцій виконуються у відповідності з принципами розрахунку, які наведені у чинному СНиП 2.03.01–84* [9]. Зміна властивостей бетону й арматури після пожежі враховується введенням додаткових коефіцієнтів умов роботи.

Висновки

На підставі проведеного дослідження зроблено такі висновки.

1. Визначати міцність експлуатованих залізобетонних конструкцій будівель доцільно з результатами виконаного обстеження з подальшим використанням отриманих результатів для моделювання технічного стану на ПК і перевірконого розрахунку конструкцій. При цьому розрахунки необхідно проводити на можливі комбінації силових, деформаційних і високотемпературних впливів із застосуванням розрахункових схем і моделей, що найповніше відображають специфіку деформації всіх елементів системи. Пропозиції щодо врахування чинних навантажень і впливів, властивостей матеріалів елементів системи і контактних умов, представлені в зручній формі для конструкцій, що знаходяться в експлуатації, відсутні.

2. Складність вирішення задач теорії і практики будівництва при різних впливах (в тому числі під час та після пожежі) обумовлена невизначеністю початкової інформації, складністю і різноманітністю структур споруд, мінливістю впливів, властивостей будівельних матеріалів, недостатньо вивченим їхнім граничним станом. В той же час основні положення теорії надійності, спрямовані на врахування імовірнісного характеру навантажень і несучої здатності конструкцій, застосовуються в основному на стадії проектування.

3. Аналіз результатів експериментальних досліджень показує, що оцінка граничних станів будівель та споруд дає достовірніші результати при використанні реальних властивостей матеріалів і деформацій конструкцій.

Список використаної літератури

1. Зубков В.А. Определение прочности бетона: Учебное пособие / В.А. Зубков. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 1998. – 125 с.
2. Клименко Є.В. Методологія оцінювання, прогнозування та регулювання технічного стану будівель і споруд із залізобетону. Дис... докт. техн. наук: Спеціальність 05.23.01. – Одеса, 2007. – 350 с.
3. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 15 с.
4. ГОСТ 28570-90. Бетоны. Метод определения прочности по образцам, отобранным из конструкций. М.: Изд-во стандартов, 1990. – 20 с.
5. ГОСТ 22690–88. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. – Введ. с 01.01.91. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 26 с.
6. ГОСТ 17624-87. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 26 с.
7. Балдин В.А. Анизотропия механических свойств толстолистовой малоуглеродистой стали / В.А. Балдин, М.М. Кобрин, П.Д. Одесский, П.И. Соколовский. Промышленное строительство. – 1966. – №4. – С. 35–37.
8. Балдин В.А. Свойства листового проката из строительных сталей по толщине листов / В.А. Балдин, П.Д. Одесский, В.А. Ратов. – Промышленное строительство. – 1975. – №1. – С. 33–35.
9. СНиП 2.03.01–84*. Бетонные и железобетонные конструкции / Минстрой России. – М.: ГП ЦПП, 1996. – 76 с.
10. ДСТУ Б В.2.6–10–96. Конструкції будинків і споруд. Конструкції сталеві будівельні. Методи випробування навантажуванням: Введено вперше. – Чинний від 18 грудня 1996 р. – К.: Держстандарт України, 1997. – 19 с.

11. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП II-23-81*) / УкрНИИПроектстальконструкция. – М.: Стройиздат, 1989. – 159 с.
12. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.
13. ГОСТ 1497-84* (ИСО 6892-84, СТ СЭВ 417-77). Металлы. Методы испытания на растяжение: Взамен ГОСТ 1497-73. – Введ. с 01.01.86 – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1985. – 36 с.
14. ГОСТ 7564-97. Прокат. Общие правила отбора проб, заготовок и образцов для механических и технологических испытаний: Взамен ГОСТ 7564-73. – Введ. с 1 января 1999 г. – М.: Изд-во стандартов. 1983. – 15с.
15. ГОСТ 7565-81. Чугун, сталь и сплавы. Метод отбора проб для химического состава: Взамен ГОСТ 7565-73. – Введ. с 01.01.82. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 13 с.
16. ГОСТ 9651-84*. Металлы. Методы испытаний на растяжение при повышенных температурах: Взамен ГОСТ 9651-73. – Введ.с 01.01. 86. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 6 с.
17. ГОСТ 11150-84*. Металлы. Методы испытаний на растяжение при пониженных температурах: Взамен ГОСТ 11150-75. – Введ. с 01.01.86. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 8 с.
18. ГОСТ 9012-59* (СТ СЭВ 468-88). Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю: Взамен ОСТ 9012-40. – Введ. с 01.01.60. М.: Изд-во стандартов, 1989. – 31 с.
19. ГОСТ 9013-59. Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу: Взамен ОСТ 9013-40. – Введ. с 01.01.60. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 6 с.
20. ГОСТ 2999-75. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу: Взамен ГОСТ 2999-59. – Введ. с 01.07.76. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 25 с.
21. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов: Учебник для вузов / В.С. Золотаревский. – М.: Металлургия, 1983. – 352 с.

22. ГОСТ 18835–73. Металлы. Метод измерения пластической твердости: Введ. с 01.01.1974. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 8 с.
23. Иванов А.П. Определение фактических механических характеристик сталей в эксплуатируемых конструкциях: Дис... канд. техн. наук: Специальность 05.23.01. – К., 2000. – 185 с.
24. ГОСТ 23273–78*. Металлы и сплавы. Измерение твердости методом упругого отскока бойка (по Шору). – Введ. с 01.07.79. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 4 с.
25. А.с. 563595 СССР, МКИ G01 N 3/24. Способ определения прочности материала на срез / И.В. Изосимов (СССР); Оpubл. 30.06.77, Бюл. №24. – С. 107.
26. А.с. 1619113 СССР, МКИ G01 N 3/24. Способ определения прочности материала путем среза резьбы / В.М. Лапшинов (СССР); Оpubл. 07.01.91, Бюл. №1. – 2 с.
27. А.с. 953512 СССР. Устройство для испытания металлов на прочность / И.В. Изосимов, А.П. Иванов (СССР); Оpubл. 23.08.82, Бюл. №31. – 2 с.
28. Отрош Ю.А. Особенности испытания металла в строительных конструкциях с применением локального разрушения / Ю.А. Отрош // Сб. науч. тр. – Алчевск: ДГМИ, 2009. – Вып. 28. – С. 355–360.
29. Иванов А.П. Визначення характеристик міцності арматурної сталі методом «зрізу різьби» у конструкціях, що експлуатуються / Иванов А.П., Отрош Ю.А. // Дороги і мости: Зб. наук. праць. – К.: ДерждорНДІ, 2009. – Вип. 11. – С. 86-91.
30. Некора О.В. Расчетно-экспериментальный метод определения огнестойкости сжатых элементов железобетонных строительных конструкций: Дис. канд. техн. наук: Специальность 21.06.02 – Черкассы, 2007. – 137 с.
31. Мосалков И.Л. Огнестойкость строительных конструкций / И.Л. Мосалков, Г.Ф. Плюснина, А.Ю. Фролов. – М.: Спецтехника, 2001. – 484 с.
32. Бертелеми Б. Огнестойкость строительных конструкций / Б.

Бертелеми, Ж.Крюпа / Пер. с франц. М.В.Предтеченского. Под ред. В.В.Жукова. – М. : Стройиздат, 1989. – 368 с.

33. Милованов А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций / А.Ф. Милованов. – М.: Стройиздат, 1986. – 224 с.

34. Милованов А.Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре / А.Ф. Милованов. – М.: Стройиздат, 1998. – 304 с.

35. Яковлев А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций / А.И. Яковлев. – М.: Стройиздат, 1988. – 143 с.

36. Бушев В.П. Огнестойкость зданий / В.П.Бушев, В.А.Пчелинцев, В.С. Федоренко, А.И. Яковлев. – М.: Из-во литературы по строительству, 1970. – 262 с.

37. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий / В.М. Ройтман. – М.: Ассоциация “Пожарная безопасность и наука”, 2001. – 382 с.

38. СТО 36554501-006-2006. Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. Стандарт организации / ФГУП «НИЦ «Строительство». – М.: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2006. – 81 с.

39. Рекомендации по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений / НИИСК Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1989. – 83 с.

40. Кричевский А.П. Железобетонные тонкостенные сооружения, подвергающиеся воздействию повышенных и отрицательных температур. Автореф. дисс. докт техн. наук. Специальность 05.23.01. – М., 1985. – 47 с.

41. Демчина Б.Г. Вогнестійкість одно- і багатопланових просторових конструкцій житлових і громадських будівель: Дис... докт. техн. наук. 05.23.01. – Харків, 2004. – 400 с.

42. Корсун В.І. Розрахунок конструкцій на температурні і силові впливи з урахуванням неоднорідності властивостей матеріалів: Автореф. дис. доктора техн. наук: 05.23.01 – Макіївка, 2004. – 40 с.

43. Методические рекомендации по расчету огнестойкости и

огнесохранности железобетонных конструкций. – М.: ГУП НИИЖБ, 2000. – 92 с.

44. Рекомендации по расчету пределов огнестойкости бетонных и железобетонных конструкций / НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1986. – 40 с.

45. Методические рекомендации по оценке свойств бетона после пожара / НИИЖБ. – М.: НИИЖБ, 1985. – 55 с.

46. Рекомендации по обследованию зданий и сооружений, поврежденных пожаром / НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1987. – 80 с.

47. ДБН В.1.1-7-2002. Державні будівельні норми України. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва. – К.: Держбуд України, 2003. – 41 с.

48. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування / Мінбуд України. – Київ: Мінбуд України, 2006. – 60 с.

49. ДБН В.1.2-14-2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – К: Мінрегіонбуд України, 2009. – 32 с.

50. ДБН В.1.2-1-95. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Положення про розслідування причин аварій (обвалень) будівель, споруд, їх частин та конструктивних елементів. – К.: Держбуд, 1995. – 23 с.