УДК 624.015.5

Комплекс взаємопов'язаних заходів щодо визначення параметрів напружено-деформованого і технічного стану конструкцій при різних впливах

[1]Отрош Ю.А., к.т.н., **[2]Іванов А.П.**, к.т.н., доц**., [3]Голоднов О.І.,** д.т.н**.**

[1]Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля, Україна
[2]Донбаський державний технічний університет, Україна
[3]ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського», Україна

Анотація. Розроблено комплексну методику оцінки технічного стану експлуатованих будівельних конструкцій після різних впливів. Запропоновано методики визначення фізико-механічних характеристик матеріалів неруйнівними методами. Показано доцільність використання отриманих характеристик матеріалів при оцінці технічного стану конструкцій.

Аннотация. Разработана комплексная методика оценки технического состояния эксплуатируемых строительных конструкций после различных воздействий. Предложены методики определения физико-механических характеристик материалов неразрушающими методами. Показана целесообразность использования полученных характеристик материалов при оценке технического состояния конструкций.

Abstract. Complex methodology of estimation of the technical state of in-service building constructions after different influences is worked out. Methodologies of determination of physical and mechanical descriptions of materials by non-destructive methods are offered. Expediency for use of the got descriptions of materials is shown while estimating the technical state of constructions.

Ключові слова. Будівельні конструкції, впливи, характеристики матеріалів, технічний стан.

Вступ. Постановка проблеми. Як основна мета робіт з обстеження конструкцій розглядається визначення виду поточного технічного стану та відповідності встановленого технічного стану вимогам нормативної та проектної документації для забезпечення подальшої безпечної експлуатації конструкцій і устаткування, а також захисту персоналу та навколишнього середовища. Згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 409 від 5 травня 1997 р. «Про забезпечення надійності та безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж» будівельні конструкції повинні піддаватися регулярному технічному огляду.

Оцінка технічного стану будівель та споруд проводиться шляхом визначення стану окремих елементів, конструкцій і об'єкта в цілому на основі аналізу технічної документації за весь експлуатаційний період,

результатів обстеження елементів і конструкцій, виконання перевірочних розрахунків [1, 2, 3 та ін.].

Методи технічного обстеження будівельних конструкцій – візуальний і/або інструментальний. Візуальним методом виявляються видимі дефекти. Інструментальним методом визначаються механічні характеристики матеріалів конструкцій, проводяться вимірювання параметрів виявлених дефектів і пошкоджень (наприклад, тріщин), розкриття конструкцій для встановлення складу, а також причин виникнення дефектів і пошкоджень.

При проведенні робіт із визначення технічного стану необхідно враховувати особливості будівель, наприклад:

- наявність футерованих конструкцій (стосується, в основному, виробничих та допоміжних будівель та споруд);
- наявність і стан захисних покриттів для конструкцій, що експлуатуються в умовах агресивних середовищ;
- необхідність обстеження й оцінки технічного стану гідроізоляційних покриттів;
- необхідність визначення існуючого НДС будівель за умов розвитку нерівномірних деформацій основи.

Методичні принципи врахування особливостей конструкцій будівель та споруд і організаційно-технічні заходи, що забезпечують проведення робіт на експлуатованих об'єктах, повинні бути відбиті у відповідних методиках проведення обстеження, які розробляються для кожної будівлі окремо.

Напрямок досліджень відповідає пп. 6.4, 6.5 напрямів з удосконалення заходів забезпечення надійності та безпечної експлуатації споруд, конструкцій, обладнання та інженерних мереж Державної науково-технічної програми «Ресурс» (№ ДР 0107U005865). Дослідження виконано в рамках науково-дослідної роботи кафедри будівельних конструкцій ДонДТУ за темою «Вплив локальних термічних дій на міцність і стійкість елементів металевих будівельних конструкцій» (№ ДР 0109U008624).

Мета роботи. Мета досліджень полягає в розробці взаємопов'язаних заходів щодо визначення контрольованих параметрів матеріалів залізобетонних і сталевих конструкцій при спільній дії різних впливів із подальшим використанням отриманих даних для обґрунтування можливості продовження терміну експлуатації або необхідності ремонту (заміни) конструкцій.

Основна частина

Оцінка технічного стану будівельних конструкцій здійснюється в такій послідовності:

- аналіз технічної документації;
- попереднє встановлення параметрів і критеріїв технічного стану, чинних і прогнозних силових, деформаційних і високотемпературних впливів;
- аналіз відмов і пошкоджень;
- візуальне обстеження стану будівельних конструкцій, визначення видимих дефектів та пошкоджень;
- попередня оцінка технічного стану конструкцій, будівлі (споруди) в цілому на основі аналізу технічної документації та візуального обстеження;
- інструментальне обстеження стану будівельних конструкцій, визначення параметрів технічного стану конструкцій і будівлі в цілому;
- аналіз результатів візуального й інструментального обстеження;
- виконання перевірочних розрахунків;
- підготовка висновку про технічний стан будівельних конструкцій будівель і споруд.

Таким чином, для конструкцій будівель та споруд різного призначення необхідно розробити комплекс взаємозв'язаних заходів щодо визначення параметрів напружено-деформованого стану (НДС) і технічного стану конструкцій при різних впливах. Розроблений комплекс повинен на основі аналізу технічної та нормативної документації встановити параметри та критерії технічного стану конструкцій, виявити механізми старіння, проаналізувати можливі відмови та пошкодження, зробити прогноз подальшого розвитку деформацій грунтової основи та фундаментів, виконати розрахунки на прогнозні деформації та можливі високотемпературні впливи, за необхідності розробити проект підсилення конструкцій і реалізувати його в натурі. Стосовно залізобетонних конструкцій виконання повного комплексу заходів неможливе без визначення характеристик міцності арматури. Надійними методами визначення характеристик міцності арматури можуть бути лише методи, засновані на отриманні реальних характеристик арматурної сталі, наприклад, шляхом випробування вилучених із конструкцій зразків

Для будівельних конструкцій встановлюється єдина класифікація (номенклатура) можливих технічних станів у кількості чотирьох відповідно до [1].

Конструкції й елементи з самого початку своєї експлуатації, впродовж всього життєвого циклу, внаслідок старіння та деградації можуть послідовно перебувати в кожному з чотирьох технічних станів. Встановлення того, в якому із зазначених технічних станів перебуває дана конструкція й елемент, є завданням комплексу робіт з оцінки їхніх технічних станів.

Елементи конструкції або споруди можуть опинитися в різних станах. В цьому випадку стан конструкції або споруди в цілому приймається за гіршим станом у згідно з [1].

Відповідно до вимог проектної та нормативної документації визначаються критерії (кількісні й якісні показники) оцінки технічного стану конструкцій та елементів. Ці критерії для кожної обстежуваної конструкції встановлюються спеціалізованою організацією на основі проведеного аналізу наявної технічної та чинної нормативної документації.

Достовірність отриманих результатів має бути забезпечена застосуванням нормованих методів проведення досліджень і визначення контрольованих параметрів, відповідних приладів, устаткування і засобів вимірювальної техніки, занесених у Державний реєстр України і таких, що пройшли перевірку в органах Держспоживстандарту або в організаціях, акредитованих на виконання цих робіт.

За нормальних умов експлуатації на конструкції діють силові, деформаційні та високотемпературні впливи. Незважаючи на те, що пожежа являє собою особливий вид навантаження, її виникнення можливе у будь-який проміжок часу.

Як критерії відмов і пошкоджень повинні бути розглянуті граничні величини параметрів технічного стану (наявність або відсутність тріщин, ширина розкриття тріщин, прогини, переміщення тощо), які зазвичай встановлюються проектною або нормативною документацією.

На основі встановлених ознак з використанням прогнозної зміни їх у часі визначаються критерії вичерпання несучої здатності конструкцій із зазначенням наслідків такого виду відмови, а також розробляються рекомендації щодо запобігання вичерпанню несучої здатності конструкцій.

Візуальне обстеження технічного стану виконується шляхом проведення технічного огляду конструкцій. Технічний огляд, у поєднанні з

інформацією, отриманою від експлуатуючої організації, дозволяє встановити [1, 2, 3 та ін.]:

- фактичні схеми розташування елементів і відповідність їх проекту;
- фактичні навантаження і впливи (включаючи особливі);
- дефекти конструкцій.

Візуальним методом виявляються видимі дефекти будівельних конструкцій, а також визначаються явні та передбачувані причини їхнього виникнення. Остаточно причини появи дефектів уточнюються після вивчення технічної документації, а також у процесі інструментального обстеження.

Візуальне обстеження включає оцінку технічного стану конструкцій за зовнішніми ознаками й відбір конструкцій для інструментального обстеження.

При візуальному обстеженні виконуються наступні види робіт:

- огляд конструкцій з метою перевірки відповідності фактичної і проектної конструктивних схем;
- визначення стану зварних швів, болтових і заклепувальних з'єднань, вузлів сполучення елементів і конструкцій;
- виявлення недоробок, неякісного виконання робіт при будівництві та ремонтах, що призводять до зниження несучої здатності конструкцій;
- оцінка фактичних умов експлуатації конструкцій, виявлення порушень умов нормальної експлуатації (впливів технологічних і атмосферних вод на конструкції, температурних впливів, що перевищують проектні);
- визначення ділянок із пошкодженнями та дефектами;
- огляд зовнішньої поверхні конструкцій на наявність тріщин, ділянок руйнувань поверхневих прошарків, оголення та корозії арматурних стрижнів і закладних деталей;
- огляд зовнішньої поверхні стін, перекриттів, фундаментів, які облицьовані плиткою, на наявність тріщин, механічних пошкоджень, відшаровувань облицювання від бетону і кладки (визначаються шляхом простукування молотком);
- вибір конструкцій, що мають дефекти, та місць для подальшого вилучення зразків кладки, арматури та бетону в ході

інструментальних досліджень (не менше трьох зразків на одну конструкцію).

Результати візуального обстеження зазвичай оформлюються у вигляді актів обстеження та відомостей дефектів з описом видів дефектів конструкцій і місць їхнього розташування. Розташування дефектів фіксують на схемах і фотографіях.

За відсутності або наявності незначних дефектів конструкцій, параметри яких не перевищують граничних величин, на основі результатів аналізу технічної документації та візуального обстеження може даватися остаточна оцінка технічного стану конструкцій. Оцінка технічного стану будівельних конструкцій оформляється у вигляді Висновку про технічний стан будівельних конструкцій відповідної будівлі [1, 2, 3].

За наявності дефектів, після аналізу технічної документації та візуального обстеження робиться попередня оцінка технічного стану будівельних конструкцій, яка надається у вигляді розділу Висновку про технічний стан будівельних конструкцій. Після цього розробляється програма інструментального обстеження.

Інструментальне обстеження проводиться з метою збору інформації для остаточної оцінки технічного стану конструкцій [1, 2, 3]. За спеціалізованими організаціями залишається право вибору приладів і устаткування для проведення інструментального обстеження.

Основною задачею при проведенні інструментальних обстежень залишається визначення фізико-механічних характеристик матеріалів. Як правило, визначення фізико-механічних характеристик матеріалів проводиться:

- вибірково в декількох однотипних конструкціях;
- у дефектних зонах конструкцій у місцях, встановлених у результаті аналізу даних візуального обстеження.

Міцність бетону методами неруйнівного контролю згідно з ГОСТ 22690-88 [4] визначається по заздалегідь установлених градуювальних залежностях між міцністю бетонних зразків і непрямими характеристиками міцності.

Градуювальні залежності повинні мати середнє квадратичне відхилення, яке не перевищує 12% при використанні серії зразків і 15% – при використанні окремих зразків від середнього значення міцності.

Визначення параметрів армування необхідно виконувати магнітним методом відповідно до ДСТУ Б В.2.6-4-95 (ГОСТ 22904-93) [5] з

використанням приладу типу ИЗС-10Н. Перед виконанням вимірювань необхідно виконати тарування приладу з побудовою індивідуальних градуювальних залежностей.

На ділянках конструкцій з розкритим захисним шаром, а також у місцях, де можливо провести вилучення арматури, необхідно виконати контроль встановлених параметрів армування з вимірюванням діаметру арматури штангенциркулем згідно з ГОСТ 166-89 [6]. Коли вилучити арматуру для досліджень неможливо, її клас необхідно встановлювати за візуальними ознаками.

Контрольовані параметри технічного стану арматури та сталевих конструкцій в експлуатованих конструкціях, як перше наближення, визначаються за допомогою твердомірів різного призначення. Використання методу локального руйнування дозволяє визначити характеристики міцності з доволі високою точністю [7].

Визначення характеристик міцності арматури в експлуатованих конструкціях методом «зрізу різьби» необхідно виконувати в такій послідовності.

1. Вибір місць проведення випробувань. Для цього необхідно виконати візуальне обстеження конструкцій, визначити зони із зруйнованим захисним шаром або зони, де необхідно виконати руйнування захисного шару для розкриття арматури. При виборі зон, де будуть виконані випробування арматури, необхідно враховувати наступні вимоги:

- зони випробувань арматури слід вибирати таким чином, щоб було зручно виконувати свердлення отворів, нарізання різьби і випробування;
- де можливо, має бути оголена арматура з торців конструкцій для визначення характеристик міцності в поздовжньому напрямку;
- при розкритті захисного шару бетону, де можливо, повинні бути оголені стрижні робочої арматури всіх діаметрів, що входять до складу робочої арматури;
- зони випробувань мають бути розташовані в тих частинах конструкцій, де за результатами аналізу або розрахунку діють незначні за величиною зусилля (наприклад, при випробуваннях робочої арматури згинних статично визначених елементів – це приопорні зони).

2. Роботи підготовчого періоду. Для знаходження за допомогою методу «зрізу різьби» характеристик міцності необхідно просвердлити отвори, в яких згодом нарізується різьба. За всіх умов буде бажаним проведення

випробувань арматури в напрямку довжини, тобто в торцях арматури. За неможливості проведення таких випробувань виконати свердлення отворів і знаходження характеристик міцності поперек довжини арматури.

Перед тим, як свердлити отвір у стрижні для визначення характеристик міцності поперек довжини, його поверхня на тому місці має бути вирівняна шляхом зрізання деякої частини металу. Це необхідно для того, щоб випробувальний гвинт угвинчувався в зразок до упору й знаходився перпендикулярно поверхні, що випробовується, протягом усього експерименту. Для цього у конструкції гвинтів зроблено упорне кільце (розмір кільця залежить від діаметру випробувального гвинта).

3. Проведення випробувань. Для проведення випробувань після тарування відбирається один гвинт. Він угвинчується до упору в отвір із різьбою і виконується випробування до руйнування різьби шляхом прикладання до гвинта розтягувального зусилля. Випробування в кожному отворі виконуються по черзі.

Кожне з перелічених з'єднань по черзі доводиться до руйнування шляхом прикладання до випробувального гвинта розтягувального зусилля.

Отримана після проведення експерименту стружка (в тому числі й витки, зрізані у випробувальному матеріалі) використовується як матеріал для проведення хімічного аналізу для визначення марки сталі.

4. Аналіз отриманих результатів. За отриманими результатами з проведених випробувань знаходять зусилля зрізу різьби. Проводиться порівняльний аналіз отриманих зусиль вздовж та поперек зразка для виявлення анізотропних властивостей матеріалу, що досліджувався (якщо була можливість проведення досліджень уздовж та впоперек арматури).

5. Оброблення отриманих результатів дослідження. Оброблення отриманих результатів починається із знаходження максимальної розтягувальної сили, яка прикладалася до гвинта. Далі виконується статистичний аналіз із метою визначення достовірності отриманих результатів і методу «зрізу різьби» в цілому.

Статистичний аналіз передбачає:

- виключення грубих помилок, оцінку розкиду отриманих даних за допомогою коефіцієнта варіації, побудову полігонів розподілу кожної зі знайдених характеристик, виявлення належності отриманих даних нормальному закону розподілу (для визначення достовірності отриманих результатів);
- виконання за отриманими залежностями розрахунків тимчасового опору розриву і межі текучості випробуваного матеріалу.

Виключення грубих помилок і оцінка розкиду даних виконуються для кожного виду арматури окремо.

За результатами аналізу технічної документації, візуального й інструментального обстеження виконується попередня оцінка технічного стану конструкцій, будівель та споруд в цілому та робиться висновок про необхідність проведення математичного моделювання НДС або спрощених розрахунків конструкцій. Попередня оцінка технічного стану проводиться на основі критеріїв оцінки. Прогноз зміни технічного стану при подальшій експлуатації виконується на основі аналізу деградаційних процесів і виявлення відповідності фактичних параметрів технічного стану вимогам проектної та нормативної документації.

Технічний стан конструкцій за відсутності дефектів може вважатися нормальним або задовільним, якщо не виконуються [3 та ін.]:

– умова відмови конструкцій (умова досягнення конструкцією граничних станів першої групи)

$$F > F_u, \tag{1}$$

де F, F_u – величини відповідно найбільш можливого за час експлуатації зусилля в елементі від розрахункових навантажень і найменшої несучої здатності;

– умова досягнення конструкцією граничних станів другої групи

$$f > f_u, \tag{2}$$

де f, f_u характерне переміщення конструкції (прогин, кут повороту, крен тощо), які визначено відповідно в результаті розрахунку або обстеження, а також граничне, встановлене нормами.

Як параметри граничних станів другої групи, досягнення яких розглядається як відмова-перешкода, розглядаються надмірне або тривале розкриття тріщин у залізобетонних конструкціях, а також досягнення граничних величин прогинів.

Граничні стани цієї групи викликають тимчасове припинення або часткове порушення умов нормальної експлуатації, але разом із тим чітка межа переходу в граничний стан відсутня.

Функції визначення несучої здатності приймаються за СНиП 2.03.01–84* [8]. Допускається застосовувати прямі обмеження наступного типу на зміну конструктивних, міцнісних або інших визначальних параметрів:

$$\delta_{min} \le \delta , \tag{3}$$

$$R_{min} \le R , \tag{4}$$

де δ_{min} – мінімально допустима величина параметра перетину залізобетонного елемента (висота, ширина, площа арматури тощо); δ – дійсна величина параметра перетину; R_{min} – мінімально допустимий розрахунковий опір матеріалу (бетону, арматури); R – дійсний розрахунковий опір матеріалу.

Оцінка технічного стану проводиться зіставленням контрольованих параметрів із відповідними проектними параметрами або визначеними в результаті обстежень і розрахунків. Конструкції можуть перейти в граничний стан, якщо досягли граничних величин такі параметри, як геометричні розміри (зменшення внаслідок корозійного зносу арматури, бетону, сталевого прокату), міцність бетону, встановлена арматура не відповідає проекту, а вузли сполучення, закладні деталі й елементи кріплення зруйновано або пошкоджено.

Мінімально допустимі величини контрольованих (визначальних) параметрів у формулах (3) і (4) встановлюють за наслідками розрахунків будівельних конструкцій відомими методами будівельної механіки й опору матеріалів для визначення несучої здатності та порівняння її з максимальним діючим зусиллям:

$$F_{cr}[x_1(t),x_2(t),..,x_m(t)] > F , \tag{5}$$

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

Як параметри $x_1(t),x_2(t),..,x_m(t)$ приймаються розміри поперечного перетину, міцність матеріалів, в т. ч. і як функції часу, деформації грунтової основи тощо. Визначення величини діючого зусилля F для статично визначених конструкцій не являє ускладнень з принципової точки зору. Для статично невизначених конструкцій величина F визначається за наслідками математичного моделювання НДС, встановленого за результатами обстеження.

Перехід нерівності (5) в рівняння свідчить про вичерпання несучої здатності (ресурсу) конструкції. Подальша експлуатація можлива після проведення робіт із підсилення (заміни) або ремонту.

Розрахунок залишкового ресурсу виконується в такій послідовності [1, 3].

1. Проводиться обстеження конструкцій і встановлюються контрольовані параметри: розміри поперечного перетину, характеристики міцності матеріалів, уточнюються величина та характер навантажень і впливів.

2. Визначається несуча здатність конструкції за даними проведених обстежень $F_{cr}[x_1(t),x_2(t),..,x_m(t)]$. За наслідками розрахунку встановлюються максимальні зусилля F. Порівнюються:

$$F_{cr} \geq F. \tag{6}$$

Якщо нерівність виконується, несуча здатність не вичерпана.

3. Визначають залишковий ресурс t_R із використанням допущення щодо лінійної залежності зміни контрольованих параметрів від часу:

$$t_R = \Delta t \cdot \frac{F_{cr} - F}{F_{pr} - F_{cr}}; \tag{7}$$

$$\Delta t = t_1 - t_0, \tag{8}$$

де t_0 – дата початку експлуатації конструкції (після виготовлення, підсилення або заміни) або попереднього обстеження, рік; t_1 – дата виконання обстеження та встановлення змін контрольованих параметрів, рік; F_{pr} – несуча здатність елементу, яка визначена за проектними даними.

Визначення залишкового ресурсу доцільно виконувати по можливості на більшій базі (8). Точніше рішення щодо величини ресурсу може бути отримане за умови наявності результатів регулярних спостережень і визначень контрольованих параметрів і технічного стану. Якщо нерівність (6) не виконується, елемент знаходиться в стані, не придатному для експлуатації, або аварійному. У разі наявності нерівномірних осідань основи, а також при високотемпературних впливах доцільним буде виконання математичного моделювання за результатами проведеного обстеження НДС конструкцій і будівлі в цілому.

Висновки

1. Для будівель та споруд різного призначення розроблено комплекс взаємопов'язаних заходів щодо визначення контрольованих параметрів і технічного стану конструкцій при різних впливах. Комплекс дозволяє на основі аналізу технічної та нормативної документації встановити параметри і критерії технічного стану, проаналізувати можливі відмови та пошкодження. Наявність таких даних дозволить якісно підійти до процесу обстеження, обґрунтовано вибрати конструкції для детального обстеження та встановити контрольовані параметри експлуатованих конструкцій та

будівлі в цілому методами неруйнівного контролю. Для арматури експлуатованих залізобетонних конструкцій вперше розроблено методику визначення характеристик міцності методом локального руйнування.

2. У межах розробленого комплексу заходів встановлено можливість виконання діагностики технічного стану та визначення залишкового ресурсу конструкцій і будівель у цілому з урахуванням встановлених за результатами обстеження контрольованих параметрів і НДС.

Література

[1] Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд. – К. : Держбуд України, 1999. – 152 с.

[2] Оценка технического состояния стальных конструкций эксплуатируемых производственных зданий и сооружений : ДБН 362-92. – К.: Государственный комитет Украины по делам архитектуры, строительства и охраны исторической среды, 1993. – 47 с.

[3] Голоднов А. И. Определение остаточного ресурса железобетонных конструкций в условиях действующих предприятий / А. И. Голоднов // Будівельні конструкції : міжвідом. наук.-техн. зб. / НДІБК. – К. : НДІБК, 2005. – Вип. 62. – Т. 2. – С. 138 – 143.

[4] Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля : ГОСТ 22690–88. – Введ. с 01.01.91. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 26 с.

[5] Магнитный метод определения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры : ДСТУ Б В.2.6-4-95 (ГОСТ 22904-93). – К. : Укрархбудинформ, 1995. – 15 с.

[6] Штангенциркули. Технические условия : ГОСТ 166-89. – М. : Госкомитет СССР по управлению качеством продукции и стандартов, 1989. – 15 с.

[7] Іванов А. П. Визначення міцнісних характеристик арматурної сталі методом «зрізу різьби» після температурного впливу / А. П.Іванов, Ю. А. Отрош // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2010. – № 2. – С. 16–19.

[8] Бетонные и железобетонные конструкции : СНиП 2.03.01–84* / Минстрой России. – М.: ГП ЦПП, 1996. – 76 с.

Надійшла до редколегії 18.07.2011 р.