

УДК 69.059.22:699.8

## Визначення технічного стану будівель зі сталевим каркасом після силових і високотемпературних впливів

Маладика І.Г., к.т.н., Шкарабура І.М.

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля  
Національного університету цивільного захисту України, Україна

**Анотація.** Викладено методичні підходи щодо визначення технічного стану сталевих конструкцій після силових і високотемпературних впливів. Наведено важливість вирішення цього питання стосовно будівель та споруд для оцінки можливості їхньої подальшої експлуатації після пожежі.

**Аннотация.** Изложены методические подходы к определению технического состояния стальных конструкций после силовых и высокотемпературных воздействий. Показана важность решения этого вопроса применительно к зданиям и сооружениям для оценки возможности их дальнейшей эксплуатации после пожара.

**Abstract.** Methodical approaches to determination of technical condition of steel structures after impact and high temperature influences is expounded. Importance of solving this problem is shown with regard to buildings and constructions to estimate the possibility of their further exploitation after a fire.

**Ключові слова:** сталевий каркас, вогнестійкість, високотемпературні впливи, технічний стан.

**Вступ. Постановка проблеми.** Конструкції будівель та споруд повинні проектуватися для надійного сприйняття всіх можливих навантажень і впливів з метою подальшої передачі їх на ґрунтову основу. Довговічність будівель в процесі зведення забезпечується шляхом використання якісних матеріалів, дотримання технології робіт і повної відповідності проекту. В процесі експлуатації довговічність будівель під впливом різних чинників знижується. Оскільки більшість чинників, що впливають на довговічність, носять випадковий характер, надійність і довговічність будівельних конструкцій визначаються законами теорії ймовірності.

В сучасній практиці будівництва сталеві конструкції мають широке використання. Це пояснюється тією обставиною, що сталь має високу міцність, надійно працює при різних видах навантаження, відповідає вимогам довговічності (за умов використання надійних засобів захисту). Сталеві конструкції – індустріальні, тобто виготовляються на спеціалізованих заводах. Окремі елементи, конструкції (відправні марки) транспортуються до місця будівництва, монтуються та встановлюються у проектне положення з використанням підйомно-транспортних засобів.

Непроникливість для рідин і газів матеріалів конструкцій та вузлів дозволяє виконувати водонепроникні та газонепроникні конструкції.

Висока міцність, надійність, індустріальність виготовлення з урахуванням принципів уніфікації, стандартизації їхніх елементів, можливість транспортування на великі відстані, малі строки монтажу, відносна легкість, у порівнянні із залізобетонними конструкціями, складають економічність використання сталевих конструкцій у будівництві.

Крім того, сталеві конструкції зручні в експлуатації, оскільки легко ремонтуються та можуть бути підсилені під час проведення робіт з реконструкції при збільшенні навантажень. Але сталеві конструкції мають і недоліки: схильність до корозії, що потребує спеціальних заходів щодо захисту; мала вогнестійкість при температурах, які перевищують 400 °С, що також потребує проведення відповідних заходів щодо їхнього захисту від впливу високих температур.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** Широке застосування сталеві конструкції отримали при будівництві одноповерхових виробничих будівель, несучих каркасів висотних будівель, великопрогонових будівель громадського призначення, будівель спеціального призначення тощо.

Досвід експлуатації сталевих конструкцій свідчить про їхній достатній запас несучої здатності за умов відсутності непередбачуваних силових і високотемпературних впливів. Суттєвими причинами підвищеної небезпеки для конструкцій за таких умов розглядаються перерозподіл внутрішніх зусиль в елементах, нерівномірний нагрів і зміна характеристик міцності та деформативності матеріалу конструкцій (сталі) під час і після пожежі за умови руйнування вогнезахисних покриттів. У зв'язку з цим виникає необхідність у проведенні робіт з обстеження, визначення та регулювання технічного стану для відновлення експлуатаційної придатності конструкцій з урахуванням прогнозу можливої зміни визначальних параметрів технічного стану і можливого руйнування конструкцій після високотемпературних впливів. При цьому необхідно вирішувати питання, які пов'язані із забезпеченням тривалої та надійної експлуатації конструкцій за рахунок прийняття відповідних матеріалів або захисних заходів, а також визначення напружено-деформованого стану конструкцій при різних впливах і з виконанням робіт із продовження терміну експлуатації як окремих конструкцій, так і будівель в цілому.

У ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016 [1] наведено настанови щодо розрахунку та прийняття заходів для забезпечення вогнестійкості проєктованих конструкцій, але не наведено вимог щодо визначення технічного стану експлуатованих сталевих конструкцій будівель та споруд і необхідності його регулювання після впливу високих температур при пожежі.

**Мета роботи.** Метою цієї роботи є розробка взаємопов'язаних заходів щодо визначення технічного стану сталевих конструкцій будівель та споруд після силових і високотемпературних впливів, визначення можливості продовження терміну експлуатації або необхідності регулювання технічного стану шляхом ремонту, підсилення або заміни конструкцій.

**Основна частина.** До чинників, що визначають поведінку будівельних конструкцій в умовах пожежі, відносять:

- ступінь навантаження конструкцій та окремих елементів;
- вигляд і кількість пожежного навантаження, що визначає температурний режим, а також теплоту пожежі;
- теплове навантаження на конструкцію;
- теплофізичні та фізико-механічні характеристики матеріалів, з яких виконано будівельні конструкції;
- умови нагріву та способи з'єднання конструкцій.

Згідно з ДСТУ Б В.1.1–4–98\* [2], фактичні межі вогнестійкості будівельних конструкцій визначаються при дії нормативних навантажень (приймаються характеристичні значення величин навантажень згідно з ДБН В.1.2-2:2006 [3]). Величини нормативних навантажень встановлюються залежно від призначення конструкцій і умов їх експлуатації.

Класифікація навантажень, що використовується в ДБН В.1.2-2:2006 [3], дозволяє віднести випадок пожежі до особливих впливів. У відповідності з цим, для оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій використовуються постійні та тривалі навантаження.

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 [2]. Межа вогнестійкості знижується зі збільшенням навантажень, що діють на конструкції.

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 межею міцності ( $R$ ) і модулем пружності ( $E$ ) матеріалу, з якого виконані конструкції.

При зміні температури від 20 °C до 200...300 °C межа міцності деяких марок сталей і бетону збільшується: в першому випадку за рахунок зниження технологічних напружень, а в другому – за рахунок зменшення вільної вологи в порах бетону.

Збільшення температури матеріалу сприяє зниженню його модуля пружності, тобто деформативність конструкції при цьому збільшується. Модуль пружності конструкційних матеріалів при збільшенні температури знижується. Деформації температурного розширення арматурних сталей зростають із зростанням температури до 700 °С.

Розрахунок будівельних конструкцій на вогнестійкість (окремої конструкції, частини конструкційної системи або конструкційної системи в цілому) у відповідності з вимогами ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016 [1] враховує такі етапи:

- вибір проектних сценаріїв пожежі;
- визначення відповідних температурних режимів пожежі;
- розрахунок підвищення температури в будівельних конструкціях;
- розрахунок механічної роботи будівельних конструкцій в умовах пожежі.

Граничним станом за ознакою втрати несучої здатності для сталевих конструкцій, які випробуються під навантаженням, є обвалення зразка або виникнення граничних значень температур для арматури і сталі сталевих колон із вогнезахисним облицюванням. При цьому, за температуру, при якій арматура (сталь конструкцій) не може виконувати свої функції, приймають температуру 500 °С.

Для колон, які випробовуються без навантаження, час досягнення граничного стану за ознакою втрати несучої здатності визначають за даними вимірювань температури по товщині зразка розрахунковим методом, який має відповідати вимогам ДБН В.1.1-7-2002 [4].

Розрахунок будівельних конструкцій на вогнестійкість включає прикладання впливів для теплового аналізу та впливів для механічного аналізу.

Все, що було наведено вище, стосувалось проектування нових конструкцій. Для конструкцій, які зазнали пошкоджень внаслідок пожежі, необхідно провести обстеження з метою визначення технічного стану та обґрунтувати можливість подальшої експлуатації за умови їх ремонту, підсилення або заміни.

Для проведення обстеження конструкцій, які отримали пошкодження внаслідок пожежі, необхідно встановити наступні відомості про пожежу:

- час виявлення пожежі, початку інтенсивного горіння;
- тривалість інтенсивного горіння під час пожежі;
- засоби гасіння пожежі;
- місце знаходження осередку займання;
- максимальну температуру середовища під час пожежі.

Детальне обстеження сталевих конструкцій необхідно провести в такій послідовності:

- вивчити наявну документацію по конструкціям і будівлі в цілому;
- ознайомитись з пошкодженням пожежею об'єктом;
- розробити методику проведення обстежень;
- обмежити доступ сторонніх осіб в зону ведення робіт;
- конструкції, які знаходяться в аварійному стані (можуть бути обвалені під час проведення робіт з обстеження), необхідно тимчасово розкріпити або підсилити;
- виконати візуальне та інструментальне обстеження конструкцій, які залишились в проектному положенні, з метою з'ясування їхнього технічного стану після пожежі;
- виконати візуальне обстеження конструкцій, які найбільш постраждали від високотемпературного впливу під час пожежі;
- виконати необхідні розрахунки, підготувати висновок про технічний стан сталевих конструкцій і можливість подальшої експлуатації будівлі;
- розробити проект підсилення конструкцій.

Оскільки розвиток пожежі призводить до нерівномірного нагрівання та руйнування конструкцій, стінового огороження, складованих матеріалів, обладнання, необхідно визначити характеристики матеріалів конструкцій шляхом лабораторних випробувань зразків які вилучено з елементів (які піддано впливу високих температур), а також їхній деформований стан шляхом проведення обмірювальних робіт із залученням сучасних приладів та обладнання).

Розрахунки конструкцій необхідно проводити з урахуванням встановленого (за результатами обстеження) деформованого стану та фізико-механічних характеристик матеріалів елементів конструкцій.

Відповідно до вимог чинних нормативних документів [1, 2, 3, 4 та ін.] елемент (конструкція) вважаються працездатними, а їх технічний стан нормальним або задовільним, якщо не виконуються [10]:

- умова відмови конструкцій (досягнення граничних станів першої групи)

$$F \geq F_u, \quad (1)$$

- умова досягнення конструкцією граничних станів другої групи

$$f \geq f_u \quad a_{crc} \geq a_{crc,u}. \quad (2)$$

З огляду на те, що в усіх конструкціях відбуваються зміни в часі, деякі (чи усе) компоненти нерівностей, приведені вище, є функціями часу. Кожна з нерівностей (1), (2) можна перетворити до виду:

$$\Phi_u [x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t), y_1, y_2, \dots, y_n] < \Phi(t), \quad (3)$$

де  $\Phi_u [x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t), y_1, y_2, \dots, y_n]$  – функція несучої здатності (деформативності) елементів (конструкцій), яка встановлюється згідно рекомендацій нормативних документів з урахуванням зміни параметрів в часі;  $\Phi(t)$  – чинне максимальне зусилля (деформація) в елементі (конструкції).

Вид функціональної залежності можна визначити після алгебраїчних перетворень алгебри нерівностей виду (3) з включенням до складу аргументів усіх величин, залежних від часу, якщо це представляється можливим.

Таким чином, для розроблення методики визначення технічного стану конструкцій будівель після високотемпературних впливів з метою доповнення положень чинних нормативних документів необхідно вирішити наступні задачі [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]:

- узагальнити результати досліджень в області визначення напружено-деформованого стану сталевих конструкцій будівель та споруд після силових і температурних впливів;
- розробити методи визначення параметрів вогнезахисних заходів для забезпечення тривалої та надійної експлуатації сталевих конструкцій;
- для сталевих конструкцій будівель та споруд розробити комплекс взаємозв'язаних заходів щодо визначення параметрів напружено-деформованого технічного стану після силових і температурних впливів;
- встановити параметри та критерії технічного стану, які були б придатні для розрахунків напружено-деформованого стану і визначення технічного стану сталевих конструкцій, будинків та споруд в цілому;
- розробити розрахункові моделі та методи розрахунку напружено-деформованого стану, які найбільш повно враховують специфіку деформування конструкцій, які отримали пошкодження під час пожежі;
- розробити методи оцінки технічного стану та можливості його регулювання для подальшої експлуатації конструкцій будівель та споруд після силових і високотемпературних впливів шляхом ремонту, підсилення або заміни.

## **Висновки**

1. У ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016 [1] наведено настанови щодо розрахунку та прийняття заходів для забезпечення вогнестійкості конструкцій, але не наведено вимог щодо визначення технічного стану сталевих конструкцій будівель та споруд і необхідності його регулювання після впливу високих температур при пожежі.
2. У зв'язку з цим необхідно розробити методи оцінки технічного стану та можливості його регулювання для подальшої експлуатації конструкцій будівель та споруд після силових і високотемпературних впливів шляхом ремонту, підсилення або заміни.

## **Література**

- [1] Розрахунок конструкцій на вогнестійкість : ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіон України, 2016. – 147 с. – (Пректування сталевих конструкцій. Державний стандарт України).
- [2] Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги : ДСТУ Б В.1.1-4-98\*. – Офіц. вид. – К. : Держбуд України, 2005. – 19 с. – (Будівельні конструкції. Державний стандарт України).
- [3] Навантаження і впливи. Норми проектування : ДБН В.1.2-2:2006. – Офіц. вид. – К. : Мінбуд України, 2006. – 60 с. – (Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Державні будівельні норми України).
- [4] Пожежна безпека об'єктів будівництва : ДБН В.1.1-7-2002. – Офіц. вид. – К. : Держбуд України, 2003. – 41 с. – (Захист від пожежі. Державні будівельні норми України).
- [5] ДСТУ 3760:2006. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. – Надано чинності 11.12.2006. К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 26 с.
- [6] ДБН В.2.6-198:2014. Державні будівельні норми України. Сталеві конструкції. Норми проектування / Мінрегіон України. – К. : Мінрегіон України, 2014. – 199 с.
- [7] Голоднов О.І. Визначення характеристик міцності бетону й арматури при проведенні досліджень вогнестійкості залізобетонних колон / [О.І. Голоднов, Ю.А. Отрош, І.А.Ткачук, М.М. Семиног] / Пожежна безпека: теорія і практика: Збірник наукових праць. – Черкаси; АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2011. – С. 37–43.

*Надійшла до редколегії 30.11.2016 р.*