УДК 624.014.2:699.81

С.Ф. Пічугін, д.т.н., професор
Д.В. Ткаченко, магістр
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ВОГНЕЗАХИСТ СТАЛЕВОГО КАРКАСА БАГАТОПОВЕРХОВОЇ БУДІВЛІ

Як приклад розглянуто багатоповерхову будівлю пожежонебезпечного виробництва. Виконано порівняльний аналіз оцінок вогнестійкості незахищених сталевих конструкцій будівлі. Економічно обґрунтовано варіант вогнезахисту сталевих конструкцій оштукатурюванням. Підкреслено перспективність вогнестійких сталезалізобетонних конструкцій.

Ключові слова: *вогнестійкість, вогнезахист, сталеві конструкції, сталезалізобетонні конструкції.*

Вступ. Темпи та обсяги сучасного будівництва, особливо в густонаселених урбаністичних районах, диктують високі вимоги до споруджуваних об'єктів, причому використання в будівництві сталевих конструкцій повною мірою відповідає цим вимогам. Найвагомішим аргументом на користь застосування технологій металокаркасного будівництва є швидкість зведення будівель, що в сукупності з рядом супутніх факторів створює великі переваги металу як конструктивного матеріалу. Він не горить, не сприяє підвищенню температури в осередку горіння і посиленню інтенсивності полум'я, є пожежобезпечним матеріалом.

Однак в умовах пожежі метал швидко втрачає свою міцність, що в кінцевому підсумку призводить до втрати несучої здатності конструкцій і навіть до руйнування будівель. Тому застосування сталевих конструкцій у будівництві супроводжується необхідністю їх вогнезахисту для підвищення межі вогнестійкості, що потребує певних додаткових витрат або заміни на більш вогнестійкі конструкції.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Численні публікації свідчать, що за останні 10 років в Україні намітилося різке збільшення кількості пожеж. Щодня в країні виникає в середньому 200 пожеж; щороку вони охоплюють більше 20 тисяч будівель; у вогні щороку гинуть понад 4000 осіб; завдані збитки становлять понад 0,5 млрд грн на рік.

Питання вогнестійкості та вогнезахисту будівельних конструкцій досить детально регламентовані у вітчизняній нормативній документації [1, 2, 3], нормах Єврокоду з національними додатками [4], зарубіжних нормах [5, 6], досліджені в роботах [7, 8, 9].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на наявність загальної нормативної бази, бракує рекомендацій щодо оцінювання вогнестійкості сталевих конструкцій конкретних об'єктів, які знаходяться у суттєво відмінних технологічних і експлуатаційних умовах, та щодо економічно обґрунтованого вибору засобів вогнезахисту конструкцій. Недостатньо уваги приділяється застосуванню вогнестійких сталезалізобетонних конструкцій.

Мета дослідження полягає у тому, щоб розрахувати вогнестійкість бага-топоверхової будівлі з металевим каркасом, запроектувати заходи для її за без-печення й оцінити економічну доцільність вибраних вогнезахисних заходів.

Основний матеріал і результати. Як характерний приклад розглянуто багатоповерховий промисловий будинок зі сталевим каркасом заводу з виготовлення сучасного палива – біоетанолу, запроектований викладачами кафедри КМДіП ПолтНТУ і збудований у Черкаській області. Промисловий будинок прямокутний у плані, має чотири поздовжніх прольоти шириною 6,5 м й один шириною 3 м та два поперечних шириною 7 м, розміри по крайніх осях – 29×17 м. Будинок багатоповерховий, має неоднакову кількість поверхів (від чотирьох до семи) і різну висоту (21 – 35 м). Несучі конструкції каркаса (колони, балки, ригелі) виконані з прокатних двотаврів.

Оскільки виробничий процес, що здійснюється у будівлі, входить у технологічний цикл заводу з виробництва біоетанолу, ймовірність пожежі й навіть вибуху в ній є досить великою. Температура спалаху цього палива складає +13,2ºС, а займання +18,6ºС [10], що менше 28ºС, отже, будівля належить до категорії пожежної небезпеки виробництва А, тобто виробництво є вибухопожежонебезпечним [3]. Висота будівлі – до 35 м, тому вона належить до будівель підвищеної поверховості (діапазон 26,5 – 47,0 м) [1].

Згідно з нормами [11], розглянута будівля категорії пожежної небезпеки А, класу конструктивної пожежної безпеки С0, висотою 35 м та площею 406 м^2 має II ступінь вогнестійкості. Відповідно до нормативного документа [5], несучі конструкції будівлі II ступеня вогнестійкості повинні мати мінімальну межу вогнестійкості 90 хв (*R* 90, за втратою несучої здатності).

Розрахунок вогнестійкості незахищених сталевих конструкцій. Межа вогнестійкості несучих сталевих конструкцій будівлі була оцінена трьома різними методами, одержані результати зведені в табл. 1. Величина *t* визначалася за таблицею 11 посібника [6] залежно від приведеної товщини металу, що обчислювалася як $\delta_{пр} = A/P$, де *A* – площа поперечного перерізу елемента; *P* – частина периметру перерізу, що обігрівається. Межа вогнестійкості t' визначена за нормами [4] шляхом розрахунку несучої здатності конструкції під впливом стандартного температурного режиму. Значення t'' розраховано за методикою, викладеною у роботі [9], на основі врахування критичної температури.

Таблиця 1 – Розрахунок межі вогнестійкості незахищених сталевих конструкцій

Конструкції	Марка	Профілі прокату	$\delta_{пр}$, мм	t, хв	t', хв	t'', хв
Балки	Б1…Б3	Двотаври №16…30	3,2…4,2	7,4…8,3	5,7…8,9	7,0…12,0
	Б4…Б5	Двотаври №36…45	4,8…5,6	8,8…9,7	8,1…11,0	4,3…10,
	Б6…Б7	Двотаври 60Б2…70Б2	6,9…7,4	11,3…11,9	11,7…13,1	6,6…10,1
	Б8	Двотавр №24М	5,3	9,4	10,1	8,1
	Б9	Двотавр №50Б2	5,7	9,8	10,7	9,2
Ригелі	Р1	Двотавр №40	5,2	9,2	9,7	8,5
	Р2…Р5	Двотаври 50Б2…80Б2	5,7…8,3	9,8…13,0	10,8…15,5	9,5…24,5
Колони	К1	Двотавр №26К3	9,3…12,4	14,2…16,4	25,8…29,2	21,7…23,7
	К2	Двотавр №35К3	8,3…16,6	13,0…19,0	16,3…23,4	13,9…21,3
	К3	Двотавр №40К3	8,9	13,7	14,0	13,2
В’язі	ВВ1	2 кутики 90×6	6,0	10,2	15,5	17,3

У таблиці 1 очевидно простежується відома тенденція до зростання межі вогнестійкості в міру збільшення перерізів елементів з більшими значеннями приведеної товщини.

Згідно з класифікацією нормативного документа [1, табл. Д1], будинок має ступінь вогнестійкості IIIа, до нього відносять будинки з каркасною конструктивною схемою з елементами каркаса з металевих незахищених конструкцій і огороджувальними конструкціями з металевих профільованих листів з негорючим утеплювачем. Для таких об’єктів мінімальна межа вогнестійкості основних несучих конструкцій (колон і балок) встановлена (у хвилинах) на рівні *R*15 [1, табл. 4]. Диференційовані дані наведеної вище табл. 1 дещо менші від цієї узагальненої величини.

Очевидно, що вогнестійкість незахищених сталевих несучих елементів є недостатньою, а тому її необхідно забезпечити одним із способів, розглянутих нижче.

Вибір варіанта вогнезахисту сталевих конструкцій. При виборі матеріалів для вогнезахисту було висунуто такі умови: доступність матеріалу на українському ринку; необхідний клас вогнестійкості конструкцій (R 90); обмеження навантаження вогнезахисного покриття на конструкції; екологічність, безпечність під час пожежі; мінімізація вартості захисної обробки (вартості матеріалів).

Оскільки всі несучі конструкції мають нескладну конфігурацію і необхідна межа вогнестійкості складає 90 хвилин, можливе застосування всіх трьох найпоширеніших і найбільш використовуваних типів вогнезахисних матеріалів, таких як інтумесцентні (спучувані) покриття, вогнезахисні штукатурки та вогнезахисні плити. Зважаючи на те, що спучувані покриття зрідка можуть забезпечити межу вогнестійкості понад 60 хвилин, вони були застосовані для елементів з приведеною товщиною не менше 10 мм. Для інших елементів можливе використання як вогнезахисних плит, так і штукатурок. Проте з урахуванням нанесення (монтажу) цих засобів вартість плитного захисту на 60 – 80 % більша, ніж штукатурного. Тому для всіх інших конструкцій були використані вогнезахисні штукатурки.

Серед вогнезахисних штукатурок найпоширенішими в Україні є «Эндотерм 210104» і «Неоспрей». Було вибрано штукатурку українського виробництва «Эндотерм 210104», оскільки вона є приблизно на 27% дешевшою («Неоспрей» імпортується з Росії та вико ристовується для забезпечення межі вогнестійкості 120 – 180 хв) [7]. Товщина штукатурного захисного шару практично для всіх елементів однакова і дорівнює 21 мм (як вказано в ТУ У 24.3-13481691-007-2003 [12] до цієї штукатурки), витрата матеріалу – 9,45 кг/м^2.

Маса сталевих елементів каркаса, прийнята з технічної специфікації, складає 200,3 т, що при орієнтовній вартості сталі 11000 грн/т дає загальну вартість сталевих конструкцій близько 2 204 000 грн. Необхідний об'єм вогнезахисного матеріалу «Эндотерм 210104» склав 93,3 м^3. З урахуванням вартості одиниці об'єму (маси) матеріалу 29,88 грн/кг (450 кг/м^3) загальна вартість вогнезахисного покриття конструкцій досягла 1,26 млн грн, що становить 57% вартості сталевого каркаса [13].

Слід відмітити, що одержана оцінка витрат на забезпечення вогнестійкості сталевого каркаса є певною мірою «оцінкою зверху», оскільки з певною завищеністю було прийнято катюгорію пожежної небезпеки виробництва і межу вогнестійкості, які поширені на всю будівлю, що відповідно вимагало забезпечити необхідний вогнезахист усіх сталевих конструкцій будівлі.

Раціональність сталезалізобетонних конструкцій. Суттєве подорожчання вогнезахищених сталевих конструкцій диктує актуальність пошуку більш економних варіантів їхнього вогнезахисту. Перспективними в цьому відношенні є сталезалізобетонні конструкції. Заповнення бетоном сталевих порожнистих перерізів, розроблене для збільшення несучої здатності, підвищує вогнестійкість конструкцій. Додаткове армування ще більше поліпшує ці характеристики. Однією з переваг такого типу конструкцій є можливість варіювання між товщиною сталевого перерізу, характеристиками сталі та бетону й кількістю арматури, щоб отримувати оптимальні конструкції. Під час вогневого впливу заповнені бетоном сталеві порожнисті перерізи мають кращі показники вогнестійкості, ніж традиційні залізобетонні конструкції, оскільки сталева обшивка запобігає вибухоподібному руйнуванню бетону і залишається краще захищеною від впливу пожежі. Для підтвердження сказаного наведемо дані щодо вогнестійкості деяких сталезалізобетонних конструкцій: сталеві двотаврові елементи двотаврового профілю з частковим обетонуванням – *R* 30…40; аналогічні елементи з повним обетонуванням – *R* 60…240; трубобетонні конструкції – *R* 60…90; сталеві елементи із замкнених гнутозварних профілів з бетонним заповненням – *R* 60…90 [14].

Висновки. На прикладі багатоповерхового виробничого будинку з пожежонебезпечним виробництвом показано, що незахищені сталеві конструкції мають недостатню вогнестійкість. Застосування вогнезахисної штукатурки забезпечує необхідну вогнестійкість конструкцій, але призводить до суттєвого зростання вартості будівництва. Як перспективний варіант вогнезахисту розглянуто сталезалізобетонні конструкції.

Література

1. *ДБН В.1.1.7-2002. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва. – К.: Держбуд України, 2003. – 87 с.*
2. *ДБН В.1.2-7-2008. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 30 с.*
3. *НАПБ Б. 03.002 – 2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою / МНС України. – К.: УкрНДІПБ, 2007.*

4. *ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010. Частина 1-2. Основні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1993-1-2:2005, IDT). – К.: Мінрегіон України, 2011. – 122 с.*
5. *СНиП 21-01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений / Госстрой России. – М.: Стройиздат, 1997. – 22 с.*
6. *Пособие по определению пределов огнестойкости конструкций, пределов распространения огня по конструкциям и группам возгораемости материалов к СНиП II-2-80 / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1985. – 20 с.*
7. *Вахитова Л.Н. Огнезащита стальных конструкцій / Л.Н. Вахитова, К.В. Калафат. – К.: Метинвест. – ООО «НПП Интерсервис», 2014. – 152 с.*
8. *Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий / В.М. Ройтман. – М.: Ассоциация «Пожнаука», 2001. – 382 с.*
9. *Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре / В.Н. Демехин, И.Л. Мосалков, Г.Ф. Плюснина, Б.Б. Серков, А.Ю. Фролов, Е.Т. Шурин. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. – 656 с.*
10. *Ланос на биотопливе [Электронный ресурс]. – Режим доступа:* http://lanosoid.narod.ru/html/ *lanos-na-biotoplive.html.*
11. *СНиП 31-03-2001. Производственные здания / Госстрой России. – М.: Стройиздат, 2001. – 13 с.*
12. *ТУ У 24.3-13481691-007-2003. Состав для покрытия « Эндотерм 210104».*
13. *Ткаченко Д.В. Забезпечення вогнестійкості багатоповерхового сталевого каркаса: магістерська кваліфікаційна робота / Д.В. Ткаченко. – Полтава: ПолтНТУ, 2014. – 180 с.*
14. *Лоусон М., Билык А. Стальные конструкции в архитектуре / М. Лоусон, А. Билык. – К.: Метинвест, 2014. – 136 с.*

С.Ф. Пичугин, д.т.н., профессор,
Д.В. Ткаченко, магистр
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ОГНЕЗАЩИТА СТАЛЬНОГО КАРКАСА МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ

В качестве примера рассмотрено многоэтажное здание пожароопасного производства. Выполнен сравнительный анализ оценок огнестойкости незащищенных стальных конструкций здания. Экономически обоснован вариант огнезащиты стальных конструкций оштукатуриванием. Подчеркнута перспективность огнестойких сталежелезобетонных конструкций.

Ключевые слова: *огнестойкость, огнезащита, стальные конструкции, сталежелезобетонные конструкции.*

S.F. Pichugin, doctor of technical sciences, professor,
D.V. Tkachenko, master
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

FIRE PROTECTION OF STEEL FRAMEWORK OF MULTISTORY BUILDING

Multistory building of fire dangerous production is considered as an example. The comparative analysis of fire-resistance estimations is executed for unprotected steel structures of building. The variant of fire protection of steel structures is economically grounded. Fireproof perspective of steel reinforced concrete structures is underlined.

Keywords*: fire resistance, fire protection, steel structures, steel reinforced concrete structures.*

Надійшла до редакції 19.09.2014

© С.Ф. Пічугін, Д.В. Ткаченко