

УДК 624.014.2 : 624.024

к.т.н., с.н.с. В.О. Семко,
А.А. Орліковський
Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка

МОДЕЛЮВАННЯ ДІЇ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР НА КОЛОНУ З ЛСТК, ЗАХИЩЕНУ ГІПСОКАРТОНОМ

В роботі представлено результати моделювання розподілу температур в перерізі сталеві колони, захищеної гіпсокартоном, при стандартному режимі пожежі. Визначено коефіцієнти зниження несучої здатності колони, захищеної одним та двома листами гіпсокартону.

Ключові слова: *теплопередача, вогнестійкість, легкі сталеві тонкостінні конструкції, колони.*

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Питання економіки усе більш гостро постає перед будівельною галуззю України. Це веде до потреби застосування сучасних економічних конструкцій, до яких відносять і будівельні системи із використанням технології легких сталевих тонкостінних конструкцій (ЛСТК). В Україні досить мало приділяється уваги вивченню даного типу конструкцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В ряді європейських країн та в США багато років діють нормативні документи, які регламентують розрахунок сталевих тонкостінних конструкцій із холодноформованих профілів [3, 5]. Відомі рекомендації щодо проектування вогнезахисту сталевих тонкостінних холодноформованих конструкцій розроблені Steel Construction Institute [4]. Дослідження щодо вогнестійкості елементів будівель з ЛСТК проводяться дослідниками Feng M. [6], Gerlich J.T. [8], Jung Hoon Lee [9], Kaitila O. [10] та ін. Щодо вітчизняних дослідників, які займаються питанням моделювання конструкцій на ПЕОМ, то можна виділити роботи Фоміна С.Л.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Темі дослідження вогнестійкості легких сталевих тонкостінних конструкцій, в тому числі й моделювання теплопередачі в конструкції, приділяється надзвичайно мало уваги вітчизняними дослідниками. Як показує сумний досвід, до важливих при конструюванні будівельних систем з ЛСТК відносяться і питання вогнестійкості несучих елементів, у тому числі колон.

Метою даної статті є моделювання методом кінцевих елементів нестационарного режиму теплопередачі в колоні, виконаної з тонкостінного профілю, захищеного одним чи двома листами гіпсокартону, при дії на колону пожежі по стандартному температурному режимі.

Виклад основного матеріалу. Українськими та європейськими нормами [1, 2, 5] визначено граничні стани для конструкцій під дією пожежі. В даній статті розглянута можливість втрати несучої здатності конструкції (R) внаслідок дії високих температур.

Згідно нормам [5], що зазначені вище, для металевої конструкції втрата несучої здатності відбувається при перевищенні температури в 350°C у тілі металевого профілю незалежно від початкової температури конструкції.

Для врахування характерних властивостей матеріалів (сталі, гіпсокартону, мінеральної вати), таких як теплопровідність та питома теплоємність, створювалися просторові (об'ємні) моделі відповідних конструкцій.

В статті розглянуто моделі незахищеної сталеві колони (рис. 1, а), сталеві колони, яка захищена одним шаром гіпсокартону (12,5мм) (рис. 1, б) та двома шарами гіпсокартону (25мм) (рис. 1, в).

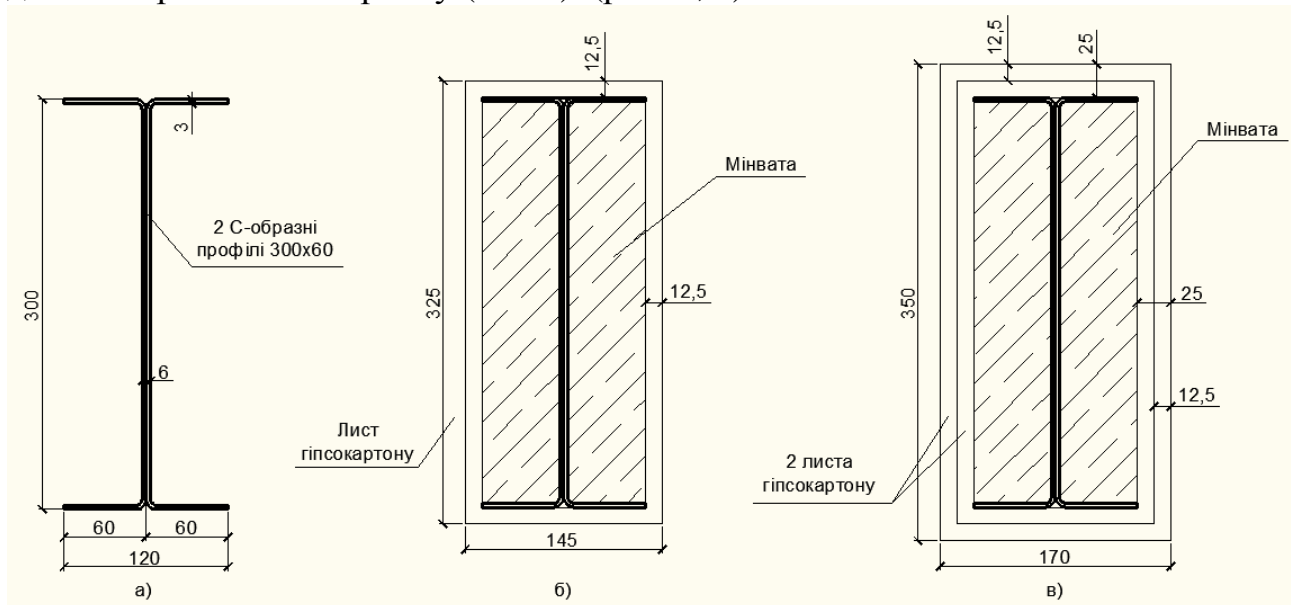


Рис. 1. Схема сталеві колони: а) незахищеної; б) захищеної одним шаром гіпсокартону; в) захищеної двома шарами гіпсокартону

Так як конструкція симетрична відносно двох осей, для спрощення розрахунку в статті розглядатиметься одна четверта частина кожної з конструкцій.

При моделюванні теплового потоку у конструкції враховувався конвекційний потік та випромінювання. Згідно [2], коефіцієнт конвекції

задавався рівний $25 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, коефіцієнт виділення випромінювання $1 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, а коефіцієнт поглинання $0,8 \text{ Вт/м}^2\text{К}$.

Для розрахунку даної моделі властивості матеріалів задавались в залежності від зростання температури. Механічні властивості сталі (теплопровідність та питому теплоємність) для розрахунку було прийнято згідно [2, 5].

Зміну густини, питомої теплоємності та теплопровідності гіпсокартону з ростом температури зображено на графіках (рис. 2).

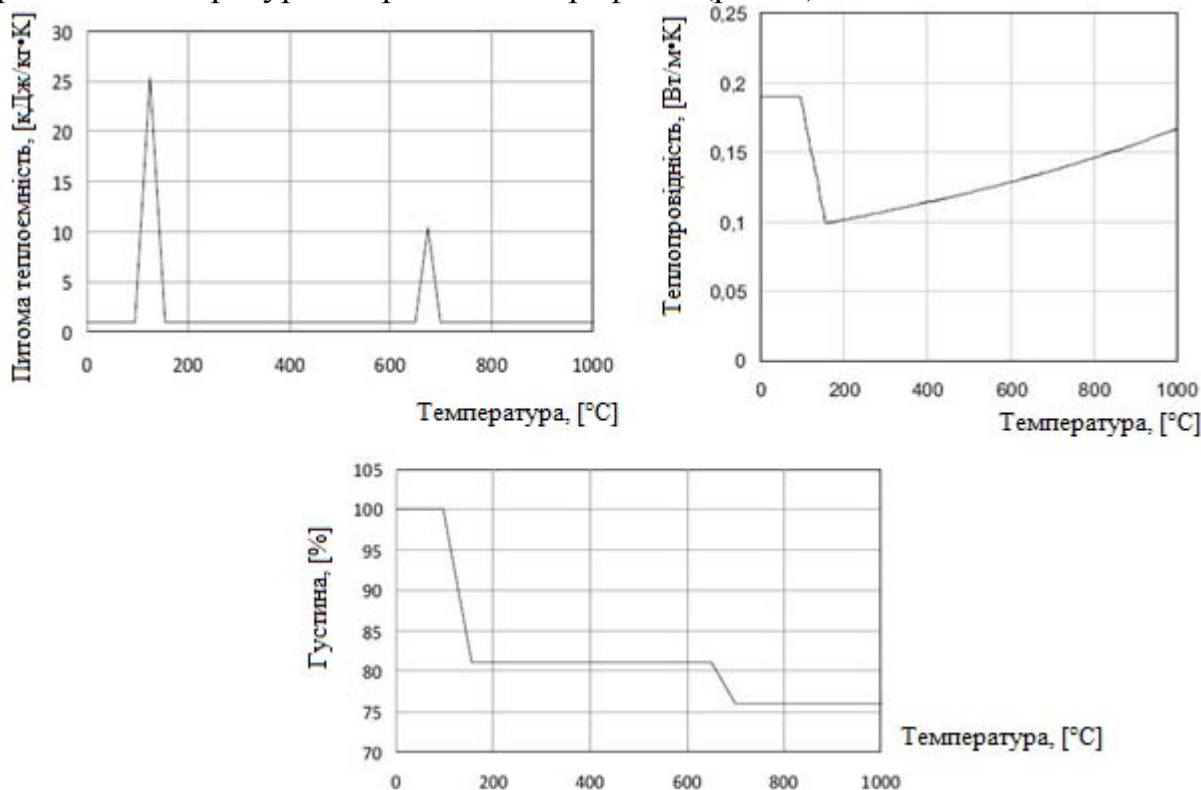


Рис. 2. Графіки зміни питомої теплоємності, теплопровідності та густини гіпсокартону відповідно [11]

Теплопровідність мінеральної вати з ростом температури можна обчислити за формулою [7]:

$$\lambda(T) = 0,000025\rho^{-1,152} \cdot T^2 + 0,0001T + (0,000007\rho^2 - 0,0006\rho + 0,044), \quad (1)$$

де ρ – густина мінеральної вати, кг/м^3 ; T – температура, $^{\circ}\text{C}$.

Зміну питомої теплоємності та густини мінеральної вати зображено на графіках нижче (рис. 3).

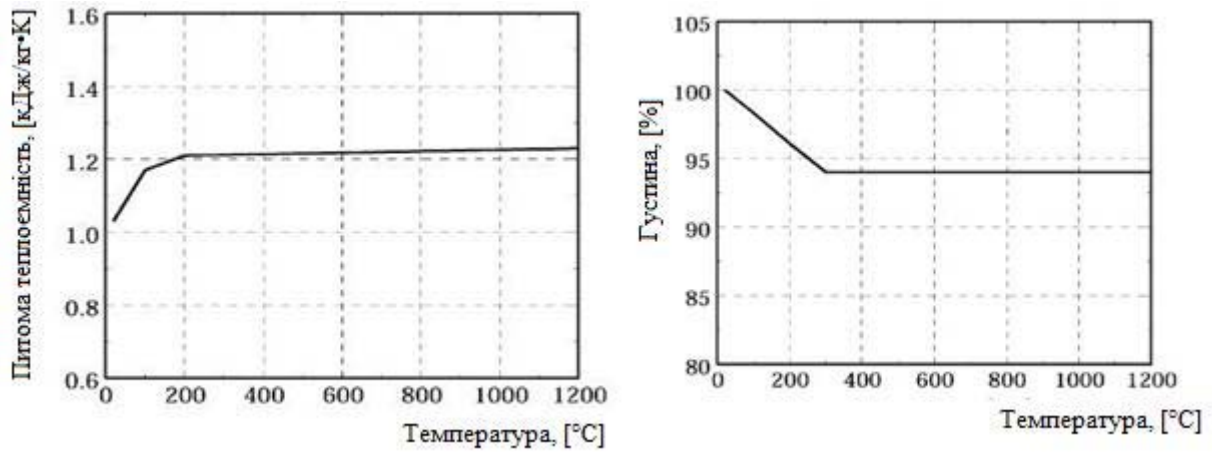


Рис. 3. Графіки зміни питомої теплоємності та густини мінеральної вати [7].

Для визначення зниження несучої здатності колони виділимо три точки в тілі профілю (рис. 4).

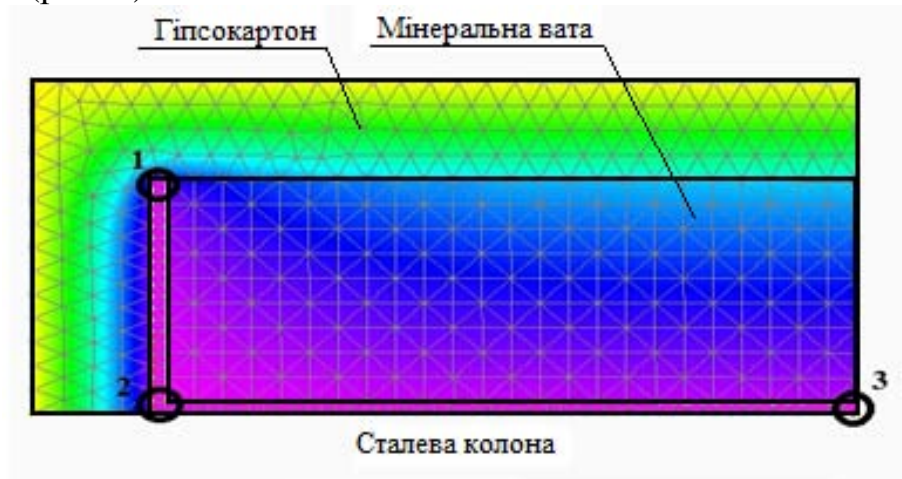


Рис. 4. Схема розміщення розрахункових точок у конструкції

На основі отриманих результатів температури у розрахункових точках для кожного варіанту захисту побудовано графіки (рис. 5, 6, 7).

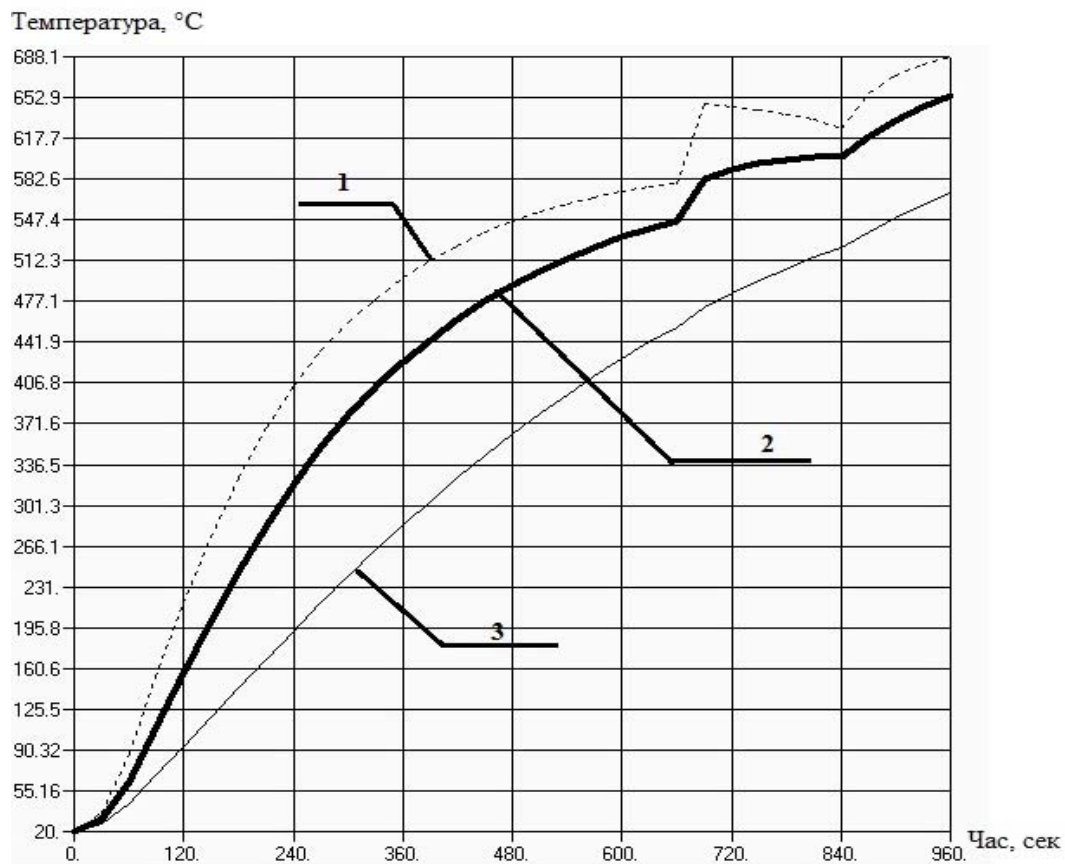


Рис. 5. Графіки приросту температури в точках сталевого профілю при незахищеному варіанті конструкції (позначення 1, 2, 3 – з рис. 4)

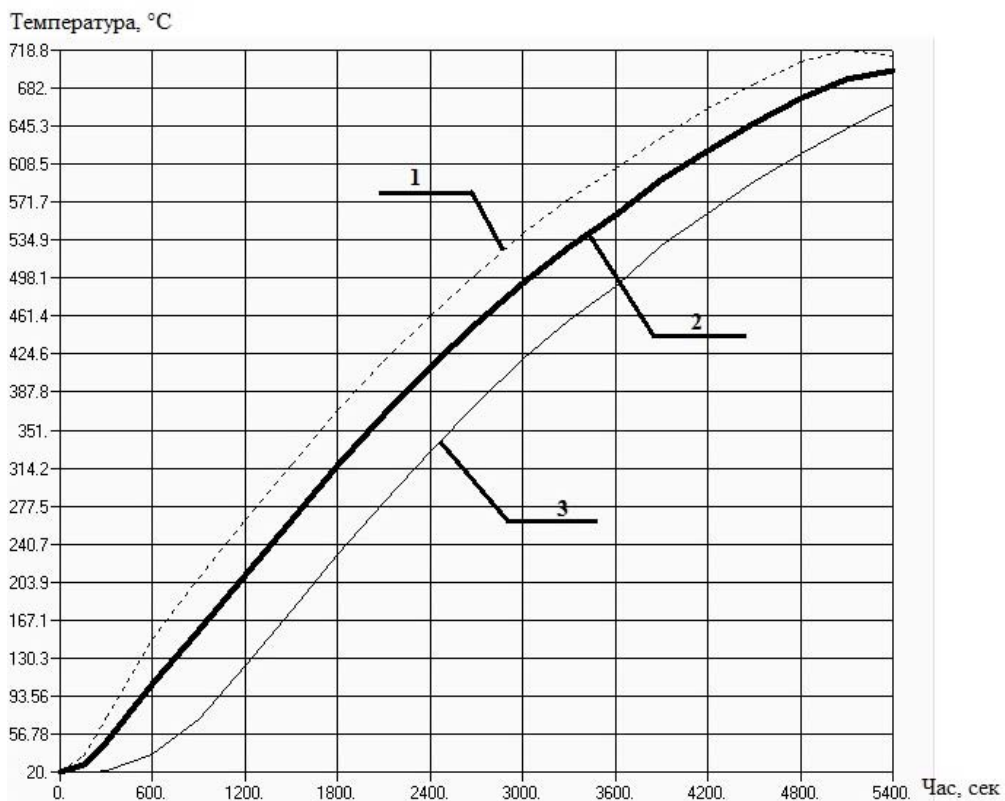


Рис. 6. Графіки приросту температури в точках сталевого профілю у конструкції, яка захищена 1 шаром гіпсокартону (позначення 1, 2, 3 – з рис. 4)

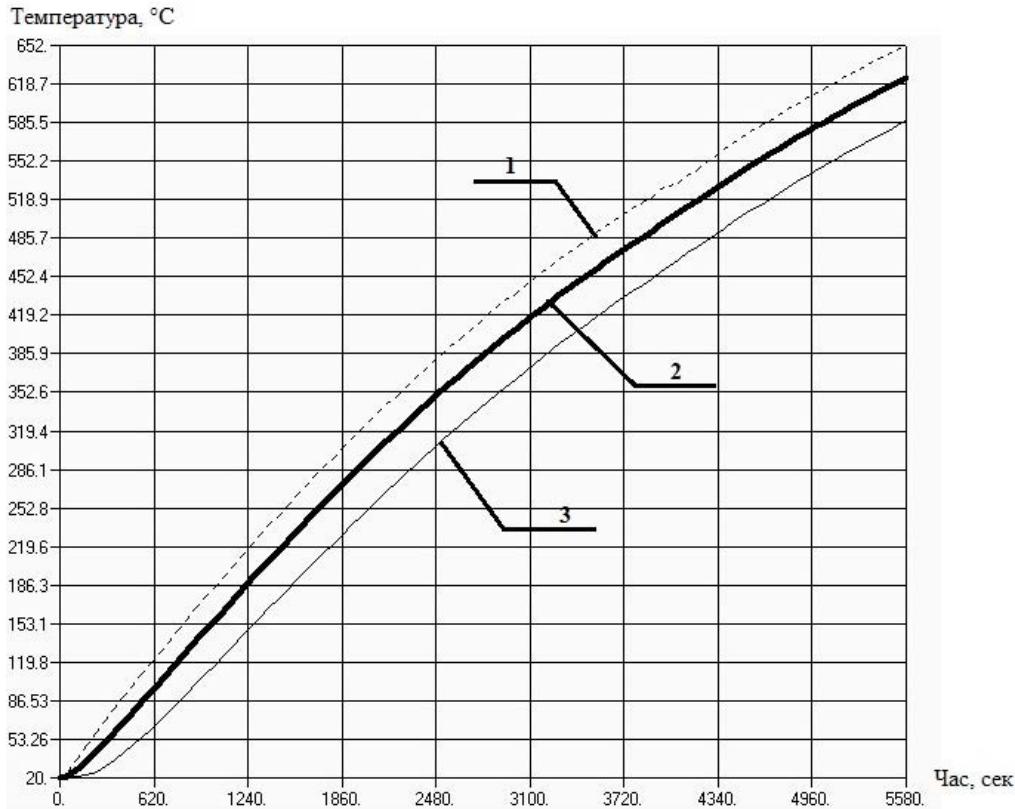


Рис. 7. Графіки приросту температури в точках сталевого профілю у конструкції, яка захищена 2 шарами гіпсокартону (позначення 1, 2, 3 – з рис. 4)

За результатами проведеної роботи складено таблицю коефіцієнтів зниження несучої здатності для незахищеної сталеві колони та колон із захистом одним та двома шарами гіпсокартону за підвищених температур (табл. 1). Коефіцієнти зниження несучої здатності описується за формулою

$$k = R_T / R_y, \quad (2)$$

де R_T – межа текучості сталі при температурі $T^\circ\text{C}$; R_y – межа текучості сталі при температурі 20°C .

Таблиця 1

Коефіцієнти зниження несучої здатності колон із ЛСТК за підвищених температур

Час, хв.	Незахищена колона	Колона, захищена 1 шаром гіпсокартону	Колона, захищена 2 шарами гіпсокартону
1	1,00	1,00	1,00
2	0,94	1,00	1,00
3	0,84	1,00	1,00
5	0,68	1,00	1,00
15	0,24	0,94	0,96
30	0,13	0,76	0,82
45	0,08	0,58	0,68
60	0,065	0,39	0,57
75	0,06	0,22	0,43
90	0,05	0,16	0,28

Висновки. За результатами моделювання дії пожежі на сталеву тонкостінну колону можна зробити наступні висновки:

1. Межа втрати несучої здатності незахищеної колони не перевищує 5 хвилин, при цьому її несуча здатність зменшується на 32%.

2. Колона, захищена 1 шаром гіпсокартону здатна опиратися пожежі більше 30 хвилин. За цей час така колона втрачає 24% несучої здатності. Колони із таким вогнезахистом можуть бути використані в будинках ступеню вогнестійкості IIIа, IV, IVа, V.

3. Колона, захищена 2 шарами гіпсокартону здатна опиратися пожежі біля 60 хвилин. За цей час така колона втрачає 43% несучої здатності. Колони із таким вогнезахистом можуть бути використані в будинках ступеню вогнестійкості IIIа, IIIб, IV, IVа, V.

Можливе збільшення межі вогнестійкості колон, захищених гіпсокартоном при зміні положення гіпсокартону, введення додаткових не несучих елементів та збільшення повітряних прошарків, але це можливо лише при достатньому вивченні властивостей різних матеріалів при високих температурах. Також необхідним для подальшого розвитку є експериментальні дослідження вогнестійкості несучих конструкцій, виконаних з холодно формованих тонкостінних елементів.

Література

1. ДБН В.1.1.7–2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва. – Київ: Держбуд України, 2003. – 43 с.

2. Проект ДСТУ-Н EN 1993-1-2:20XX. Проектування сталевих конструкцій. Основні положення. Вогнестійкість. – Київ: Мінрегіонбуд України. – 130 с.

3. AISI S100-2007. North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members. – Washington: American Iron and Steel Institute, 2007. – 198 p.

4. Building Design using Cold Formed Steel Sections : Fire Protection. – Berkshire : The Steel Construction Institute, 1993. – 33 p.

5. EN 1993-1-2:2005. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-2: General rules. Structural fire design. – Brussels : CEN, 2005. – 78 p.

6. Feng M. An Analysis of the Structural Behavior of Axially Loaded Full-scale Cold-formed Thin-walled Steel Structural Panels Tested Under Fire Conditions / M. Feng, Y. C. Wang // Thin-Walled structures. – 2005. – №43. – P. 291-332.

7. Frangi A. A New Fire Resistance Light Mineral Wool / A. Frangi, V. Schleifer, E. Hugi // Fire Technology. – 2011.

8. Gerlich J. T. Design of Load bearing Light Steel Frame Walls for Fire Resistance/ J.T. Gerlich, A.H. Buchanan. – Christchurch : Fire Engineering Research Report 95/3, 1995. – 118 p.
9. Jung Hoon Lee. Local Buckling Behavior and Design of Cold-formed Steel Compression Members at Elevated Temperatures. – Queensland: Queensland University of Technology, 2004. – 347 p.
10. Olli Kaitila. Finite Element Modeling of Cold-formed Steel Members at High Temperatures. – Helsinki: Helsinki University of Technology, 2002. – 128 p.
11. Rahmanian I. Thermal Conductivity of Gypsum at High Temperatures / I. Rahmanian, Y. C. Wang // Acta Polytechnica. – 2009. – Vol. 49 №1. – P. 16-20.

Аннотация

В статье предоставлены результаты моделирования распределения температур в сечении стальной колонны защищенной гипсокартоном при стандартном режиме пожара. Определены коэффициенты снижения несущей способности колонны защищенной одним и двумя листами гипсокартона.

Annotation

In paper the results of numerical investigation of temperature distribution in steel columns protected with gypsum board in standard mode of a fire are represented. The ratios of decrease of bearing ability of the column protected with 1 or 2 layers of gypsum board were defined.