

## **ВОГНЕСТІЙКІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ ДЕРЕВ'ЯНИХ КАРКАСНО-МОДУЛЬНИХ БАГАТОВЕРХОВИХ БУДИНКІВ, ЩО ЗВОДЯТЬСЯ В СЕЙСМІЧНИХ ЗОНАХ ІНТЕНСИВНІСТЮ ДО 7-8 БАЛІВ**

Поклонський В.Г., Расюк Р.В., Фесенко О.А., Байтала Х.З.

ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»  
м. Київ, Україна

**АНОТАЦІЯ:** Ця стаття присвячена проблемі забезпечення вогнестійкості дерев'яних конструкцій каркасно-модульних багатопверхових будівель. Були виконані розрахунки на вогнестійкість панелі перекриття і стінової панелі відповідно до основних положень EN 1995-1-2.

**АННОТАЦИЯ:** Данная статья посвящена проблеме обеспечения огнестойкости деревянных конструкций каркасно-модульных многоэтажных зданий. Были выполнены расчеты на огнестойкость панели перекрытия и стеновой панели в соответствии с основными положениями EN 1995-1-2.

**ABSTRACT:** This paper concerns the ensuring of fire resistance of timber structures of frame modular multi-story buildings. Fire resistance calculations of floor and wall panels were carried out according to EN 1995-1-2 requirements.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** дерев'яні конструкції, межа вогнестійкості, перекриття, стіна.

### **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Впровадження дерев'яних каркасно-модульних технологій у будівництво багатопверхових будинків у сейсмічних районах потребує виконання вимог Технічного регламенту [1], а саме:

- забезпечення механічного опору та стійкості під дією сейсмічних навантажень;
- дотримання вимог пожежної безпеки;
- гарантування безпеки життя і здоров'я людини та захисту навколишнього природного середовища;

- гарантування безпеки експлуатації;
- захисту від шуму;
- економії енергії.

Проблема дотримання вимог пожежної безпеки в частині збереження несучої здатності дерев'яних конструкцій протягом визначеного часу є особливо актуальною, зважаючи на те, що деревина є горючим матеріалом.

Об'єктом цього дослідження є вогнестійкість дерев'яних конструкцій каркасно-модульного багатоповерхового житлового будинку.

**Метою** роботи є оцінка вогнестійкості дерев'яних конструкцій каркасно-модульного багатоповерхового будинку розрахунковим методом.

Для досягнення поставленої мети застосовано метод приведеного поперечного перерізу [2, 3]. Завдання цієї роботи полягає у встановленні класу вогнестійкості дерев'яних конструкцій каркасно-модульних багатоповерхових будинків та наданні рекомендацій щодо можливості використання дерев'яних каркасно-модульних багатоповерхових житлових будівель.

## КОНСТРУКТИВНЕ РІШЕННЯ БУДІВЕЛЬ

Будинок прямокутний в плані, розмірами 18,77x10,21 м (рис. 1). Будинок складається з дерев'яних модулів, розташованих по чотири в плані і залізобетонної сходової клітини. Висота поверху 2,9 м [4].

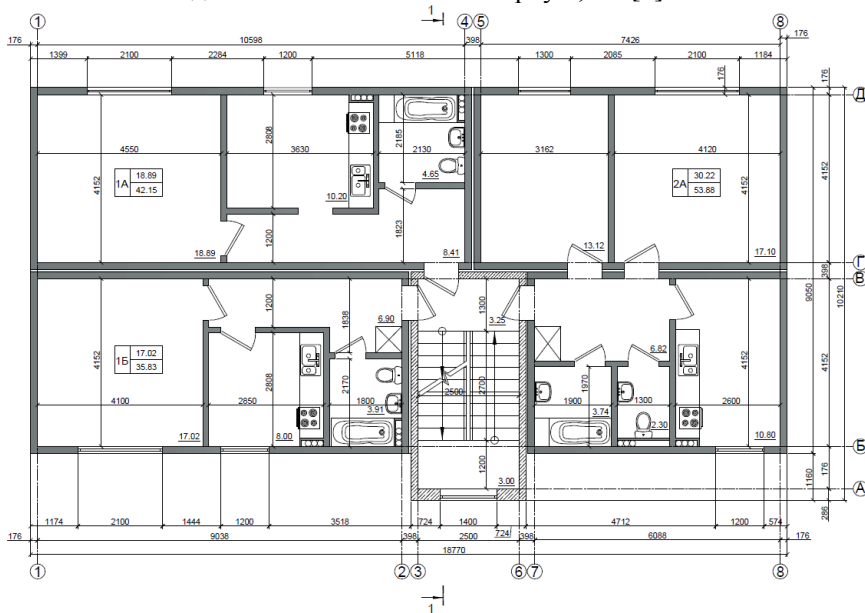


Рис. 1. План типового поверху будівлі

Дерев'яні модулі складаються з конструкцій стін, перекриття і основи модуля. Основа і перекриття модуля являють собою панелі, каркас яких виконаний з дерев'яних балок з кроком 0,4 м, і розпірок з кроком 1,08 м. Розміри перерізу балок основи – 190х40 мм, балок перекриття – 140х40 мм. Панель основи модуля знизу обшита одним гіпсокартонним листом (ГКЛ) товщиною 10 мм, а зверху – орієнтовано-стружковою плитою (ОСП) товщиною 18 мм.

Панель перекриття модуля обшита знизу двома ГКЛ товщиною 12 мм кожен. Панелі заповнені утеплювачем. Опорні рами основи і перекриття модулів виготовлені з елементів складеного перерізу загальною висотою 230 мм і 140 мм відповідно. Загальна товщина міжповерхових перекриттів становить 412 мм, горіщного перекриття і перекриття на відм. 0,0 – 218 мм.

Каркас зовнішніх стін Сн-1, Сн-2 і Сн-6 та внутрішніх стін Сн-3...Сн-5 будівлі виконано з брусів перерізом 140х40 мм, що розташовані вертикально з кроком 0,4 м і горизонтально на середині висоти стіни. Зовнішня обшивка – магнетитна плита товщиною 12 мм. Внутрішня обшивка – два гіпсокартонні листи товщиною 12 мм кожен.

Каркас внутрішніх стін будівлі Св1...Св4 виконаний із брусів перерізом 140х40 мм, що розташовані вертикально з кроком 400 мм і горизонтально на середині висоти стіни. Обшивка з обох сторін – два гіпсокартонні листи товщиною 12 мм кожен.

Проектом передбачено використання деревини хвойних порід І-го і ІІ-го сорту вологістю не більше 18%.

Утеплювач панелей – целюлозно волокнистий матеріал, що належить до групи займистості В2 – помірно займистий, групи горючості Г2 – помірної горючості, групи Д2 – помірної димоутворювальної здатності, групи поширення полум'я РП1 – матеріал, що не поширює полум'я.

## **РОЗРАХУНОК ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ**

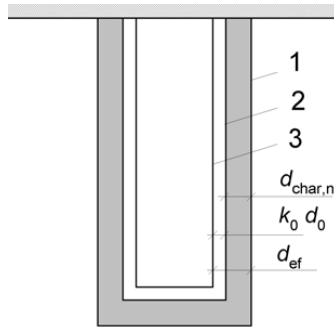
Відповідно до вимог [5] (п. 2.16) і [6] (табл. 2) ступінь вогнестійкості дерев'яного каркасно-модульного житлового будинку висотою до п'яти поверхів – ІІІ. Згідно з табл. 4 [5] класи вогнестійкості конструкцій будинку ІІІ-го ступеня вогнестійкості мають становити:

- несучі стіни – REI 120;
- зовнішні ненесучі стіни – E 15;
- внутрішні ненесучі стіни – EI 15;
- перекриття – REI 45.

Розрахунок конструкцій дерев'яного каркасу стін і перекриття на вогнестійкість виконуємо відповідно до вимог розділу 5 [2]. Для розрахунку приймаємо, що порожнини панелей не заповнені утеплювачем (додаток Д

[2]). Розрахунок виконуємо методом приведеного поперечного перерізу (п. 4.2.2 [2], [7]) за таким алгоритмом:

1. Визначаємо залишковий поперечний переріз (рис. 2):



1 – початкова поверхня елемента; 2 – межа залишкового поперечного перерізу;  
3 – межа робочого поперечного перерізу

Рис. 2. Залишковий і робочий поперечний переріз дерев'яного елемента

- робоча глибина обуглювання (п. 4.2.2.1 [2])

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 d_0, \quad (1)$$

де  $d_0 = 7$  мм;  $k_0$  – коефіцієнт (п. 4.2.2.4 [2]);

- умовна розрахункова глибина обуглювання (п. 3.4.2.2 [2])

$$d_{char,n} = \beta_n t, \text{ мм}, \quad (2)$$

де  $\beta_n$  – умовна розрахункова швидкість обуглювання, мм/хв.;  $t$  – тривалість вогневого впливу;

- час початку обуглювання (п. 3.4.3.3.2 [2])

$$t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 14, \text{ хв.}, \quad (3)$$

де  $h_p$  – товщина вогнезахисної панелі, мм;

- час руйнування гіпсокартонних панелей

$$t_f = 2,8 \cdot h_p - 11, \text{ хв.}, \quad (4)$$

- час, коли глибина обуглювання дорівнює меншому зі значень глибини елемента без вогнезахисту або 25 мм, за умови, що  $t_{ch} < t_f$

$$t_a = \frac{25 - (t_r - t_{ch})k_2\beta_n}{k_3\beta_n} + t_f, \quad (5)$$

де  $k_2 = 1 - 0,018h_p$  (п. 3.4.3.2.2 [2]),  $k_3 = 2$  (п. 3.4.3.2.4).

2. Визначаємо зниження характеристик міцності:

- коефіцієнт зміни міцності елементів дерев'яного каркасу під час пожежі  $k_{mod,fi} = 1,0$  (п. 4.2.2.5 [2]).

3. Перевіримо несучу здатність конструкцій дерев'яного каркасу стін і перекриття під час пожежі:

- розрахункова міцність під час пожежі

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}}, \text{ МПа}; \quad (6)$$

- 20 %-й квантиль міцності

$$f_{20} = k_{fi} f_k, \quad (7)$$

де  $k_{fi}$  – коефіцієнт (табл. 2.1 [2]),

$\gamma_{M,fi}$  – коефіцієнт надійності для деревини під час пожежі;

- розрахункове значення несучої здатності:

$$R_{d,t,fi} = \eta \frac{R_{20}}{\gamma_{M,fi}}, \quad (8)$$

- умова забезпечення несучої здатності під час пожежі:

$$E_{d,fi} \leq R_{d,t,fi}, \quad (9)$$

де  $E_{d,fi}$  – розрахунковий навантажувальний ефект під час пожежі;

$R_{d,t,fi}$  – відповідний розрахунковий опір під час пожежі.

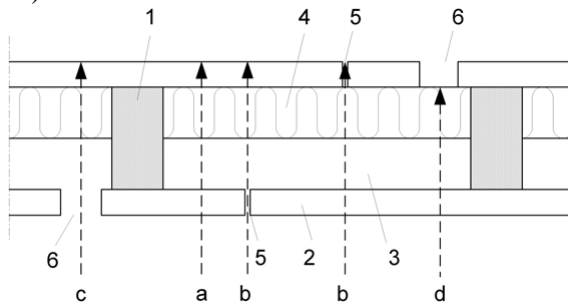
Для огороджувальних елементів має виконуватися умова (п. Е.1.4 [2]):

$$t_{ins} > t_{req}, \quad (10)$$

де  $t_{ins}$  – межа вогнестійкості за ознакою втрати теплоізолювальної здатності;

$t_{req}$  – нормована межа вогнестійкості для огороджувальної здатності конструкції.

Значення  $t_{ins}$  розраховується як сума значень для окремих шарів конструкції (рис. 3).



1 – елемент дерев'яної рами; 2 – панель; 3 – незаповнена порожнина; 4 – ізоляція порожнини; 5 – стик панелей, не захищений дошкою, стійкою каркасу стіни або балкою каркасу перекриття; 6 – місце прокладання комунікацій; a-d – шляхи теплообміну

Рис. 3. Шляхи теплообміну через огороджувальну конструкцію

$$t_{ins} = \sum_i t_{ins,o,i} k_{pos} k_j, \quad (11)$$

де  $t_{ins,0,i}$  – базисне значення часу настання граничного стану з вогнестійкості за ознакою втрати теплоізолювальної здатності “i”-го шару, хв. (Е.2.2 [2]);

$k_{pos}$  – коефіцієнт розташування (Е.2.3);

$k_j$  – коефіцієнт з'єднання (Е.2.4).

### Розрахунок перекриття на вогнестійкість за ознакою втрати несучої здатності (R)

Тривалість вогневого впливу на перекриття (рис. 4) знизу прийнято  $t=45$  хв. за стандартним температурним режимом.

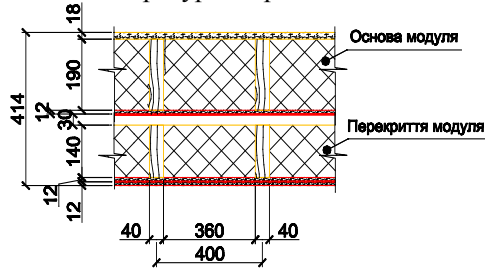


Рис. 4. Поперечний переріз перекриття будинку

1. Час початку обвуглювання елементів перекриття модуля

$$t_{ch,1} = 2,8 \cdot h_p - 14 = 2,8 \cdot 1,5 \cdot 12 - 14 = 36,4 \text{ хв.} < t = 45 \text{ хв.}$$

2. Час руйнування панелі перекриття модуля

$$t_{f,1} = 2,8 \cdot h_p - 11 = 2,8 \cdot 1,5 \cdot 12 - 11 = 39,4 \text{ хв.}$$

3. Час, коли глибина обвуглювання дорівнює меншому зі значень глибини елемента без вогнезахисту або 25 мм

$$t_{a,1} = \frac{25 - (t_r - t_{ch})k_2\beta_n}{k_3\beta_n} + t_f = \frac{25 - (45 - 36,4) \cdot 0,784 \cdot 0,8}{2 \cdot 0,8} + 39,4 = 51,7 \text{ хв} > t = 45 \text{ хв}$$

де  $k_2 = 1 - 0,018h_p = 1 - 0,018 \cdot 12 = 0,784$ ,  $k_3 = 2$ .

4. Час початку обвуглювання елементів основи модуля

$$t_{ch,2} = 2,8 \cdot h_p - 14 = 2,8 \cdot 12 - 14 = 19,6 \text{ хв.} > t - t_{f,1} = 45 - 39,4 = 5,6 \text{ хв.}$$

5. Час руйнування панелі основи модуля

$$t_{f,2} = 2,8 \cdot h_p - 11 = 2,8 \cdot 12 - 11 = 22,6 \text{ хв.} > t - t_{f,1} = 45 - 39,4 = 5,6 \text{ хв.}$$

Час початку обвуглювання елементів основи модуля і час руйнування панелі основи модуля менші за тривалість прямого вогневого впливу на основу модуля. Таким чином, несуча здатність перекриття будинку протягом вогневого впливу тривалістю 45 хв. забезпечена.

## Розрахунок перекриття на вогнестійкість за ознакою втрати теплоізолювальної здатності (I)

Визначаємо межу вогнестійкості за ознакою втрати теплоізолювальної здатності  $t_{ins}$ :

$$t_{ins} = \sum_i t_{ins,0,i} k_{pos} k_j = 0,8(t_{ins,0,ГКЛ1} k_{pos} k_j + t_{ins,0,ГКЛ2} k_{pos} k_j + t_{ins,0,нопл} k_{pos} k_j + t_{ins,0,ГКЛ3} k_{pos} k_j + t_{ins,0,ноп2} k_{pos} k_j + t_{ins,0,ОСП} k_{pos} k_j) = 0,8(1,4 \cdot 12 \cdot 1 \cdot 1 + 1,4 \cdot 12 \cdot 0,8 \cdot 1 + 5 \cdot 1 \cdot 1 + 1,4 \cdot 12 \cdot 0,8 \cdot 1 + 5 \cdot 1 \cdot 1 + 1,1 \cdot 18 \cdot 0,6 \cdot 1) = 52,45 \text{ хв}$$

де  $t_{ins,0,ГКЛ1}=1,4h_p$  – базисне значення часу настання граничного стану з вогнестійкості за ознакою втрати теплоізолювальної здатності гіпсокартонних листів, хв. (Е.2.2 [2]);

$t_{ins,0,ОСП}=1,1h_p$  – для деревостружкових плит і деревинно-волоконистих плит, хв. (Е.2.2 [2]);

$t_{ins,0,ноп}=5$  хв. – для незаповнених порожнин;  $k_{pos}$  – коефіцієнти розташування, див. Е.2.3 [2];  $k_j$  – коефіцієнти з'єднання, (Е.2.4 [2]).

$$t_{ins} = 52,45 \text{ хв} > t_{req} = 45 \text{ хв.}$$

Таким чином, теплоізолювальна здатність перекриття будинку протягом вогневого впливу тривалістю 45 хв забезпечена. Відповідно до п. Е.1.2 [2] цілісність (Е) забезпечена, якщо забезпечені вимоги щодо теплоізолювальної здатності, а панелі залишаються закріплені до дерев'яної рами з необігріваної поверхні. За результатами розрахунку клас вогнестійкості перекриття REI 45. Отже, нормативні вимоги до вогнестійкості перекриття забезпечені.

## Розрахунок стіни на вогнестійкість за ознакою втрати несучої здатності (R)

Тривалість вогневого впливу на зовнішню стіну (рис. 5) з однієї зі сторін прийнято  $t=120$  хв. за стандартним температурним режимом. Розглянемо випадок вогневого впливу на внутрішню сторону панелі:

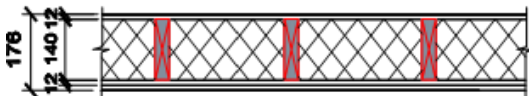


Рис. 5. Поперечний переріз стінової панелі

1. Час початку обвуглювання елементів стінової панелі  
 $t_{ch,1} = 2,8 \cdot h_p - 14 = 2,8 \cdot 1,5 \cdot 12 - 14 = 36,4 \text{ хв.} < t = 120 \text{ хв.}$

2. Час руйнування обшивки стінової панелі  
 $t_{f,1} = 2,8 \cdot h_p - 11 = 2,8 \cdot 1,5 \cdot 12 - 11 = 39,4 \text{ хв.}$

3. Умовна розрахункова глибина обвуглювання:

$$d_{char,n,1} = k_3 \cdot \beta_n \cdot (t - t_f) = 2 \cdot 0,8 \cdot (120 - 39,4) = 129 \text{ мм} > b = 40 \text{ мм}$$

Оскільки умовна розрахункова глибина обвуглювання перевищує менший із розмірів перерізу елемента дерев'яної рами стінової панелі, несуча здатність конструкцій дерев'яної рами стіни будинку протягом вогневого впливу тривалістю 120 хв. не забезпечена.

### Розрахунок стіни на вогнестійкість за ознакою втрати теплоізолювальної здатності (I)

Визначаємо межу вогнестійкості за ознакою втрати теплоізолювальної здатності  $t_{ins}$  зовнішньої стіни:

$$t_{ins} = \sum_i t_{ins,0,i} k_{pos} k_j = (t_{ins,0,ГКЛ1} k_{pos} k_j + t_{ins,0,ГКЛ2} k_{pos} k_j + t_{ins,0,пор} k_{pos} k_j + t_{ins,0,магн} k_{pos} k_j) = (1,4 \cdot 12 \cdot 1 \cdot 1 + 1,4 \cdot 12 \cdot 0,8 \cdot 1 + 5 \cdot 1 \cdot 1 + 48,76 \cdot 0,7 \cdot 1) = 69,4 \text{ хв}$$

де  $t_{ins,0,ГКЛ1} = 1,4h_p$  (Е.2.2 [2]);

$$t_{ins,0,магн} = -0,014x^3 + 0,1575x^2 + 3,8754x + 3,768 = -0,014 \cdot 12^3 + 0,1575 \cdot 12^2 + 3,8754 \cdot 12 + 3,768 = 48,761 \text{ хв.}, \text{ де } x - \text{товщина магнетитної плити, мм [7];}$$

$t_{ins,0,пор} = 5 \text{ хв.};$

$k_{pos}$  – коефіцієнти розташування (Е.2.3 [2]);

$k_j$  – коефіцієнти з'єднання (Е 2.4 [2]).

$$t_{ins} = 69,4 \text{ хв.} < t_{req} = 120 \text{ хв.}$$

Визначаємо межу вогнестійкості за ознакою втрати теплоізолювальної здатності  $t_{ins}$  внутрішньої стіни:

$$t_{ins} = \sum_i t_{ins,0,i} k_{pos} k_j = (t_{ins,0,ГКЛ1} k_{pos} k_j + t_{ins,0,ГКЛ2} k_{pos} k_j + t_{ins,0,пор} k_{pos} k_j + t_{ins,0,ГКЛ3} k_{pos} k_j + t_{ins,0,ГКЛ4} k_{pos} k_j) = (1,4 \cdot 12 \cdot 1 \cdot 1 + 1,4 \cdot 12 \cdot 0,8 \cdot 1 + 5 \cdot 1 \cdot 1 + 1,4 \cdot 12 \cdot 0,8 \cdot 1 + 1,4 \cdot 12 \cdot 0,7 \cdot 1) = 60,44 \approx 60 \text{ хв}$$

де  $t_{ins,0,ГКЛ1} = 1,4h_p$ ;  $t_{ins,0,пор} = 5 \text{ хв.};$   $k_{pos}$  – коефіцієнти розташування (Е.2.3 [2]);

$k_j$  – коефіцієнти з'єднання (Е 2.4 [2]).

$$t_{ins} = 60 \text{ хв.} < t_{req} = 120 \text{ хв.}$$

Таким чином, теплоізолювальна здатність стін будинку протягом вогневого впливу тривалістю 120 хв. не забезпечена. Відповідно до п. Е.1.2 [2] цілісність (Е) забезпечена, якщо забезпечені вимоги щодо теплоізолювальної здатності, а панелі залишаються закріплені до дерев'яної рами з необігріваною поверхні. За результатами розрахунку клас вогнестійкості стіни менший за REI 120. Отже, нормативні вимоги до вогнестійкості стіни не забезпечені.

Для забезпечення нормативних вимог до вогнестійкості необхідно змінити конструктивне рішення стінових панелей. Зміни конструктивного



рішення стінових панелей слід виконати на підставі розрахунків за уточненими методами, що включають розрахункові моделі для визначення:

- зростання та розподілення температури по всіх елементах конструкцій (теплотехнічний розрахунок);
- механічної роботи конструкції або будь-якої її частини (статичний розрахунок).

## ВИСНОВКИ

1. За результатами розрахунку клас вогнестійкості перекриття REI 45. Отже, нормативні вимоги до вогнестійкості перекриття *забезпечені*.
2. За результатами розрахунку клас вогнестійкості стіни менший за REI 120. Отже, нормативні вимоги до вогнестійкості стіни *не забезпечені*.
3. Для забезпечення нормативних вимог до вогнестійкості необхідно змінити конструктивне рішення стінових панелей. Зміни конструктивного рішення стінових панелей слід виконати на підставі розрахунків за уточненими методами, що включають розрахункові моделі для визначення:
  - зростання і розподілення температури по всіх елементах конструкцій (теплотехнічний розрахунок);
  - механічної роботи конструкції або будь-якої її частини (статичний розрахунок).

## ЛІТЕРАТУРА

1. Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд, затверджений постановою КМУ від 20 грудня 2006 р. № 1764
2. Конструкції будинків і споруд. Проектування дерев'яних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1995-1-2:2004, MOD): ДСТУ-Н-П Б В.2.6-157:2010. - [Чинні від 2012-01-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – VII, 65 с. – (Національний стандарт України).
3. Дембовська А. Протипожежна безпека дерев'яних конструкцій згідно з нормами EN 1995-1-2 / А. Дембовська // Промислове будівництво та інженерні споруди, 2009. – №1. – С. 16-20.
4. Рабочий проект жилого дома «Хлебодарское». – Одесса: ТОВ «Модуль Юг», 2013.
5. Пожежна безпека об'єктів будівництва: ДБН В 1.1-7-2002. – [Чинні від 2003-05-01]. – К.: Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2003. – 41 с. – (Будівельні норми України).
6. Будівлі і споруди. Житлові будівлі. Основні положення: ДБН В.2.2-15-2005. - [Чинні від 2006-01-01]. – К.: Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2005. – II, 36 с. – (Будівельні норми України).

7. Василенко О.О. Підвищення вогнестійкості багат шарових огорожувальних конструкцій шляхом застосування магnezитових плит: дис. ... канд. техн. наук: 21.06.02 / Василенко Олександр Олександрович. – Л., 2014 – 155 с.

## REFERENCES

1. Technical regulations of construction products, buildings and structures, approved by the Cabinet of Ukraine at December 20, 2006, № 1764.
2. Design of timber structures. Structural fire design, harmonized with EN 1995-1-2: DSTU-N-P B V 2.6-157:2010. - [Valid From 2012-01-01]. – K.: Minregionbud of Ukraine, 2011. – VII, 65 p. – (National standard of Ukraine).
3. Dembovska A. Fire safety of timber structures according to EN 1995-1-2 / Dembovska A. // Civil engineering and engineering constructions, 2009. – № 1. - P. 16-20.
4. Detail project of residential building «Hlebodarskoe». – Odessa: LLC “Module South”, 2013.
5. Fire safety of building objects: State building codes DBN V 1.1-7-200. - [Valid from 2003-05-01]. – K.: Ukraine State committee of building and architecture, 2003. – 41 p. – (Building codes of Ukraine).
6. Residential building. General rules: State building codes V 2.2-15-2005. - [Valid from 2006-01-01]. – K.: Ukraine State committee of building and architecture, 2005. – II, 36 p. – (Building codes of Ukraine).
7. Vasylenko A. Increasing of fire resistance of multilayer barrier constructions using magnesite slabs: PhD Thesis: 21.06.02 / Vasylenko Alexander. – L., 2014. – 155 p.

Стаття надійшла до редакції 10.08.2015 р.