

**ЗАХИСТ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ПОЖЕЖІ ЗА ДОПОМОГОЮ НІЗДРЮВАТИХ БЕТОНІВ**

**PROTECTION OF BUILDING STRUCTURES DURING FIRE USING CELLULAR CONCRETE**

**Фамуляк Ю.Є., к.т.н., доцент, <https://orcid.org/0000-0003-3044-5513>;**

**Грицевич С.А., студент, (Львівський національний університет природокористування, м. Дубляни), <https://orcid.org/0009-0000-5437-2596>;**

**Фамуляк В.Ю., магістр, <https://orcid.org/0009-0005-5347-9427>.**

**Famulyak Yu., candidate of technical sciences, associate professor, <https://orcid.org/0000-0003-3044-5513>;**

**Hrytsevych S., student (Lviv National Environmental University, Dublyany), <https://orcid.org/0009-0000-5437-2596>;**

**Famuliak V., magister, <https://orcid.org/0009-0005-5347-9427>.**

**Ніздрюватий бетон – це штучний будівельний матеріал, що має ряд переваг, одна з яких вогнестійкість та енергоощадність. Згідно з нормативними документами ніздрюваті бетони щільністю 200-400 кг/м<sup>3</sup> можуть використовуватися для утеплення будівельних конструкцій та теплової ізоляції будівельних конструкцій.**

**Cellular concrete is made from non-combustible materials such as sand, water, cement, and a foaming agent. The foaming agent ensures a uniform structure of pores throughout the volume while the concrete is hardened.**

**Comparing the material with a porous structure with other building materials there are several advantages such as low volume weight, water resistance, frost resistance, and fire resistance.**

**Due to these advantages, cellular concrete has been increasingly used in construction as a material for fire-resistant partitions of class 1 - EI-60 and higher.**

**The fire-resistant properties are confirmed by numerous tests conducted both in Ukraine and abroad. Having analysed the results of experimental studies carried out by many scientists, cellular concrete construction is resistant to direct flame exposure within 1 to 7 hours depending on the thickness. Cellular concrete with a thickness of 75 mm and a material density of D400 is capable of providing fire resistance at the rate of EI120, which means 2 hours of safe containment of flame and combustion product.**

**It is necessary to pay more attention to the technology of fire protection of cellular concretes for example lattice structures (trusses), beams.**

**Ключові слова:** ніздрюватий бетон, пінобетон, вогнезахист, будівельні конструкції.

cellular concrete, foam concrete, fire protection, building structures.

**Вступ.** Будівля, це об'ємна будівельна система, що має надземну і (або) підземну частину яка включає в себе приміщення, мережі інженерно-технічного забезпечення і призначена для проживання або діяльності людей, розміщення виробництва, зберігання продукції або утримання тварин.

Кожна будівля складається з конструкцій які можна поділити на:

- несучі конструкції, що сприймають постійні і тимчасові навантаження, у тому числі навантаження від інших частин будинків;
- самонесучі конструкції, що сприймають навантаження тільки від власної ваги;
- огорожуючі конструкції, що виконують функцію захисту будівлі від зовнішніх факторів або поділу внутрішнього об'єму будівлі (приміщення).

Розрізняють чотири основні групи матеріалів з яких виконують конструкції будівель: дерев'яні, металеві, залізобетонні, кам'яні.

В процесі життєвого циклу конструкції будівлі сприймають різні навантаження силового і несилового характеру, постійні і тимчасові. Крім цих навантажень конструкції будівлі можуть піддаватися навантаженням, що викликані техногенними процесами (землетруси, вибухи, пожежа).

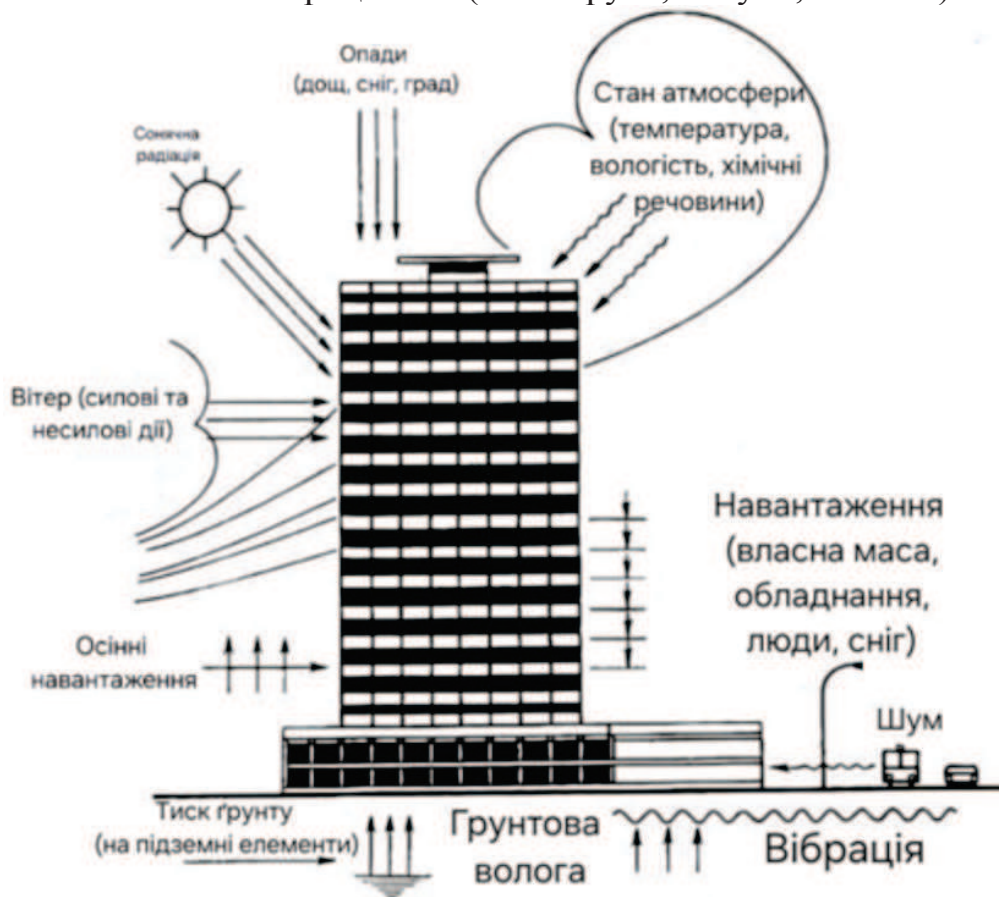


Рис. 1. Схема зусиль що діють на будівлю [1]

**Аналіз останніх досліджень.** Професор Демчина Б.Г. в науковій праці підтвердив можливість використання теплоізоляційного пінобетону, як вогнезахисного матеріалу та обґрунтував необхідність проведення експериментальних досліджень з метою встановлення товщини вогнезахисного шару залежно від часу вогнезахисту [2].

Науковцями НУ «Львівська Політехніка» під керівництвом професора Демчини Б.Г виконані дослідження конструктивно-теплоізоляційного пінобетону на вогнестійкість за ознакою втрати теплоізолюючої здатності та можливості його використання як вогнезахисного матеріалу [3].

Авторами виконана спроба використати пінобетон як зовнішній захист металевих конструкцій від дії високих температур при пожежі.

За результатами дослідження встановлено, що пінобетон доцільно використовувати як вогнезахисний матеріал, плити з пінобетону марки D900 завтовшки 45 мм можуть забезпечити межу вогнестійкості металевих конструкційне менше ніж R60, а перегородки з такого ж пінобетону завтовшки 135мм забезпечують межу вогнестійкості RE60 [3].

**Постановка мети і задач досліджень.** Ніздрюватий бетон (пінобетон) виготовляється з негорючих компонентів, серед яких пісок, вода, цемент і піноутворювач. При тужавінні бетону піноутворювач забезпечує рівномірну структуру пор по всьому об'єму.

Матеріал з пористою структурою має ряд переваг порівнюючи його з іншими будівельними матеріалами, мала об'ємна вага, водостійкість, морозостійкість, вогнестійкість.

Завдяки даним перевагам пінобетон почали більше застосовувати в будівництві як матеріал для зведення вогнетривких перегородок 1 класу – EI60 і вище.

Вогнестійкі властивості підтверджені багатьма натурними випробуваннями як в Україні так і за кордоном. За аналізом результатів експериментальних досліджень, що проводилися багатьма науковцями, конструкція з пінобетону стійка до прямої дії полум'я від 1 до 7 годин, залежно від товщини. Пінобетон товщиною 75 мм із щільністю матеріалу D400 здатний забезпечити межу вогнестійкості на рівні EI120, тобто 2 години безпечного стримування полум'я і продуктів горіння.

Метою даного аналізу літератури є вивчення технології влаштування вогнезахисту будівельних конструкцій з ніздрюватих бетонів.

**Методика досліджень та їх результати.** Ніздрюватий бетон є різновидом класичного бетону, тобто суміші цементу, піску і води. Відмінність полягає в тому, що ніздрюватий бетон має пористу структуру. За технологією приготування бетону виділяють 2 основних типи ніздрюватого бетону:

- газобетон (ніздрюватий бетон утворений за допомогою газоутворюючих речовин);
- пінобетон (ніздрюватий бетон утворений за допомогою піноутворюючих речовин).

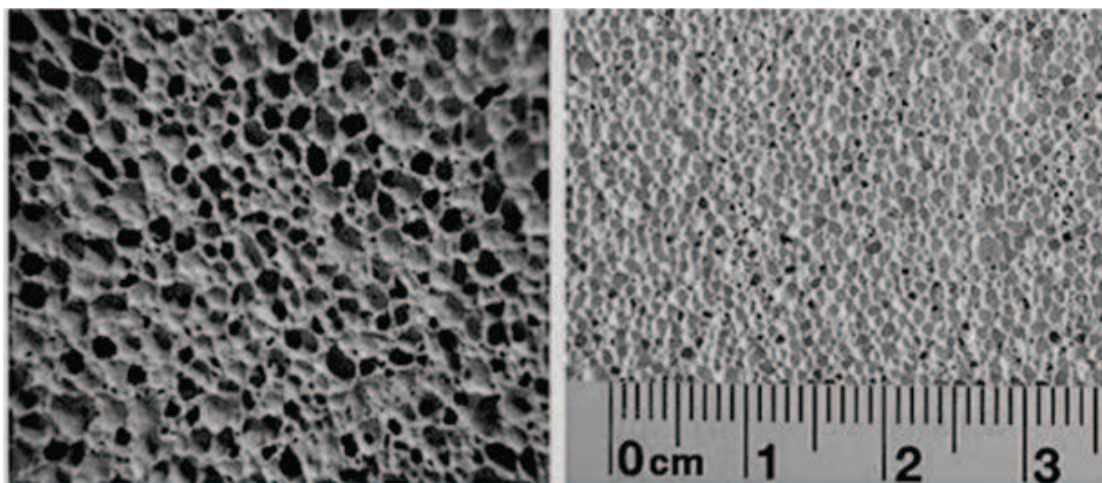


Рис. 2. Структура пінобетону і газобетону [4]

За способом твердіння ніздрюваті бетони класифікуються:

- автоклавні – обробляється при високих температурах у спеціальному устаткуванні (автоклаві);
- неавтоклавні – тужавіють в природньому середовищі.

Основні властивості матеріалу обумовлені технологією виготовлення, характером пористості, питомою вагою. Розміри пор і товщина міжпорових перегородок залежать від процентного співвідношення компонентів. Чим більші пори, тим нижча теплопровідність і нижча щільність.

Найнижчу щільність має теплоізоляційний ніздрюватий бетон з великими порами –  $200-500 \text{ кг/м}^3$ . В конструкційно-теплоізоляційного бетону щільність  $500-900 \text{ кг/м}^3$ , а в конструкційного – найменші пори і тому щільність даного бетону  $1000-1200 \text{ кг/м}^3$  [5].

Для зведення несучих стін застосовують конструкційний ніздрюватий бетон з високою щільністю і несучою здатністю, що дозволяє зводити несучі огорожуючі конструкції будинків висотою до 3 поверхів. Для самонесучих зовнішніх огорожуючих конструкцій використовують конструкційно-теплоізоляційний бетон середньої щільності.

Теплоізоляційний бетон не підходить для використання при зведенні огорожуючих конструкцій, оскільки не здатний витримувати великі навантаження. Тому легкий ніздрюватий бетон використовують для утеплення покриттів завдяки його низькій теплопровідності і як захисний матеріал для вогнестійкості конструкцій.

Ступінь вогнестійкості будинку встановлюють залежно від його призначення, категорії за вибухопожежною та пожежною небезпекою, умовної висоти (поверховості), площі поверху в межах протипожежного відсіку. В залежності від ступеня вогнестійкості будинку визначають класи вогнестійкості будівельних конструкцій (R, E, I, хв) та максимальні значення меж поширення вогню за ними (M) [6].

Для контурного вогнезахисту сталевих колон застосовують бетонні розчини або бетонні вироби (облицювання, плити, блоки) (рис. 3, 4) [7].



Рис. 3. Схема влаштування контурного вогнезахисту стальних колон [7]

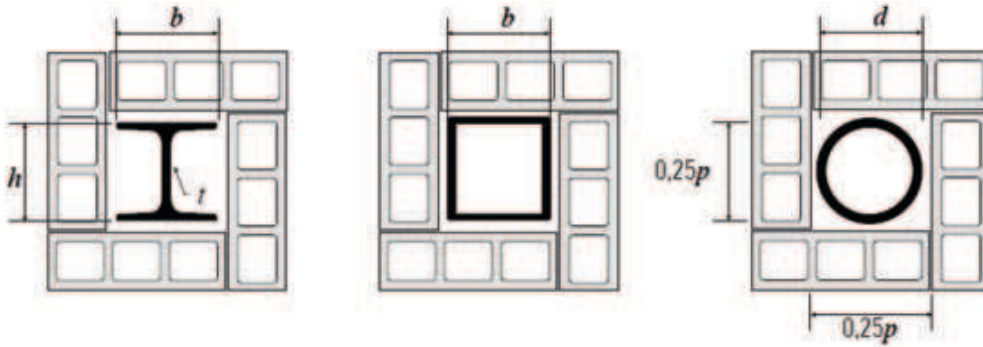


Рис. 4. Схема влаштування вогнезахисту стальних колон облицюванням блоками [7]

При цьому слід приділяти особливу увагу адгезії ніздрюватого бетону до сталевій поверхні. Для цього на елементи наварюють спеціальні кріплення і анкери або влаштовують армуючі сітки (при замонолічуванні). Такі елементи можуть також забезпечувати спільну роботу з ніздрюватим бетоном.

Більш складною задачею є влаштування вогнезахисту горизонтальних конструктивних елементів ніздрюватим бетоном. Так як ніздрюватий бетон є крихким матеріалом, тому при незначних деформаціях конструкції (прогині) захисний шар буде відшаровуватися, викришуватися. Захист горизонтальних елементів з дрібно штучних елементів технологічно незручно виконувати. Наступною задачею яку необхідно вирішити це усадка ніздрюватого бетону, а при використанні дрібно штучних елементів ще й герметизація швів.

Ще більшою технологічною проблемою є влаштування вогнезахисту з ніздрюватих бетонів решітчастих конструктивних елементів (металеві ферми).

Аналізуючи існуючі технології захисту для таких конструктивних елементів використовують різні матеріали, що наносять на конструктивні елементи шляхом напилення. Застосування таких матеріалів є дорогим, а інколи шар покриття не забезпечує необхідний (проектний) клас вогнестійкості.

Розрахунок межі вогнестійкості сталевих конструкцій необхідно здійснювати до чинних вимог нормативної документації із врахуванням теплофізичних характеристик вогнезахисного матеріалу. Методика розрахунку ґрунтується на визначенні приросту температури  $\Delta\Theta_{a,t}$  за період часу  $\Delta t$ , що необхідний для рівномірного розподілу температури в поперечному перерізі захищеної сталевій конструкції [7, 8].

$$\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p \cdot A_p}{d_p \cdot c_a \cdot \rho_a \left(1 + \frac{\phi}{3}\right)} \Delta t - \left(e^{\frac{\phi}{10}} - 1\right) \Delta \theta_{g,t} \quad (1)$$

при  $\Delta \Theta_{a,t} \geq 0$ , якщо  $\Delta \Theta_{g,t} > 0$ . [7, 8]

$$\phi = \frac{c_p \cdot \rho_p \cdot d_p \cdot A_p}{c_a \cdot \rho_a \cdot V} \quad (2)$$

$\frac{A_p}{V}$  – коефіцієнт перерізу сталевих конструкцій, покритих

вогнезахисними матеріалами ( $\text{м}^{-1}$ );

$A_m$  – площа поверхні вогнезахисного матеріалу на одиницю довжини ( $\text{м}^2$ );

$V$  – об'єм конструкцій на одиницю довжини ( $\text{м}^3$ );

$c_a$  – питома теплоємність сталі (Дж/кгК);

$c_p$  – питома теплоємність вогнезахисного матеріалу, що не залежить від температури (Дж/кгК);

$d_p$  – товщина вогнезахисного матеріалу (м);

$t$  – проміжок часу, при цьому  $\Delta t \leq 30$  (с);

$\Theta_{a,t}$  – температура сталі в момент часу  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ );

$\Theta_{g,t}$  – температура середовища (номінальної пожежі) у момент часу  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ );

$\Delta \Theta_{g,t}$  – приріст температури середовища (номінальної пожежі) у момент часу  $\Delta t$  ( $^{\circ}\text{C}$ );

$\rho_a$  – щільність сталі ( $\text{кг}/\text{м}^3$ );

$\lambda_p$  – коефіцієнт теплопровідності вогнезахисної системи ( $\text{Вт}/\text{м}^{\circ}\text{C}$ );

$\rho_p$  – щільність вогнезахисного матеріалу ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ). [7, 8]

Основною умовою використання вогнезахисних матеріалів є вимога, що вогнезахисні матеріали не повинні втрачати свою цілісність (не руйнуватися), зберігати зчеплення з матеріалом на всьому протязі часу дії вогню. [7, 8]

В подальшому аналізі та вивченні даної теми необхідно приділити більшу увагу технології влаштування вогнезахисту решітчастих конструктивних елементів ніздрюватим бетоном та можливістю нанесення ніздрюватого бетону (пінобетону), наприклад, технологією торкретування.

**Висновки.** На основі проведеного аналізу наукової та технічної літератури щодо вогнезахисту будівельних конструкцій ніздрюватим бетоном можна констатувати:

1. Ніздрюватий бетон є достатньо ефективним матеріалом для вогнезахисту будівельних конструкцій.

2. Застосування ніздрюватого бетону в якості вогнезахисної оболонки конструкцій має певні обмеження.

3. На сьогодні відсутня технологія влаштування вогнезахисту решітчастих конструктивних елементів за допомогою ніздрюватого бетону.

1. Зовнішні впливи, що сприймають будинки. *StudFiles*. URL: <https://studfile.net/preview/9426995/page:3/> (дата звернення: 18.04.2024).

Zovnishni vplyvy, shcho spryimaiut budynky. *StudFiles*. URL: <https://studfile.net/preview/9426995/page:3/> (data zvernennia: 18.04.2024).

2. Димчина Б., Половко А., Борис О. Застосування пінобетону як вогнезахисного матеріалу. *Пожежна безпека*. 2019. № 16. С. 25–28.

Dymchyna B., Polovko A., Borys O. Zastosuvannia pinobetonu yak vohnezakhysnoho materialu. *Pozhezhna bezpeka*. 2019. № 16. S. 25–28.

3. Демчина Б., Половко А., Веселівський Р. Дослідження конструктивно-теплоізоляційного пінобетону, як вогнезахисного матеріалу. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: теорія і практика будівництва*. Львів. 2010. № 662. С. 150–155.

Demchyna B., Polovko A., Veselivskiy R. Doslidzhennia konstruktyvno-teploizoliatsiinoho pinobetonu, yak vohnezakhysnoho materialu. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika»: teoriia i praktyka budivnytstva*. Lviv. 2010. № 662. S. 150–155.

4. Що таке пінобетон (піноблок). *Все про газобетон/пінобетон*. URL: <https://trivita.ua/ua/blog/sho-take-pinobeton-pinoblok-a-2> (дата звернення: 21.03.2024).

Shcho take pinobeton (pinoblok). *Vse pro hazobeton/pinobeton*. URL: <https://trivita.ua/ua/blog/sho-take-pinobeton-pinoblok-a-2> (data zvernennia: 21.03.2024).

5. ДСТУ Б В.2.7-45:2010. Будівельні матеріали. бетони ніздрюваті. загальні технічні умови. На заміну ДСТУ Б В.2.7-45-96 ; чинний від 2017-01-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 41 с.

DSTU B V.2.7-45:2010. Budivelni materialy. betony nizdriuvati. zahalni tekhnichni umovy. Na zaminu DSTU B V.2.7-45-96 ; chynnyi vid 2017-01-01. Vyd. ofits. Kyiv : Minrehionbud Ukrainy, 2010. 41 s.

6. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. На заміну ДБН В.1.1-7-2002 ; чинний від 2017-06-01. Вид. офіц. Київ : Держ. підприємство "Укрархбудінформ", 2017. 41 с.

DBN V.1.1-7:2016. Pozhezhna bezpeka obiektiv budivnytstva. Zahalni vymohy. Na zaminu DBN V.1.1-7-2002 ; chynnyi vid 2017-06-01. Vyd. ofits. Kyiv : Derzh. pidpriemstvo "Ukrarkhbudininform", 2017. 41 s.

7. Вахітова Л., Калафат К. Конструктивний вогнезахист сталених каркасів. Технічні рекомендації для проектування : монографія. Київ : Укр. центр стал. буд-ва, 2015. 65 с.

Vakhitova L., Kalafat K. Konstruktyvnyi vohnezakhyst stalnykh karkasiv. Tekhnichni rekomendatsii dlia proektuvannia : monohrafiia. Kyiv : Ukr. tsentr stal. bud-va, 2015. 65 s.

8. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість. Чинний від 2013-12-27. Вид. офіц. Київ : Держ. підприємство "Укрархбудінформ", 2014. 98 с.

DSTU-N B EN 1993-1-2:2010. Yevrokod 3. Proektuvannia stalevykh konstruktsii. Chastyna 1-2. Zahalni polozhennia. Rozrakhunok konstruktsii na vohnestiikist. Chynnyi vid 2013-12-27. Vyd. ofits. Kyiv : Derzh. pidpriemstvo "Ukrarkhbudininform", 2014. 98 s.