

Я. І. Бірук

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

ЗАХОДИ НОРМАЛІЗАЦІЇ ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ СЕРЕДОВИЩА БУДІВЕЛЬ І СПОРУД У ПРОЦЕСАХ ЇХ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТА ВІДНОВЛЕННЯ

Анотація. Будівлі і споруди промислового, громадського та житлового призначення з великими термінами експлуатації не відповідають сучасним вимогам щодо енергоефективності, рівнів фізичних факторів техногенного походження. Тому у процесах їх реконструкції та відновлення необхідно забезпечити нормалізацію цих параметрів у відповідності з вимогами чинних нормативних документів. Досліджено витоки теплової енергії у спорудах старої забудови. Запропоновано застосування композиційних матеріалів на основі базальту для підвищення термоізоляції. Такий матеріал має малі масогабаритні параметри, простий у застосуванні і не спотворює зовнішній вигляд будівлі, що важливо для споруд, які мають історичну цінність. Отримано кількісні дані щодо звукопоглинальних властивостей композиту. Встановлено, що на середніх та високих частотах він має високі коефіцієнти звукопоглинання. Надано зручний у користуванні математичний апарат для прогнозування термічного опору термоізолюючих матеріалів та коефіцієнтів звукопоглинання. Це дозволяє мінімізувати кількість параметрів, які необхідно визначити у лабораторних умовах. Усі розрахунки виконуються у дійсній формі, що спрощує процеси обчислень та надає можливість автоматизувати процес проєктування матеріалів і захисних конструкцій. Визначено порядок забезпечення електромагнітної безпеки у будівлях в процесі реконструкції. Оцінюються коефіцієнти екранування електромагнітних випромінювань стандартними будівельними і облицювальними матеріалами та визначаються додаткові заходи безпеки. Додавання у облицювальні матеріали дрібнодисперсного магнетиту та карбонільного заліза підвищує їх екранувальні властивості. Досліджено ступені деіонізації повітря у стандартних системах примусової вентиляції. Показано значну деіонізацію повітря, яке подається у приміщення. Для нормалізації концентрації іонів обох полярностей запропоновано застосування світлодіодних систем ультрафіолетового випромінювання та отримані кількісні дані. Виміряні концентрації радону, який накопичується у підвальних та напівпідвальних приміщеннях будівель старої забудови. Показано, що прийняте зниження концентрацій радону можна досягти застосуванням гідроізоляції із сучасних цементобетонів.

Ключові слова: реконструкція, енергоефективність, електромагнітні випромінювання, звукоізоляція.

Вступ

Значна частина будівель і споруд як в Україні, так і в усьому світі потребує реконструкції через великі терміни експлуатації та невідповідність сучасним будівельним та екологічним нормам. Особливо це актуально в Україні через ушкодження великої кількості будівель внаслідок бойових дій та терористичних атак. При цьому частина таких будівель є об'єктами історичної спадщини й потребують відновлення без змін зовнішнього вигляду та внутрішніх інтер'єрів.

Усі будівлі й споруди старої забудови споруджувалися за іншими будівельними нормами або взагалі за їх відсутності. У ті часи не ставилося вимог до мікрокліматичних параметрів середовища, рівні шуму були незначні, а електромагнітні чинники техногенного походження відсутні. Через відсутність даних щодо рівнів іонізуючих випромінювань, зокрема наявності радону, його проникнення у приміщення не враховувалося. В той же час існуючі системи вентиляції та недостатньо ефективна гідроізоляція сприяє підвищенню радіоактивного фону в підвальних, напівпідвальних приміщеннях, нижніх поверхах будівель. При цьому порушується мікрокліматичний режим, змінюється концентрація аероіонів тощо. Таким чином, існує проблема забезпечення сучасних нормативних вимог щодо кількісних значень мікроклімату, шуму, неіонізуючих та іонізуючих випромінювань у будівлях і спорудах з великими

термінами експлуатації. Вирішити ці задачі можливо впровадженням інноваційних засобів нормалізації фізичних чинників середовища у процесах реконструкції та відновлення будівель і споруд.

Стан питання

Рівні фізичних чинників середовища будівель – температура й відносна вологість повітря, рівні шуму й електромагнітних полів, концентрації аероіонів та радіоактивних ізотопів регламентуються низкою міжнародних та національних стандартів та санітарних норм. Враховуючи, що значна частина будівель віднесена ЮНЕСКО до об'єктів всесвітньої спадщини й цей процес продовжується, а також перспективи розвитку України, доцільно керуватися міжнародними нормативними актами, принаймні, за їх більш жорстких вимог. Щодо значень електромагнітних полів то це Європейська директива [1], шуму – [2]. Температурний режим, концентрації аероіонів та радіоактивний фон найбільш аргументовано регламентується у санітарних нормах Німеччини [3]. Цей норматив найбільш досконалий й більшістю фахівців у Європі за замовчуванням вважається міжнародним.

На сьогодні більшість досліджень щодо будівель з великими термінами експлуатації, особливо історичних, стосуються мікрокліматичних умов [4, 5]. Значною мірою це обумовлене тим, що мікрокліматичні параметри можна поліпшити за рахунок модернізації системи вентиляції, зокрема знизити відносну вологість повітря й підвищити температуру поданням

у приміщення теплого повітря. Але це не вирішує задач, пов'язаних з деіонізацією повітря, а частково – потраплянням у повітря радону. Крім того, існує обмеження на спрямований рух повітря за великих кратностей повітрообміну. Проблемою є забезпечення якості повітря у приміщеннях, де зберігаються матеріали та історичні цінності [6]. Існують певні розбіжності щодо параметрів середовища для зберігання культурних цінностей та перебування персоналу. Тому доцільно розглянути можливість узгодження відповідних вимог за рахунок інноваційних рішень. У роботах [7, 8] фактично констатується факт наявності радонової проблеми і її зв'язок з геологічними факторами. Задача полягає у тому, щоб запобігти розповсюдженню радону у повітрі будівель і споруд. Найбільш складним завданням є підвищення звукоізоляції будівель, не розрахованих на високі рівні зовнішнього шуму. У дослідженні [9] наведено можливість зниження широкосмугового шуму за рахунок комбінації резонансних панелей та шумопоглинальних матеріалів. При цьому показана можливість одночасного зниження рівнів електромагнітних випромінювань. Але така конструкція досить громіздка. Її застосування доцільне тільки для первинного будівництва. Робота [10] розглядає можливість оптимізації параметрів звукопоглинального матеріалу. Цей підхід є справедливим й може бути застосований для мінімізації товщини захисного шару, що особливо актуально для будівель історичної спадщини. В останні роки проведено низку досліджень й практичних розробок щодо отримання композиційних матеріалів, які екранують електромагнітні поля і випромінювання [11, 12]. Основним недоліком окремих матеріалів є висока ефективність у певному частотному діапазоні. До того ж композити на полімерній основі мають схильність до деградації у процесі експлуатації у під впливом фізико-хімічних чинників. Але можливість отримання захисного матеріалу малої товщини й технологічності у застосуванні є перспективною. Доцільно дослідити застосування будівельних і облицювальних матеріалів з функціями захисту від електромагнітних впливів. Відомо, що будівлі з великими термінами експлуатації мають низьку енергоефективність [13]. Теплоізолюючі матеріали масового виробництва мають велику товщину й складно наносяться на поверхні великої кривизни. Тому необхідно визначити можливість підвищення теплоізоляційних властивостей стін будівель з великими термінами експлуатації без значних змін конструкцій та зовнішнього вигляду.

Метою дослідження є розроблення комплексу заходів з нормалізації фізичних чинників середовища будівель з великими термінами експлуатації у процесі їх реконструкції та відновлення.

Викладення основного матеріалу

Найбільш ефективними є заходи, розроблені на основі моніторингу фактичних значень того чи іншого фізичного чинника. Такий моніторинг можливий на стадії проектування реконструкції будівлі. Він надає орієнтовні необхідні ефективності захисту від техногенних чинників та мінімізувати витрати на впровадження відповідних заходів.

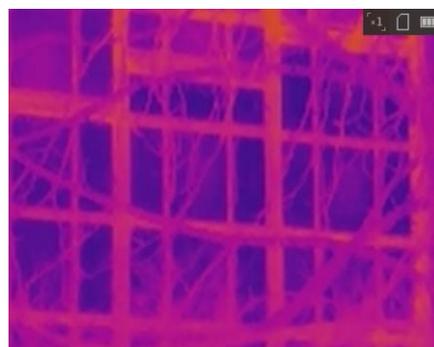
Для будівель, які потребують відновлення або певної реконструкції здійснення такого моніторингу неможливе. Тому фактичний матеріал доцільно отримати за рахунок обстеження аналогічних або подібних будівель. Історичні будівлі споруджувалися за індивідуальними проектами, тому необхідні дані можливо отримати тільки опосередкованим шляхом – з'ясуванням тепловідносності використаних будівельних матеріалів, вимірюванням радіоактивного фону у підвальних приміщеннях, з'ясування ефективності вентиляції за перерізами вентиляційних каналів тощо.

Планування заходів забезпечення нормативних параметрів мікроклімату доцільно здійснювати на комплексній основі разом із заходами з нормалізації концентрації аероіонів у повітрі приміщень. Оптимізувати їх співвідношення архітектурно будівельними рішеннями не завжди можливо, тому необхідно мати експериментальні дані щодо штучного підтримання необхідних факторів з використанням відповідного обладнання.

Найбільш вагомим, і таким що найбільш відчувається людиною фізичним фактором є температурний режим приміщень. На сьогодні підтримання нормативних температур сучасними системами опалення не є проблемою. Але з огляду на економічний чинник у процесі реконструкції та відновлення необхідно забезпечити високу енергоефективність будівель. Це у першу чергу стосується будівель, споруджених за застарілими технологіями та виробничих будівель і споруд з великими площами зовнішніх стін. Дослідження показали, що навіть за великих товщин стін, вони не мають достатньої теплоізоляції (рис. 1).



а



б

Рис. 1. Стіни будівлі, яка підлягає додатковій теплоізоляції (а); тепловізійне зображення аналогічної будівлі, у якій працює опалення (б)

На рис. 1 б тепловізійна зйомка свідчить, що стіни будівлі сильно прогріваються і утримують тепло гірше, ніж новітні віконні системи. При цьому температура всередині будівлі не перевищувала +16°C, а назовні не була нижчою за -5°C. Аналогічна ситуація спостерігається у застарілих промислових будівлях, виготовлених із залізобетонних конструкцій. Теоретичні міркування свідчать, що скловолокно і базальтне волокно добре блокує теплове випромінювання навіть за променевого теплообміну, що не тільки може зберегти тепло всередині будівлі, а й стабілізувати тепловий режим у теплу пору року. Стандартні теплоізоляційні плити мають товщини 50–100 мм, що для відновлювальних робіт не завжди прийнятно.

Було випробувано теплоізоляційне покриття двошарової структури на основі базальтового волокна поверхневою густиною 0,2 кг/м², скріплених полімерним в'язучим. Загальна товщина складала 2,5 мм (табл. 1).

Таким чином, враховуючи малу товщину термоізолюючого матеріалу, результат можна вважати задовільним. В умовах експерименту усі параметри – внутрішня температура будівлі, температура зовнішнього повітря, змінювалися у межах 1–2°C. Реальні температури визначалися за допомогою тепловізора OTS-XLT з похибкою вимірювання 2 К.

Таблиця 2 – Коефіцієнти звукоізоляції композиційного матеріалу на основі базальтових волокон

f , Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000
α	0,05	0,08	0,18	0,35	0,60	0,73	0,80

Як термоізоляцію, так й зниження рівнів шуму доцільно попередньо прогнозувати розрахунковими методами у залежності від умов використання захисних матеріалів і конструкцій.

Для проектування термоізоляції будівлі необхідно попередньо оцінити її необхідну і достатню ефективність. Це можливо зробити розрахунковими методами, виходячи з фундаментальних співвідношень теплопередачі та теплофізичних характеристик будівельних, облицювальних та термоізолюючих матеріалів.

Оцінимо температуру зовнішньої поверхні стіни будівлі і тепловтрати через стіну, яка покрита шаром теплоізолюючого матеріалу. Впливом сонячного випромінювання будемо нехтувати.

Щільність теплового потоку крізь стіну може бути розрахована відповідно до закону охолодження Ньютона:

$$q = U(t_i - t_e), \quad (1)$$

де t_i і t_e – температури повітря зовні і всередині приміщення, U – теплопроникність стіни – величина, обернена до її повного теплового опору R_t :

$$U = \frac{1}{R_t}. \quad (2)$$

Для оцінки R_t необхідно врахувати, що теплообмін між внутрішнім і зовнішнім повітрям відбувається через випромінювання, конвекцію і тепло-

Таблиця 1 – Залежність температури зовнішнього боку теплоізолюючого покриття від часу теплопереносу*

T , год	t_e , °C	t_s , °C
6	14	10
12	11	4
24	8	1

* T – час теплопереносу, t_e – температура зовнішньої поверхні стіни, вкритої термозахисним матеріалом, t_s – температура зовнішньої поверхні термоізолюючого матеріалу

Як зазначалося, заходи з нормалізації рівнів фізичних факторів доцільно здійснювати на комплексній основі, у тому числі, використовуючи один матеріал для одночасного зниження впливу двох фізичних факторів.

Було проведено випробування шумопоглинаючих властивостей базальтової композиції у октавних смугах частот (табл. 2)/

Як видно з табл. 2, коефіцієнти звукоізоляції у низькочастотній області звукового спектра незначні. Це очікувано через відомий факт неефективності пористих матеріалів для поглинання низькочастотних коливань. Але в області середніх та високих частот результат задовільний.

провідність. Теплота переноситься від внутрішньої поверхні стіни до зовнішньої поверхні теплоізолюючого шару – завдяки теплопровідності, від зовнішньої поверхні теплоізолюючого шару в зовнішнє повітря – завдяки випромінюванню і конвекції. В результаті повний тепловий опір складається з теплових опорів внутрішньої і зовнішньої поверхонь стіни $-R_{si}$ і R_{se} відповідно і теплових опорів матеріалів стіни – R_1 і теплоізолятора R_2 :

$$R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + R_{se}, \quad (3)$$

причому,

$$\frac{1}{R_{si}} = \frac{1}{R_{ci}} + \frac{1}{R_{ri}}, \quad \frac{1}{R_{se}} = \frac{1}{R_{ce}} + \frac{1}{R_{re}}, \quad (4)$$

де R_{ci} і R_{ce} – теплові опори, пов'язані з конвекцією, R_{ri} і R_{re} – теплові опори, пов'язані з випромінюванням. Враховано, що за електричною аналогією в електричній схемі заміщення опори, обумовлені конвекцією і випромінюванням, з'єднуються паралельно. Величини R_{si} і R_{se} повинні залежати від випромінювальної здатності поверхонь, виду конвекції, швидкості і напрямку вітру. Для їх оцінки можна використати типові числові значення для більшості прикладних задач, які наведені в ISO 6946:2017.

Величини опорів R_1 і R_2 , відповідно до закону Фур'є для теплопровідності, можуть бути розраховані за формулами:

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1}, \quad R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2}, \quad (5)$$

де d_1 і d_2 – товщини стіни і теплоізолятора, λ_1 і λ_2 – теплопровідності відповідних матеріалів.

Температура зовнішньої поверхні теплоізолюючого шару t_{se} відрізняється від температури зовнішнього повітря. Щільність теплового потоку в шарі повітря зовні, яка в даному наближенні дорівнює тепловтратам стіни, може бути визначена за формулою аналогічною (1):

$$q = \frac{t_{se} - t_e}{R_{se}}, \quad (6)$$

$$\text{звідки} \quad t_{se} = t_e + R_{se}q. \quad (7)$$

Після підстановки в (7) значення q із (1), з урахуванням (2), для температури зовнішньої поверхні теплоізолюваної стіни будівлі отримуємо:

$$t_{se} = t_e + R_{se} \frac{1}{R_t} (t_i - t_e). \quad (8)$$

Таким чином, оцінка тепловтрат може бути проведена на основі (6) за вимірним значенням температури зовнішньої поверхні стіни і відомим значенням температури атмосферного чи зовнішнього повітря. Оцінка температури зовнішньої поверхні стіни може бути виконана з використанням (8) за відомими значеннями зовнішньої і внутрішньої температур, товщин і теплопровідностей матеріалів стіни і теплоізолятора. Для величин теплових опорів зовнішньої і внутрішньої поверхонь стіни, які необхідні для розрахунків, можуть бути використані типові значення відповідно до ISO 6946:2017. Наприклад, у випадку горизонтального теплового потоку $R_{se} = 0,04 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$, $R_{si} = 0,13 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$.

Для прогнозування ефективності звукоізоляції можливо скористатися моделлю Delany-Bazley, яку було вдосконалено з метою спрощення практичного використання. Усі розрахунки здійснюються у дійсній формі, що надає можливість автоматизувати процес обчислень. Коефіцієнт звукопоглинання α визначається зі співвідношення:

$$\alpha = \frac{4\rho_0 c_0 (\cosh(\varepsilon) - \cos(\theta)) (\beta \sinh(\varepsilon) - \gamma \sin(\theta))}{\left(\beta \sin(\theta) + \gamma \sinh(\varepsilon) \right)^2 + \left(\rho_0 c_0 (\cosh(\varepsilon) - \cos(\theta)) \right)^2}, \quad (9)$$

$$\text{де} \quad \beta = \rho_0 c_0 \left(1 + 0,0571 \left(\frac{\rho_0 f}{\sigma} \right)^{-0,754} \right), \quad (10)$$

$$\gamma = 0,087 \rho_0 c_0 \left(\frac{\rho_0 f}{\sigma} \right)^{-0,732}, \quad (11)$$

$$\varepsilon = 0,756 \frac{\pi f d}{c_0} \left(\frac{\rho_0 f}{\sigma} \right)^{-0,595}, \quad (12)$$

$$\theta = \frac{4\pi f d}{c_0} \left(1 + 0,0978 \left(\frac{\rho_0 f}{\sigma} \right)^{-0,700} \right), \quad (13)$$

де d – товщина пористого шару, ρ_0 – густина повітря, c_0 – швидкість звуку у повітрі, f – частота звуку, σ – опір продуванню.

Таким чином, єдиним параметром звукоізолюючого матеріалу, який необхідно визначати у лабораторних умовах, є опір продуванню, що здійснюється у стандартній імпедансній трубі.

Для екранування електромагнітних полів широкого частотного діапазону доцільно максимально використовувати захисні функції будівельних та облицювальних матеріалів. Засади проектування та визначення захисних властивостей таких матеріалів викладено у попередній роботі [14].

Головною умовою забезпечення раціональних коефіцієнтів екранування як низькочастотних магнітних полів, так і високочастотних електромагнітних випромінювань. Маючи інформацію щодо амплітудно-частотних характеристик зовнішніх електромагнітних полів за кроком розташування арматури або армуючої сітки можна розрахувати коефіцієнти екранування полів. У разі необхідності підвищення екранування у облицювальні матеріали додають магнетит, карбонільне залізо у залежності від необхідної ефективності екранування. При цьому слід враховувати необхідність достатніх рівнів сигналів базових станцій для забезпечення надійного мобільного зв'язку.

У процесах реконструкції та відновлення промислових та житлових будівель слід враховувати зміни концентрації іонів в каналах вентиляції. У першу чергу це стосується промислових та громадських будівель, де монтуються системи примусової вентиляції з каналами оцинкованого заліза. Вимірювання свідчать, що у процесі переносу повітря такими каналами знижується концентрація іонів обох полярностей (табл. 3).

Таблиця 3 – Зміни концентрації іонів

Місце вимірювання	Концентрації іонів, см ⁻³	
	n ⁻	n ⁺
Вхід у повітропровід	650–740	850–920
Вихід у приміщення	220–250	380–410

Довжини повітропроводів склали 14–18 м, тому погонну деіонізацію повітря можна вважати суттєвою. Визначити типову погонну деіонізацію повітря для металевих коробів складно через те, що вона залежить від конфігурації повітропроводу та на шарування пилу на стінках. Таке явище слід враховувати щодо вентиляційних каналів у будівлях з великими термінами експлуатації й передбачити можливість їх очищення.

У разі потреби доцільно застосовувати сучасні світлодіодні системи ультрафіолетового випромінювання для іонізації повітря приміщень. Єдиною умовою їх застосування є розміщення на відстанях не менше 2 м від людей. Рівні іонізації повітря із застосування таких систем у приміщенні об'ємом 80 м³, наведено у табл. 4.

Таблиця 4 – Рівні іонізації повітря у приміщенні об'ємом 80 м³

	Концентрації іонів, см ⁻³	
	n ⁻	n ⁺
Фонові значення	300–380	530–640
З іонізатором	540–560	810–900

Наведені показники є усередненими. Ступені іонізації повітря залежать від відносної вологості повітря, концентрацій завислих частинок (дрібнодисперсного пилу), швидкості спрямованого руху повітря. За необхідності одночасного підвищення й відносної вологості повітря у приміщеннях доцільно застосовувати ультразвукові іонізатори. У таких пристроях іонізація здійснюється за рахунок балоелектричного ефекту подрібнення крапель води ультразвуком, що супроводжується частковим розпиленням води у повітрі. Недоліком таких пристроїв є обмежений об'єм обслуговування. Тому у процесі виконання проектних робіт необхідно оцінювати співвідношення об'ємів та ефективності іонізаторів повітря.

У більшості будівель і споруд з великими термінами експлуатації виникають проблеми з гідроізоляцією. Крім підвищення вологості повітря це сприяє проникненню у підвальні, напівпідвальні приміщення та на нижні поверхи радону. Вимірювання свідчать, що цей показник може складати 110–260 Бк/м³, що перевищує гранично допустимий рівень 100 Бк/м³ (Directive 2013/59 Euratom). Припинення проникнення радону до приміщень дуже складна задача, але вимірювання свідчать, що навіть ретельна гідроізоляція підвальних приміщень із застосуванням цементобетонних сумішей, що використовуються для басейнів знижує цей показник до 40–60 Бк/м³.

Усі проектні роботи щодо визначення необхідності нормалізації фізичних факторів у будівлях і спорудах у процесах їх реконструкції та відновлення доцільно здійснювати на пріоритетній основі. Визначається найбільш вагомий фактор, який потребує нормалізацію у першу чергу. Наступним кроком є визначення менш вагомого фактора тощо.

Як зазначалося, можна одним матеріалом знижувати теплові втрати й рівні шуму. У залежності від результатів моніторингу у першу чергу надають більшу ефективність матеріалу щодо того фактора, який більш вагомий з точки зору якості середовища перебування людей. У [14] показана принципова можливість одночасної нормалізації рівнів електромагнітних полів та теплових втрат. Створення прийнят-

них за ефективністю та вартістю універсальних матеріалів для зниження рівнів фізичних факторів техногенного походження сприятиме зниженню масогабаритних параметрів облицювань та є перспективним напрямом досліджень й прикладних розробок.

Висновки

1. Будівлі і споруди з великими термінами експлуатації не відповідають сучасним нормативам щодо енергоефективності та рівнів фізичних факторів техногенного походження. Тому у процесі їх реконструкції та відновленні доцільно розробити й впровадити відповідний комплекс організаційно-технічних заходів.

2. Показано, що для будівель, особливо історичних необхідно застосовувати облицювальні матеріали малих товщин та питомої ваги. Досліджено ефективність композиційного термоізолюючого і звукопоглинального матеріалу на основі базальтового волокна. Встановлено, що матеріал завтовшки 2,5 мм значно підвищує теплоізоляційні властивості стін та має коефіцієнти звукопоглинання на середніх та високих частотах 0,6–0,8. Надано розрахунковий апарат щодо проектування теплоізолюючих та звукопоглинальних матеріалів потрібної ефективності з мінімальною кількістю параметрів, які необхідно визначити у лабораторних умовах.

3. Визначено порядок забезпечення електромагнітної безпеки працюючих та населення за рахунок застосування стандартних та композиційних будівельних і облицювальних матеріалів. Додавання до облицювальних матеріалів магнетиту та карбонільного заліза без істотних змін пружних модулів дозволяє нормалізувати рівні електромагнітних випромінювань ультрависоких частот.

4. Розроблено засади нормалізації концентрацій іонів у приміщеннях. Встановлено, що у стандартних системах природної вентиляції відбувається значна деіонізація повітря. Тому у таких випадках доцільно використовувати штучну іонізацію повітря із застосуванням світлодіодних систем ультрафіолетового випромінювання. Їх перевагою є можливість застосування у присутності людей. Експериментально визначено проникнення у будівлі старої забудови радону. Показано, що для зниження його концентрацій у підвальних та напівпідвальних приміщеннях достатньо застосовувати гідроізоляцію із сучасних цементо-бетонних сумішей.

Використання засобів штучного інтелекту. Автор підтверджує, що не використовувала технології штучного інтелекту при створенні представленої роботи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (20th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC) and repealing Directive 2004/40/EC. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2013/35/oj>
2. Directive 2003/10/EC – noise. Of 6 February 2003 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (noise) (Seventeenth individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC). European Agency for Safety and Health at Work. Latest update: 19/03/2021. URL: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/82>

3. Standard of Building Biology Testing Methods. SBM-2015/ Building biology evaluation guidelines for sleeping areas. Baubiologie Maes. Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit IBN. GUIDELINES. 4 p. URL: <https://buildingbiology.com/building-biology-standard/>
4. Rieser, A., Pfluger, R., Troi, A., Herrera-Avellanosa, D., Thomsen, K. E., Rose, J., Arsan, Z. D., Akkurt, G. G., Kopeinig, G., Guyot, G., & Chung, D. (2021). Integration of Energy-Efficient Ventilation Systems in Historic Buildings—Review and Proposal of a Systematic Intervention Approach. *Sustainability*, 13(4), 2325. <https://doi.org/10.3390/su13042325>
5. Laurini, E., De Vita, M., & De Berardinis, P. (2021). Monitoring the Indoor Air Quality: A Case Study of Passive Cooling from Historical Hypogeal Rooms. *Energies*, 14(9), 2513. <https://doi.org/10.3390/en14092513>
6. Fermo, P., Comite, V. (2022). Indoor Air Quality in Heritage and Museum Buildings. In: D'Amico, S., Venuti, V. (eds) *Handbook of Cultural Heritage Analysis*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60016-7_34
7. Nunes, L. J. R., Curado, A., & Lopes, S. I. (2023). The Relationship between Radon and Geology: Sources, Transport and Indoor Accumulation. *Applied Sciences*, 13(13), 7460. <https://doi.org/10.3390/app13137460>
8. Portaro, M., Rocchetti, I., Tuccimei, P., Galli, G., Soligo, M., Ciotoli, G., Longoni, C., Vasquez, D., & Sola, F. (2024). Indoor Radon Surveying and Mitigation in the Case-Study of Celleno Town (Central Italy) Located in a Medium Geogenic Radon Potential Area. *Atmosphere*, 15(4), 425. <https://doi.org/10.3390/atmos15040425>
9. Tkachenko, T., Burdeina, N., & Chenchewa, O. (2023). Екранування електромагнітних полів та шуму у будівлях і спорудах. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*, 2(72), 186-189. <https://doi.org/https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.2.186>
10. N. Burdeina, V. Glyva, L. Levchenko, G. Krasnianskiy, Y. Biruk, S. Zozulya, L. Zozulya, M. Kashlev, T. Grzelakowski. (2025). Innovative Approaches to Designing Sound Insulation in Historic Buildings during Reconstruction. *International Journal of Conservation Science*, Volume 16, Special Issue. pp. 373-382, DOI: <https://doi.org/10.36868/IJCS.2025.si.01>
11. Glyva, V., Kasatkina, N., Burdeina, N., Levchenko, L., Khalmuradov, B., Khodakovskyy, O. Development and study of protective properties of the composite materials for shielding the electromagnetic fields of a wide frequency range. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020, 2(12-104), pp. 40–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.201330>
12. Glyva, V., Bakharev, V., Kasatkina, N., Levchenko, O., Levchenko, L., Burdeina, N., Guzii, S., Panova, O., Tykhenko, O., Biruk, Y. Design of liquid composite materials for shielding electromagnetic fields. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2021, 3(6-111), pp. 25–31. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.231479>
13. V. Glyva, N. Burdeina, L. Levchenko, G. Krasnianskiy, Y. Biruk, M. Dovhanovsky. (2024). Modelling the thermal resistance of layered structures for blocking infrared radiation. *Strength of Materials and Theory of Structures*, (113), pp. 329–336, DOI: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2024.113.329-336>
14. Burdeina, N., Levchenko, L., Korduba, I., Shamanskiy, S., Biruk, Y., Dovhanovsky, M., Zozulya, S., Klymchuk, A., Nikolaiev, K., & Osadchyi, D. (2024). Applying heterogeneous building materials for the protection of people against electromagnetic radiation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(10 (131), 45–52. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.313629>

Received (Надійшла) 22.10.2025

Accepted for publication (Прийнята до друку) 14.01.2026

Publication date (Дата публікації) 27.02.2026

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Бірук Яна Ігорівна – доктор філософії, доцент, доцент кафедри фізики, Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ, Україна;

Yana Biruk – PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine;

e-mail: vesna0999@gmail.com; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0002-3669-9744>;

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57225188391>.

Principles of normalisation of physical environmental factors of buildings and structures in the process of their reconstruction and restoration

Yana Biruk

Abstract. Industrial, public and residential buildings and structures with long service lives do not meet modern requirements for energy efficiency and levels of physical factors of technogenic origin. Therefore, during their reconstruction and restoration, it is necessary to ensure the normalisation of these parameters in accordance with the requirements of current regulatory documents. The sources of heat energy loss in old buildings have been investigated. The use of basalt-based composite materials to improve thermal insulation has been proposed. Such material has low mass and dimensional parameters, is easy to use and does not distort the appearance of the building, which is important for structures of historical value. Quantitative data on the sound-absorbing properties of the composite have been obtained. It has been established that it has high sound absorption coefficients at medium and high frequencies. An easy-to-use mathematical tool for predicting the thermal resistance of thermal insulation materials and sound absorption coefficients has been provided. This minimises the number of parameters that need to be determined in laboratory conditions. All calculations are performed in real form, which simplifies the calculation processes and makes it possible to automate the design of materials and protective structures. The procedure for ensuring electromagnetic safety in buildings during reconstruction has been determined. The electromagnetic radiation shielding coefficients of standard building and facing materials are evaluated and additional safety measures are determined. The addition of finely dispersed magnetite and carbonyl iron to facing materials increases their shielding properties. The degrees of air deionisation in standard forced ventilation systems are investigated. Significant deionisation of the air supplied to the premises is shown. To normalise the concentration of ions of both polarities, the use of LED ultraviolet radiation systems is proposed and quantitative data are obtained. The concentrations of radon accumulating in the basements and semi-basements of old buildings were measured. It was shown that an acceptable reduction in radon concentrations can be achieved by using waterproofing made of modern cement concrete.

Keywords: reconstruction, energy efficiency, electromagnetic radiation, sound insulation.