

## Якість мікроклімату в навчальному закладі будівлі, що підлягають термомодернізації

Яна Сафронова, студентка<sup>1†</sup> (ORCID: 0009-0000-4118-2080),

<sup>1</sup> Київський національний університет будівництва і архітектури, проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна, 03037

### АНОТАЦІЯ

Анотація. Експлуатаційні затрати будівель у Європейському Союзі становлять приблизно 40% від загального енергоспоживання. Одним із елементів раціоналізації енергоспоживання в будівлях є заходи, пов'язані з термомодернізацією будівель. Однак дії, спрямовані на зниження енергоспоживання будівель, не завжди корелюють із покращенням мікрокліматичних умов у приміщеннях. Помилки у впровадженні програми підвищення енергоефективності призвели до виникнення феномену "синдрому хворої будівлі". Представлено результати дослідження, проведеного в кількох навчальних будівлях до і після термомодернізації.

Ключові слова: мікроклімат, термомодернізація, синдром „хворої будівлі”.

### 1. ВСТУП

Термозахист будівель важливий не лише для енергозбереження, а й для забезпечення комфортного мікроклімату. Європейський Союз активно працює над підвищенням енергоефективності будівель, зокрема зобов'язавшись, щоб з 2021 року всі нові будівлі мали мінімальне енергоспоживання, переважно за рахунок відновлюваних джерел енергії.

### 2. МЕТА РОБОТИ

Оцінити вплив заходів зі збереження енергії на умови мікроклімату в приміщеннях.

### 3. ФОРМУВАННЯ УМОВ МІКРОКЛІМАТУ В БУДІВЛЯХ

Фактори, що впливають на людину в приміщеннях, включають термічні параметри, хімічні та мікробіологічні забруднювачі, випромінювання, освітлення та шум. Тривалий вплив несприятливого мікроклімату може погіршувати здоров'я, знижувати працездатність і викликати синдром "хворої будівлі" (SBS), що проявляється через симптоми, які зникають після виходу з будівлі (подразнення очей, головний біль, нудота тощо). ВООЗ визначила, що якість внутрішнього середовища приміщень впливає на здоров'я та економічні втрати [1].

Якість повітря у приміщеннях залежить від вентиляції, яка також впливає на енергоспоживання. Надмірна герметичність будівель без належної вентиляції спричиняє погіршення мікроклімату. Зниження температури з 20 до 18°C може скоротити потреби в теплоті на 12%, але це може бути дискомфортним для сидячих працівників. Вологість і теплоізоляція будівель також впливають на мікроклімат: висока вологість сприяє зростанню цвілі та грибків, що погіршує якість повітря.

Рекомендована швидкість руху повітря (0,15–0,20 м/с) може бути занадто високою для частини користувачів, що показали дослідження, де 20% респондентів були незадоволені умовами в приміщеннях [2].

### 4. ОЦІНКА УМОВ ВНУТРІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ПІСЛЯ ТЕПЛОВОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ

Дослідження стану мікроклімату в приміщеннях проводилося в будівлях до і після термомодернізації в один і той самий період опалювального сезону (протягом двох місяців: грудень, січень) при подібних температурних і вологісних умовах зовні. Дослідження проводилося лише в типових класах, де виконувалася робота під час дослідження.

Дослідження охоплювало більшість класних кімнат у кожній будівлі. Середній розмір приміщення становив 62 м<sup>2</sup>, у приміщенні перебувало близько 19 осіб. Було враховано багато факторів, що впливають на якість внутрішнього середовища та сприйняття теплового комфорту людьми, що перебувають там. У першу чергу вимірювалися основні теплові параметри мікроклімату: температура повітря ( $t_n$ ), середня температура радіації ( $t_{ra}$ ), відносна вологість повітря ( $\phi_n$ ) і швидкість руху повітря ( $v_n$ ). У (табл. 1) наведені середні значення теплових параметрів мікроклімату зі значеннями стандартного відхилення.

Таблиця 1. Середні значення теплових параметрів мікроклімату

Параметри мікроклімату	до модернізації		після модернізації	
	Вимірне значення	Відхилення вимірів	Вимірне значення	Відхилення вимірів
$t_n, ^\circ\text{C}$	19,2	2,4	22,4	1,8
$t_{ra}, ^\circ\text{C}$	20,7	2,8	23,8	1,5
$\phi_n, \%$	48	12	32	4
	Середня рухливість повітря	Відхилення вимірів	Середня рухливість повітря	Відхилення вимірів
$v_n, \text{м/с}$	0,25	0,11	0,14	0,03

Температура повітря в приміщеннях до термомодернізації в середньому становила 19,2°C зі стандартним відхиленням 2,4°C. Нижча температура була зафіксована біля вікон, які мали нещільності. Після термомодернізації було зафіксовано підвищення температури повітря (див. табл. 1). Значного зниження температури в зоні біля вікон не спостерігалось. Різниця температур між рівнем голови і ніг до термомодернізації

була більшою і становила близько 2,4°C, а після модернізації ця різниця не перевищувала 1,0°C. Температура біля підлоги відрізнялася від середньої температури повітря у приміщенні не більше ніж на 1,2°C. Зовнішня температура під час дослідження коливалася в межах від -9,5°C до -0,5°C.

Температура радіаційного випромінювання до термомодернізації була на 1,5°C вищою за температуру повітря, так само як і після модернізації. Після термомодернізації середнє значення температури радіаційного випромінювання склало 23,8°C. Відносна вологість зовнішнього повітря під час дослідження становила від 69% до 86%. До термомодернізації було виявлено вищий рівень відносної вологості повітря. Значення вологості повітря коливалася в межах від 30% до 60%, із середнім значенням 48%. Протягом дня спостерігалася поступове збільшення вологості на приблизно 10%. Після термомодернізації значення вологості повітря помітно знизилася. Високий рівень вологості в будівлі в поєднанні з низькою теплоізоляцією огорожувальних конструкцій сприяли росту мікроорганізмів на внутрішніх поверхнях. Ріст плісняви на поверхнях стін у зоні біля вікон, який спостерігався іноді до термомодернізації, був повністю усунутий після модернізації [2].

Швидкість руху повітря в приміщеннях до термомодернізації була дещо вищою, особливо біля нещільних вікон. Після термомодернізації швидкість руху повітря підтримувалася на відносно низькому рівні — близько 0,1 м/с і не перевищувала 0,2 м/с.

Високі концентрації вуглекислого газу негативно впливають на самопочуття та здоров'я людини. Правильний рівень становить 450–1000 ppm. При рівні 2000 ppm вже спостерігається погана якість повітря і сонливість. За концентрацій 2000–5000 ppm можливі головні болі. Значення понад 5000 ppm призводять до дискомфорту та прискореного серцебиття, понад 15 000 ppm — до проблем із диханням, а понад 30 000 ppm — до запаморочення та нездужання. Концентрація понад 60 000 ppm може спричинити непритомність. Максимально допустима концентрація CO<sub>2</sub> на робочому місці становить 90,00 мг/м<sup>3</sup>, що приблизно дорівнює 5000 ppm.

Основним джерелом забруднення вуглекислим газом у приміщеннях було дихання користувачів кабінетів. Протягом дня навчальні приміщення використовувалися періодично, і під час перерв проводилося інтенсивне провітрювання шляхом відчинення вікон. Концентрація вуглекислого газу в класних кімнатах змінювалася динамічно, залежно від кількості людей, розміру приміщень та частоти їх провітрювання. Вимірювання концентрації вуглекислого газу проводилося лише в двох будівлях. Було зафіксовано тривожне явище: хоча до термомодернізації рівень CO<sub>2</sub> не перевищував 1400 ppm, після термомодернізації було зафіксовано максимум 2307 ppm наприкінці робочого дня [3].

На рис. 1 показано зміну концентрації вуглекислого газу (у ppm) в повітрі класної кімнати протягом робочого дня в навчальній будівлі, де проводилася термомодернізація.

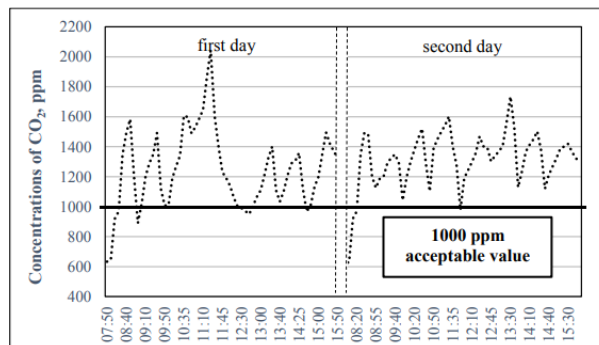


Рисунок 1. Розподіл концентрацій вуглекислого газу в повітрі.

Під час дослідження у людей, які перебували в приміщеннях, були виявлені симптоми синдрому «хворої будівлі», через перебування в несприятливому середовищі. Дослідження базувалося на анкетах, заповнених 189 особами до термомодернізації та 207 після термомодернізації.

Деякі симптоми синдрому "хворої будівлі", як-от симптоми грипу чи подразнення носа і риніти, частково зникли після термомодернізації. Підвищена втома, сонливість, нездужання та труднощі з концентрацією могли бути пов'язані зі зростанням рівня вуглекислого газу. Загалом погану якість повітря в приміщенні відчули близько 90% осіб, які перебували в кімнатах. Відчуття нестачі свіжого повітря створювало потребу в додатковому провітрюванні приміщень через відчинення вікон. У період опалювального сезону це спричиняло збільшення теплових втрат і тимчасове погіршення умов теплового комфорту через зниження температури в приміщенні

## 5. ВИСНОВКИ

Покращення теплоізоляції та модернізація систем опалення в навчальних закладах підвищили енергоефективність і частково покращили мікроклімат і тепловий комфорт у приміщеннях. Ці зміни також зменшили проблеми зі здоров'ям, пов'язані з синдромом «хворої будівлі», та усунули появу плісняви навколо вікон. Але без енергоефективної системи вентиляції, яка забезпечить надходження необхідної кількості чистого повітря в приміщення, ці рішення можна вважати неповними.

## Список літератури

- [1] Gula A. The strategy of thermal modernization of buildings. Roadmap 2050 (Institute of Environmental Economics, Cracow, 2014).
- [2] Indoor air pollutants: exposure and health effects, EURO Reports and Studies, World Health Organization. 1984.
- [3] Kapalo P., Sedláková A., Kosicanová D., Voznyak O., Lojkovics J., Siroczki P. Effect of ventilation on indoor environmental quality in buildings. *The 9th International Conference on Environmental Engineering Selected Papers*. Vilnius, VGTU Press. 2014. №1-6.

*Робота виконана під керівництвом к.т.н., доц. Анни Москвітної*