

УДК 697. 644.1

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270225.64.1130

МЕТОД ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКА ІНФІЛЬТРАЦІЇ

БОНДАРЕНКО А. В.^{1*}, *здоб.*,

ЮРЧЕНКО Є. Л.², *канд. техн. наук, доц.*

^{1*} Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: bondarenkoandrey177@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4531-2556

² Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: yel@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9356-3261

Анотація. Стаття створена на основі результатів інструментального дослідження параметрів мікроклімату, таких як температури, вологості повітря та концентрації вуглекислого газу CO₂ у приміщеннях бомбосховища та укриття. Результати статті отримані в рамках проведення проекту 101082898 — UKRENERGY «Innovative Master Courses Supporting the Improvement of the Energy and Carbon Footprint of the Ukrainian Building Stock» / «Інноваційні магістерські програми щодо енергоефективності та зменшення вуглецевого сліду в будівельному фонді України» (Тема: ERASMUS-EDU-2022-CBHE-STRAND-2) передбачає створення нових магістерських програм на тему «Енергоефективність, модернізація будівель та енергетичне планування» в українських університетах та просування передового досвіду ЄС щодо освітніх методологій та конкретних знань, пов'язаних з енергоефективністю та стійкістю будівель, зокрема впровадження інноваційних магістерських курсів щодо енергоефективності та зменшення вуглецевого сліду в будівельному фонді України [1]. У даній статті виведено графічну залежність основних параметрів мікроклімату таких як температура, вологості повітря та концентрації вуглекислого газу CO₂ від різних режимів експлуатації будівлі. Було проведено інструментальний моніторинг параметрів мікроклімату бомбосховища та укриття за допомогою логера HT-2000. Протягом 5 годин було промоніторено параметри температури, відносної вологості та рівня вуглекислого газу, у різних режимах експлуатації, тобто в залежності від кількості людей що знаходились у приміщенні та в залежності від режиму відкривання зовнішніх дверей. Логер HT-2000 протягом дослідження знаходився у приміщенні бомбосховища та укриття на висоті 1,2 м від підлоги [2]. На обох об'єктах при перебуванні у досліджуваному приміщенні великої кількості людей було зафіксоване значне зростання показника CO₂. Коли люди покинули досліджуване приміщення логер продовжував фіксувати значення параметрів температури, вологості повітря та концентрацію CO₂ протягом двох годин. За цей період у приміщенні не перебувало жодної людини, показник CO₂ та температури стабільно зменшувалась. рівень вуглекислого газу у бомбосховищі знизився із позначки 1 100 ppm до 550 ppm за 120 хв. В укритті знизився із позначки 1 385 ppm до 819 ppm за 120 хв. За цей ж період температура у обох випадках знижувалась, у бомбосховищі з 10 до 8 °C, в укритті з 14 до 11 °C. За даними показниками було побудовано графік залежності параметрів температури, відносної вологості та рівня вуглекислого газу в залежності від різних режимів експлуатації. На графіку виділено два значення CO₂ на початку та наприкінці періоду зниження значення концентрації CO₂ за проміжок часу у 120 хвилин. За функцією від різниці значень показників ΔCO₂ за проміжок часу t можемо розрахувати площу фігури утворену двома точками значень концентрації ΔCO₂. За отриманим значенням площі фігури можна дати відносну якісну оцінку показника інфільтрації будівлі [3]. Таким чином було отримано спрощений інструментальний метод якісної оцінки параметра інфільтрації. Наступним кроком є отримання не тільки якісної але і кількісної оцінки параметра інфільтрації за допомогою інструментального методу визначення концентрації CO₂, температури та вологості повітря.

Ключові слова: *інфільтрація; температура повітря; енергоефективність; CO₂; параметри мікроклімату; кратність повітрообміну; повітропроникність*

METHOD OF INSTRUMENTAL ASSESSMENT OF THE INFILTRATION INDICATOR

BONDARENKO A.V.^{1*}, *External Cand.*,

YURCHENKO Yevh.L.², *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

^{1*} Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: bondarenkoandrey177@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4531-2556

² Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: yel@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9356-3261

Abstract. This article was developed based on the results of an instrumental study of microclimate parameters such as: temperature, air humidity, and CO₂ carbon dioxide concentration in bomb shelters and shelters. The results of the article were obtained within the framework of the project 101082898 — UKRENERGY “Innovative Master Courses Supporting the Improvement of the Energy and Carbon Footprint of the Ukrainian Building Stock” EDU-2022-CBHE-STRAND-2) envisages the creation of new master's programs on the topic “Energy efficiency, modernization of buildings and energy planning” in Ukrainian universities and the promotion of best practices of the EU regarding educational methodologies and specific knowledge related to energy efficiency and sustainability of buildings, in particular, the introduction of innovative master's courses on energy efficiency and reducing the carbon footprint in the building stock of Ukraine [1]. This article shows the graphical dependence of the main parameters of the microclimate, such as temperature, air humidity, and the concentration of CO₂ carbon dioxide, on various modes of operation of the building. Instrumental monitoring of the microclimate parameters of the bomb shelter and shelter was carried out using the NT-2000 logger. During 5 hours, parameters of temperature, relative humidity and level of carbon dioxide were monitored in different modes of operation, i.e. depending on the number of people in the room and depending on the mode of opening the external doors. During the study, the NT-2000 logger was located in the bomb shelter and shelter at a height of 1,2 m from the floor [2]. At both facilities, when a large number of people were in the research room, a significant increase in the CO₂ index was recorded. When people left the research room, the logger continued to record the values of temperature, air humidity and CO₂ concentration for two hours. During this period, not a single person was in the room, CO₂ and temperature decreased steadily. the level of carbon dioxide in the bomb shelter dropped from 1 100 ppm to 550 ppm in 120 minutes. In the shelter, it dropped from 1 385 ppm to 819 ppm in 120 minutes. During the same period, the temperature in both cases decreased, in the bomb shelter from 10 to 8 °C, in the shelter from 14 to 11 °C. According to these indicators, a graph of the dependence of the parameters of temperature, relative humidity and carbon dioxide level depending on different modes of operation was constructed. The graph shows two values of CO₂ at the beginning and at the end of the period of decrease in CO₂ concentration over a period of 120 minutes. We can calculate the area of the figure formed by two points of the Δ CO₂ concentration values as a function of the difference in the values of the Δ CO₂ indicators during the time interval t . Based on the obtained value of the area of the figure, it is possible to give a relative qualitative assessment of the infiltration rate of the building [3]. In this way, a simplified instrumental method of qualitative assessment of the infiltration parameter was obtained. The next step is to obtain not only a qualitative but also a quantitative assessment of the infiltration parameter using an instrumental method of determining CO₂ concentration, temperature and air humidity.

Keywords: *infiltration; air temperature; energy efficiency; CO₂; microclimate parameters; air exchange rate; air permeability*

Вступ. У статті описано метод за яким можна дати якісну оцінку параметру інфільтрації та герметичності зовнішньої оболонки будівлі. Після досягнення максимального значення CO₂ у приміщенні протягом декількох годин фіксується падіння значення CO₂. Чим нижчим стане показник CO₂, тим будівля менш герметична. Таким спрощеним методом можна дати якісну оцінку герметичності будівель із невеликим опалювальним об'ємом до 1 500 м³. Для будівель із великим опалювальним об'ємом рекомендовано проводити тест повітропроникності [4].

Актуальність дослідження. Якісна оцінка показника інфільтрації за

результатами інструментального обстеження параметрів концентрації CO₂ та температури надає змогу оцінити рівень герметичності зовнішніх огорожувальних конструкцій невеликих об'єктів не використовуючи обладнання для визначення повітропроникності будівель, яке має високу вартість та потребує кваліфікованих спеціалістів, а лише за допомогою приладу для визначення параметрів мікроклімату будівлі.

Останні дослідження та публікації. У статті [5] приведено порівняльний аналіз параметрів мікроклімату таких як температура, відносна вологість повітря, концентрація CO₂, у житлових малоповерхових будинків з різними

системами опалення. Визначено як різні системи опалення впливає на параметри мікроклімату будівель.

У статті [6] удосконалено методичні основи визначення повітропроникності будівель.

У статті [7] науково обґрунтовано використання параметру q_{50} (повітропроникність) для визначення класу енергоефективності будівель замість параметру n_{50} (кратність повітрообміну).

Дана стаття пропонує інструментальний механізм якісної оцінки показника інфільтрації.

Мета. Отримання інструментального механізму якісної оцінки показника інфільтрації будівлі.

Основна частина. Одним із об'єктів дослідження було бомбосховище у м. Дніпро. Стеля сховища розташована нижче рівня землі на 30 см. Із головного входу у під'їзд зліва знаходяться двері та сходові клітина яка веде униз до входу до сховища із герметичними дверями. Площа сховища – 84 м². Бомбосховище розраховано на 100 людей, у сховищі передбачено два приміщення для перебування людей, площами близько 20 м². Також передбачено санвузол на дві кабіни та умивальна, дві комори, два резервуари з водою. Бомбосховище має 3 виходи, які виходять на 2 різні фасади будівлі і облаштовані герметичними дверями. Зовнішні конструкції сховища товщиною 640 мм, із залізобетону та каменю. Підлога – бетонна плита 300 мм по ґрунту. Перекриття – плити керамзитобетонні. Висота стелі укриття 2,25 м. Габаритні розміри 14x7 м. У сховищі відсутні вікна. Проведено електрика, каналізація та водопостачання. Сховище не опалюється, некондиціонований об'єм сховища 189 м³. Площа зовнішніх огорожувальних конструкцій 105 м².

Другим об'єктом дослідження було укриття у м. Дніпро. Сховище знаходиться вище відмітки землі на 60 см. Із головного входу у під'їзд зліва знаходяться двері та сходові клітина яка веде униз до входу до укриття. На відміну від першого об'єкту

сховища, в укритті відсутні герметичні двері, є тільки один вихід із укриття, фактично укриття представляє собою звичайний підвал, не пристосований для перебування людей. Відсутня вентиляція, високий рівень запиленості, відсутність простору для розміщення більше 25 людей. Площа сховища – 61 м². Не передбачено санвузлів, комори, резервуарів із водою. Зовнішні конструкції сховища товщиною 640 мм, із каміння та бетону та внутрішні цегляні стіни. Підлога – бетонна плита 300 мм по ґрунту. Перекриття – плити керамзитобетонні. Висота стелі укриття 2,38 м. Габаритні розміри 10x8 м. У сховищі відсутні вікна. Проведено електрика для освітлення. Розетки відсутні. На момент проведення тесту електрика у приміщенні була відсутня. Сховище не опалюється, некондиціонований об'єм сховища 145 м³. Площа зовнішніх огорожувальних конструкцій 92 м².

Було проведено інструментальний аудит параметрів мікроклімату, таких як температура, відносна вологість, рівень CO₂ у бомбосховищі та укритті. Протягом п'яти годин було промоніторено параметри мікроклімату за допомогою логера НТ-2000 та програмного забезпечення, при різних режимах експлуатації.

Температура на вулиці на початку тесту 10 °С, відносна вологість – 55 %, рівень CO₂ – 710 ppm.

Регламент проведення інструментального аудиту параметрів мікроклімату у бомбосховищі. На момент проведення тесту опалення у будівлі було вимкнено.

Логер починає фіксувати значення о 10:30, обидві двері були зачинені, у приміщенні знаходилась одна людина. Перші значення CO₂ – 818 ppm, відносна вологість – 50,1 %, температура повітря – 15,1 °С.

Рівень вуглекислого газу починає зростати, і за 38 хвилин досягає відмітки 1105 ppm. (рис. 1, точка 1-2).

Температура починає падати і за 38 хвилин досягає 14,4 °С. (рис. 1, точка

1-2). Падіння температури визвано також падінням температури ззовні.

Відносна вологість повітря починає падати і за 38 хвилин досягає 38,8 % (рис. 1, точка 1-2).

Через 38 хвилин об 11:08 було відкрито герметичні двері, у приміщенні бомбосховища знаходилась одна людина.

Значення концентрації CO₂ продовжує зростати до 11:35 і досягає відмітки 1 230 ppm, після чого за 15 хвилин починає різко падати до 810 ppm (рис. 1, точка 2-3-4).

Температура продовжує падати і за 37 хв. досягає 7,2 °C (рис. 1, точка 2-3-4).

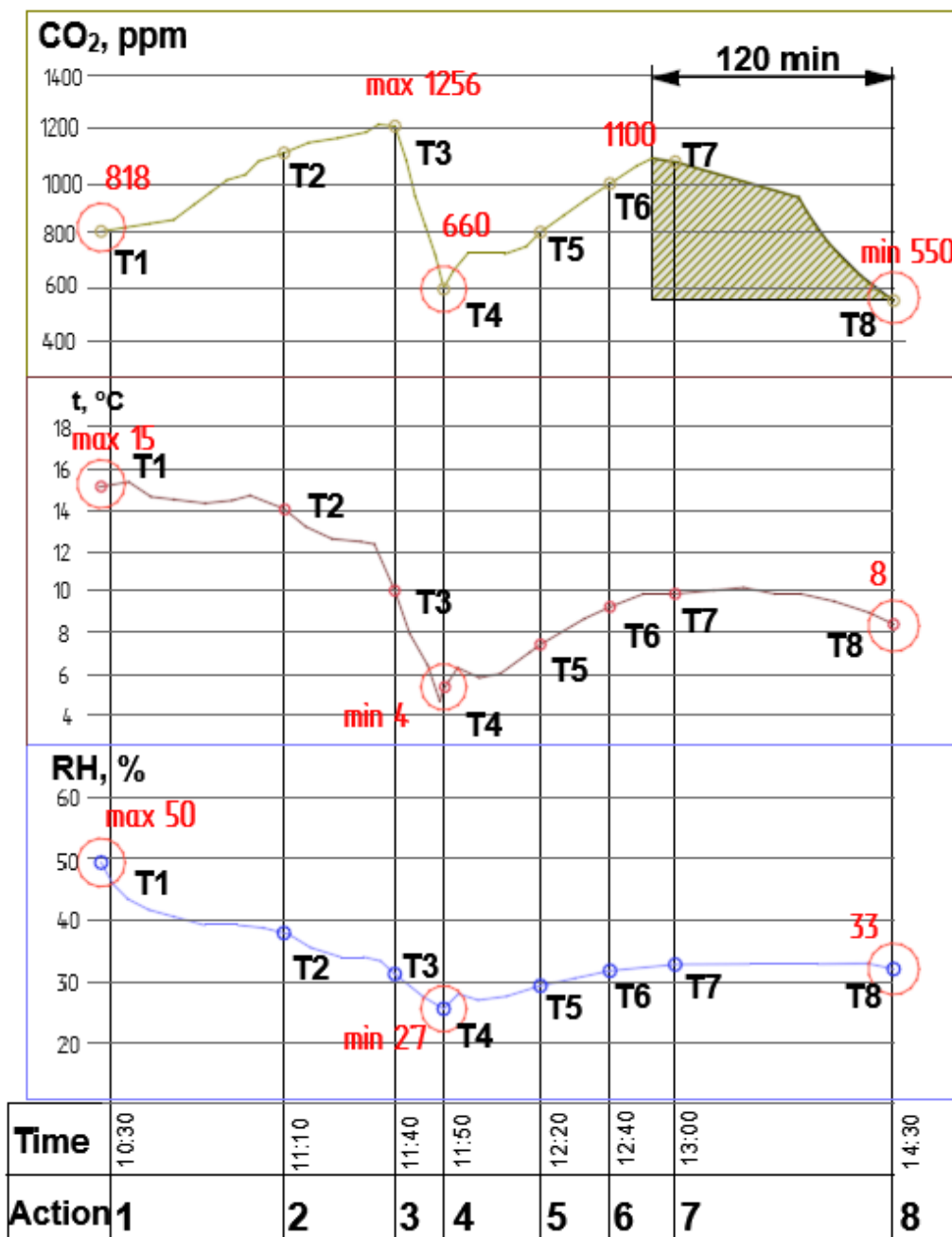


Рис. 1. Графік зміни параметрів концентрації CO₂, температури t, °C та відносної вологості повітря RH, % залежно від режимів експлуатації. Бомбосховище

Падіння температури визвано також падінням температури на вулиці.

Відносна вологість повітря продовжує падати і за 37 хв. досягає 27,3 % (рис. 1,

точка 2-3-4). Відмічається досить низький показник вологості та температури.

Через 37 хвилин об 11:45 було відкрито обидві герметичні двері, одна людина знаходилась у приміщенні бомбосховища.

Значення концентрації CO₂ продовжує зростати і піднімається із відмітки 605 ppm до 781 ppm о 12:20 (рис. 1, точка 4-5). Температура тримається майже однакова 7–8 °C (рис. 1, точка 4-5).

Відносна вологість повітря трохи зростає і досягає 30,0 % (рис. 1, 4-5).

О 12:20 закрито усі двері, у приміщення бомбосховища зайшло 4 людини.

Значення концентрації CO₂ зростає за період у 20 хв. з 800 ppm до відмітки 1 100 ppm (рис. 1, точка 5-6).

Температура зростає за період протягом 20 хв. з 7,5 до 10 °C (рис. 1, точка 5-6).

Відносна вологість повітря знижується без значних змін (рис. 1, точка 5-6).

О 12:40 усі люди покинули приміщення бомбосховища.

Значення концентрації CO₂ починає зменшуватися (рис. 1, точка 6-7). Температура повільно зменшується (рис. 1, точка 6-7).

Відносна вологість повітря трохи зростає (рис. 1, точка 6-7).

Протягом двох годин спостерігається зменшення значення концентрації CO₂, з 12:40 до 14:40.

Значення концентрації CO₂ поступово зменшується. За дві години з 12:40 до 14:40 показник падає із позначки 1 100 ppm до позначки 550 ppm о 14:40 (рис. 1, точка 6-7-8). Температура знижується з 10 до 8 °C (рис. 1, точка 6-7-8).

Відносна вологість повітря 30,0 % (рис. 1, 6-7-8).

Закінчення тесту відбулось о 14:40.

Наприкінці тесту температура повітря ззовні опустилась з 10 до 9 °C.

Регламент проведення інструментального аудиту параметрів мікроклімату в укрітті. На момент проведення тесту опалення у будівлі було вимкнено.

Температура на зовні на початку тесту – 11 °C, відносна вологість – 60 %, рівень CO₂ – 770 ppm.

Логер починає фіксувати значення о 9:10, усі двері зачинені, у приміщенні укріття знаходилась одна людина. Перші значення CO₂ – 750 ppm, відносна вологість – 42,1%, температура повітря – 9,4 °C.

Значення концентрації CO₂ починає зростати, і за 40 хв. досягає відмітки 850 ppm (рис. 2, точка 1-2).

Температура повітря за 40 хв. тримається на позначці 10,1 °C (рис. 2, точка 1-2).

Відносна вологість повітря за 40 хв. тримається на позначці 42,2 % (рис. 2, точка 1-2).

Через 40 хв. о 9:50 відкрито двері в укріття та двері у підїзд, одна людина у приміщенні.

Значення концентрації CO₂ знижується з 850 до 796 ppm об 11:00 внаслідок потрапляння повітря з вулиці (рис. 2, точка 2-3).

Температура продовжує падати і за 37 хв. досягає 7,2 °C (рис. 2, точка 2-3). Падіння температури визвано також падінням температури на вулиці.

Відносна вологість повітря продовжує падати і за 37 хв. досягає 27,3 % (рис. 2, точка 2-3). Відмічається дуже низький показник вологості та температури.

Об 11:00 було закрито двері, в укріття зайшли 4 людини, які перебували в укрітті 1 годину.

Значення концентрації CO₂ зростає із відмітки 796 до 1 385 ppm о 12:00 (рис. 2, точка 3-4). Температура піднімається з 11 °C до значення 14 °C (рис. 2, точка 3-4).

Відносна вологість повітря знижується зі значення 46 до 42,0 % (рис. 2, 3-4).

О 13:00 усі люди покинули приміщення укріття.

Значення концентрації CO₂ знижується за період з 12:00 по 13:50 з 1385 до відмітки 819 ppm о 13:50 (рис. 2, точка 4-5-6).

Температура зростає за період у 20 хв. з 7,5 до 10 °C (рис. 2, точка 4-5-6).

Відносна вологість повітря знижується без значних змін (рис. 2, точка 4-5-6).

Закінчення тесту відбулося о 13:50.

На обох об'єктах було зафіксовано підвищення концентрації CO₂ протягом

перебування людей у приміщенні. Після того як люди покинули приміщення і зовнішні двері були зачинені, логер знаходився у приміщенні 110–120 хв. і фіксував зниження значення концентрації

CO₂. Рівень вуглекислого газу знижувався у бомбосховищі на 550 ppm (з 1 100 до 550 ppm) за 120 хв. В укритті на 566 ppm (з 1 385 до 819 ppm) за 110 хв., 585 ppm за 120 хв.

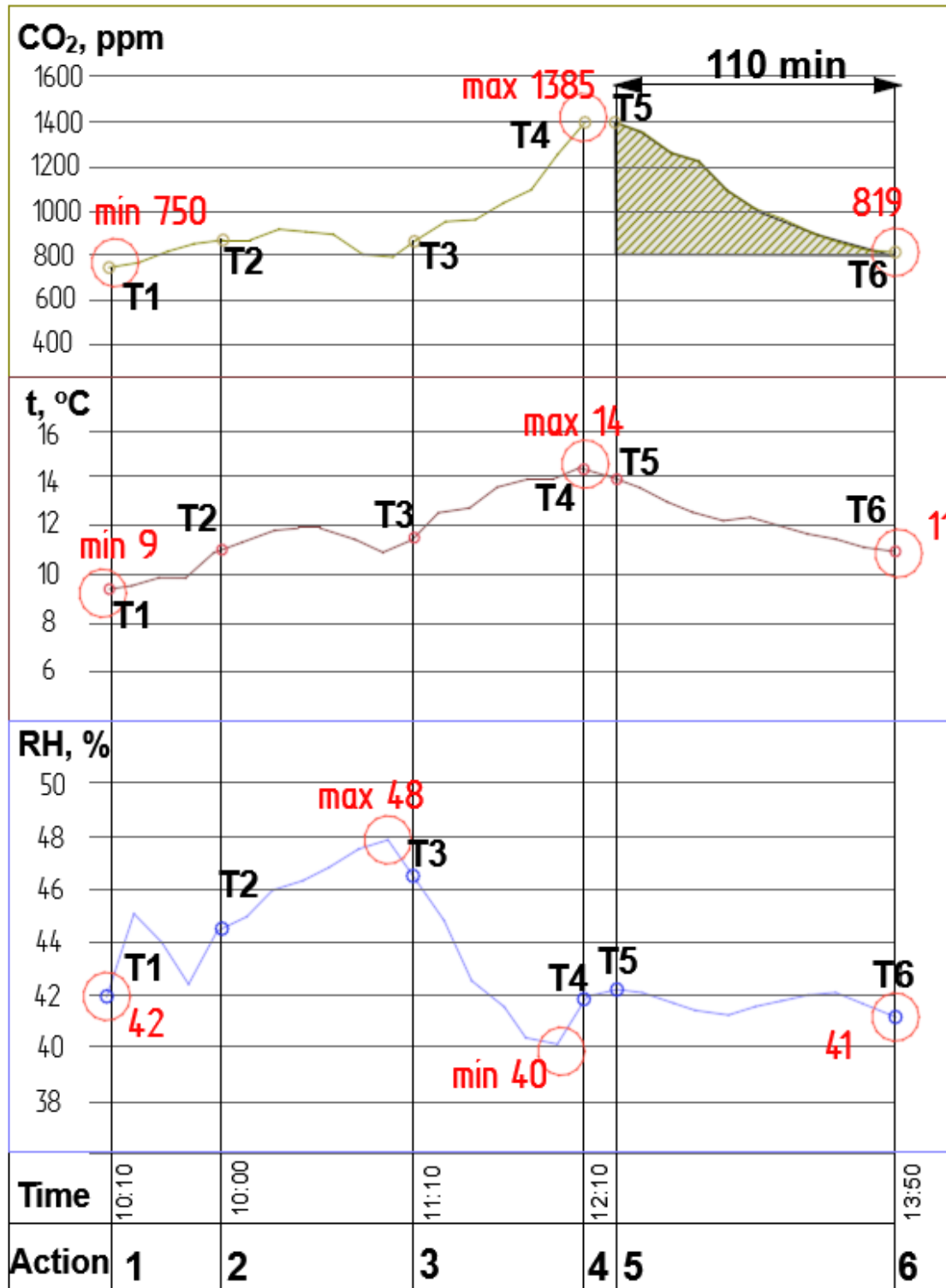


Рис. 2. Графік зміни параметрів концентрації CO₂, температури t, °C та відносної вологості повітря RH, % залежно від режимів експлуатації. Укриття

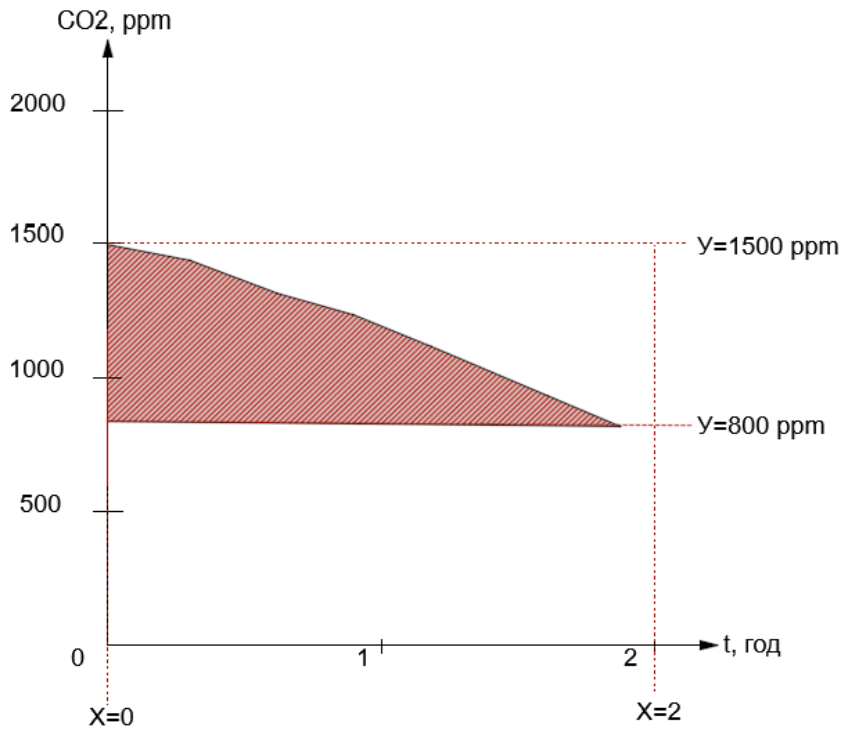


Рис. 3. Графік зниження концентрації CO₂ у квартирі об'ємом 155 м³

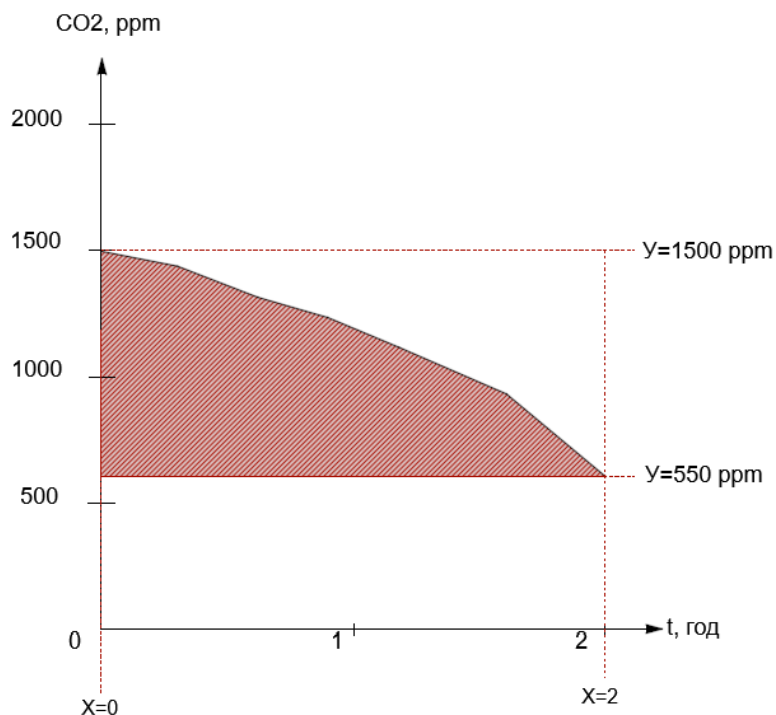


Рис. 4. Графік зниження концентрації CO₂ у квартирі об'ємом 123 м³

За результатами інструментального обстеження параметрів мікроклімату було побудовано графіки зміни параметрів мікроклімату.

Якщо визначити площу геометричної фігури між точкою t₅ та точкою t₆ графіку концентрації CO₂, (рис. 1, 2), то за отриманим відносним показником площі

даної фігури можна оцінити пропускання CO₂ через зовнішні огорожувальні конструкції, тобто оцінити герметичність зовнішньої оболонки будівлі.

Також було промоніторено параметри мікроклімату у двох квартирах об'ємом 155 м³ та об'ємом 123 м³. Зовнішні двері та вікна під час проведення тесту були зачинені. Після того як було зафіксовано максимальне значення концентрації CO₂ 1 500 ppm, усі прилади згорання були вимкнені, усі люди покинули приміщення, зовнішні двері було зачинено. Протягом двох годин фіксувалося зниження значення концентрації CO₂. У першій квартирі об'ємом 155 м³ за дві години значення концентрації CO₂ знизилось на 700 ppm (з 1500 до 800 ppm) (рис. 3). У другій квартирі об'ємом 123 м³ за дві години значення концентрації CO₂ знизилось на 950 ppm (з 1500 до 550 ppm) (рис. 4).

У квартирі об'ємом 123 м³ зафіксовано інтенсивніше зниження концентрації CO₂, ніж у квартирі об'ємом 155 м³. Це означає, що квартира об'ємом 123 м³ менш герметична навіть при меншому об'ємі.

Якщо рівень CO₂ у приміщенні становить 800 ppm – це означає, що в 1 м³ повітря міститься 800 см³ CO₂.

У даному випадку час $t = 2$ і є константою, максимальне значення CO₂ = 1 500 ppm і також є константою.

Умовно на 1 м³ повітря концентрація CO₂ знизилась у першій квартирі на 700 см³:

$$155 \cdot 700 = 108\,500 \text{ см}^3 = 0,1085 \text{ м}^3.$$

Тобто на об'єм 155 м³ за період часу $t = 2$ (const), через оболочку приміщення було втрачено 0,1085 м³ CO₂.

На 1 м³ повітря концентрація CO₂ знизилась у другій квартирі на 950 см³:

$$123 \cdot 950 = 116\,850 \text{ см}^3 = 0,1168 \text{ м}^3.$$

Тобто на об'єм 123 м³ за період часу $t = 2$ (const), через оболочку приміщення було втрачено 0,1168 м³ CO₂.

За показником об'єму CO₂ у м³, який було інфільтровано через зовнішню оболочку за період часу $t =$ (const) можна визначити кількість повітря у м³ яке було інфільтровано через зовнішню оболочку будівлі.

Висновки

Визначено залежність параметрів мікроклімату будівель від концентрації людей та інших факторів. Отримано інструментальний механізм визначення величини інфільтрації.

За допомогою аналізатора CO₂ можна визначити об'єм CO₂ у м³, інфільтрований за період часу $t =$ (const) через зовнішню оболочку будівлі, можна визначити кількість повітря у м³ яке було інфільтровано через зовнішню оболочку будівлі. Дати якісну та кількісну оцінку герметичності зовнішньої оболонки будівлі. Це дасть змогу визначати показник кратності повітрообміну та повітропроникності будинків із невеликим опалювальним об'ємом за допомогою звичайного аналізатора CO₂, без використання системи blow door test і залучення фахівців, що є досить трудомістким та витратним заходом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. E+ UKRENERGY. URL: <https://ukrenergy-erasmusplus.eu/>
2. ДСТУ EN 50292:2016. Сигналізатори оксиду вуглецю для житлових споруд, автопричепів та суден. Настанови щодо вибору, встановлення, застосування та технічного обслуговування. 2016. 51 с.
3. ДСТУ 9190:2022. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. Київ : Мінрегіон України, 2022. 156 с.
4. ISO 9972:2015. Thermal performance of buildings. Determination of air permeability of buildings. Fan pressurization method, UK Standard, 2015. 38 p.
5. Andriy Bondarenko, Eugene Yurchenko, Olena Koval, Mykola Savyt'skyi. Comparative analysis of microclimate parameters of residential low-rise buildings with different heating systems. *Innovative technologies in construction, civil engineering and architecture*. 2021. Vol. 2678. Pp. 1–8. URL: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2678/1/020004/2872184/Comparative-analysis-of-microclimate-parameters-of?redirectedFrom=fulltext>

6. Андрій Бондаренко, Євгеній Юрченко, Олена Коваль, Олена Тимошенко. Удосконалення методичних основ визначення герметичності оболонки будівлі. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2022. С. 27–34. URL: <http://uajcea.pgasa.dp.ua/article/view/264059>
7. Андрій Бондаренко, Євгеній Юрченко, Олена Коваль, Артем Коваль. Визначення повітропроникності будівель. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. 2024. С. 42–51. URL: https://www.researchgate.net/publication/382719825_Determination_of_air_permeability_of_buildings
8. Šadauskienė J., Šeduikytė L., Paukštys V., Banionis K., Gailius A. The role of air tightness in assessment of building energy performance : Case study of Lithuania. *Energy for Sustainable Development*. 2016. Vol 32. Pp 31–39. URL: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2016.02.006>
9. ДСТУ EN 9927:2022. Теплотехнічні характеристики будівлі. Визначення повітропроникності будівлі методом випробування тиском. Київ : Мінрегіон України, 2022. 34 с.

REFERENCES

1. E+ UKRENERGY. URL: <https://ukrenergy-erasmusplus.eu/>
2. DSTU EN 50292:2016. *Sygnalizatory oksydu vuhletsyu dlya zhytlovykh sporud, avtoprychepiv ta suden. Nastanovy shchodo vyboru, vstanovlennya, zastosuvannya ta tekhnichnoho obsluhovuvannya* [DSTU EN 50292:2016. Carbon Monoxide Alarms for RVs, Caravans and Marine-selection, Installation, Use and Maintenance Guides]. 2016, 51 p. (in Ukrainian).
3. DSTU 9190:2022. *Metod rozrakhunku enerhospozhyvannya pid chas opalennya, okholodzhennya, ventylyatsiyi, osvitlennya ta haryachoho vodopostachannya* [DSTU 9190:2022. Energy efficiency of buildings. Method for calculating energy consumption during heating, cooling, ventilation, lighting and hot water supply]. Kyiv : Ministry of Regions, 2022, 156 p. (in Ukrainian).
4. ISO 9972:2015. Thermal performance of buildings. Determination of air permeability of buildings. Fan pressurization method. UK Standard, 2015, 38 p.
5. Andriy Bondarenko, Eugene Yurchenko, Olena Koval and Mykola Savytskyi. Comparative analysis of microclimate parameters of residential low-rise buildings with different heating systems. *Innovative Technologies in Construction, Civil Engineering and Architecture*. 2021, vol. 2678, pp. 1–8. URL: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2678/1/020004/2872184/Comparative-analysis-of-microclimate-parameters-of?redirectedFrom=fulltext>
6. Andriy Bondarenko, Eugene Yurchenko, Olena Koval and Olena Tymoshenko. *Udoskonalennya metodychnykh osnov vyznachennya hermetychnosti obolonky budivli* [Improvement of methodological basis of determination of tightness of building cover]. *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2022, pp. 27–34. URL: <http://uajcea.pgasa.dp.ua/article/view/264059> (in Ukrainian).
7. Andriy Bondarenko, Eugene Yurchenko, Olena Koval and Artem Koval. *Vyznachennya povitropronyknosti budivel'* [Determination of air permeability of buildings]. *Ventylyatsiya, osvitlennya ta teplohozopostachannya* [Ventilation, Lighting and Heat and Gas Supply]. 2024, pp. 42–51. URL: https://www.researchgate.net/publication/382719825_Determination_of_air_permeability_of_buildings (in Ukrainian).
8. Šadauskienė J., Šeduikytė L., Paukštys V., Banionis K. and Gailius A. The role of air tightness in assessment of building energy performance : Case study of Lithuania. *Energy for Sustainable Development*. 2016, vol. 32, pp. 31–39. URL: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2016.02.006>
9. DSTU EN 9927:2022. *Teplotekhnichni kharakterystyky budivli. Vyznachennya povitropronyknosti budivli metodom vyprobuvannya tyskom* [DSTU EN 9927:2022. Thermal technical characteristics of the building determination of air permeability of the building pressure test method]. Kyiv : Ministry of Regions, 2022, 34 p. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 04.12.2024.