

<https://doi.org/10.32402/hygiene2023.73.031>

ПОШУК МЕТОДИЧНИХ ПРИЙОМІВ ГІГІЄНІЧНОЇ ОЦІНКИ ПОБУТОВИХ ПРИЛАДІВ З ОЗОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ПРИМІЩЕНЬ ЖИТЛОВИХ ТА ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ

Михіна Л.І., Турос О.І., Петросян А.А., Брезіцька Н.В.,
Маремуха Т.П., Давиденко Г.М., Кобзаренко І.В.

ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України», м. Київ, Україна
e-mail: lyudamihina@gmail.com

Турос О.І. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0128-1647>

Петросян А.А. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3353-8574>

Брезіцька Н.В. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9832-3531>

Маремуха Т.П. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5538-4879>

Михіна Л.І. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0590-6229>

Давиденко Г.М. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8613-5143>

Кобзаренко І.В. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8930-8604>

Мета. Описати методику встановлення масових концентрацій озону в повітрі приміщень різних за об'ємом повітря під час побутового озонування.

Матеріали та методи дослідження. В дослідженні для генерації озону використовувався багатофункціональний побутовий озонатор, який був вміщений в експериментальну камеру об'ємом 0,096 м³. Озонатор був налаштований на підтримку заданої концентрації 0,1 мг/м³ та продуктивністю 10 г/60 хв. згідно паспорту. Аналіз проб повітря проводився після різного часу озонування на підставі вимог паспорту використання приладу протягом 30, 60 та 180 хвилин.

Відбір та аналіз проб повітря проводили за допомогою газоаналізатора озону Horiba APOA-370. Принцип роботи аналізатора – метод недисперсійної ультрафіолетової абсорбції з перехресною модуляцією (NDUV).

Статистичний аналіз результатів вимірювань проводився за допомогою методів описової статистики з використанням програми STATISTICA.

Результати та обговорення. Масові концентрації озону, які вимірювалися за умов насиченості повітря експериментальної камери 0,17 г/0,096 м³ за одну хвилину, були надалі використані для розрахунку можливих концентрацій озону в повітрі приміщення.

Для розрахунку концентрації озону в повітрі приміщення під час озонування були запропоновані наступні формули): $C_1 = C_2 \times k$, де C_1 – розрахункова концентрація озону, що може утворюватися під час озонування (мг/м³); C_2 – концентрація озону в камері, що утворюється під час роботи озонатора з визначеною продуктивністю приладу (мг/м³); k – розрахований коефіцієнт співвідношення об'ємів повітря експериментальної камери та приміщення. За отриманими даними розрахунок концентрації був проведений на прикладі можливого озонування повітря у найменшому за розміром приміщенні ($S=5$ м²; $h=2,5$ м) згідно з ДБН В.2.2-15:2019. Об'єм повітря в даному випадку складає 12,5 м³, а розрахунковий коефіцієнт – 0,00768. В залежності від зміни об'єму повітря приміщення, коефіцієнт може змінюватися, що у подальшому надає можливість використовувати даний підхід до розрахунку концентрації озону в приміщеннях з різним об'ємом повітря.

Висновки. Показано, що даний підхід можна використовувати при встановленні озонаторів в приміщеннях з різним об'ємом повітря. Порушення правил використання озонатора та перевищення вмісту озону у приміщенні може викликати отруєння, яке проявляється такими симптомами: головним болем, запамороченням, різкою втомою,

зниженою працездатністю, порушенням дихання, подразненням верхніх дихальних шляхів, алергічними реакціями, печінням та почервонінням очей, тощо. Озон може збільшувати активність тромбоцитів, що призводить до збільшення артеріального тиску. Висока концентрація газу токсична, що негативно впливає на слизові легень, може спровокувати атеросклероз, призвести до безпліддя.

Ключові слова. Озон, побутові озонатори, розрахунок масової концентрації озону в повітрі приміщень житлових та громадських будівель.

SEARCH OF METHODOLOGICAL TECHNIQUES FOR HYGIENE ASSESSMENT OF HOUSEHOLD APPLIANCES FOR AIR OZONATION OF RESIDENTIAL AND PUBLIC BUILDINGS

L. Mykhina, O. Turos, A. Petrosian, N. Brezitska, T. Maremukha, H. Davydenko, I. Kobzarenko

SI «O.M. Marzieiev Institute for Public Health of the NAMS of Ukraine», Kyiv, Ukraine

Objective. Describe the method of determining mass concentrations of ozone in the air of rooms of different air volumes during household ozonation.

Materials and methods. In the study, a multifunctional household ozonator was used to generate ozone, which was placed in an experimental chamber with a volume of 0.096 m³. The ozonator was set to maintain a target concentration of 0.1 mg/m³ and a productivity of 10 g/60 min. according to the passport. The analysis of air samples was carried out after different times of ozonation based on the requirements of the passport for the use of the device for 30, 60 and 180 minutes.

Selection and analysis of air samples was carried out using a Horiba APOA-370 ozone gas analyzer. The principle of operation of the analyzer is the method of non-dispersive ultraviolet absorption with cross-modulation (NDUV).

Statistical analysis of measurement results was carried out using descriptive statistics using the STATISTICA program.

Results. The mass concentrations of ozone, which were measured under conditions of air saturation of the experimental chamber of 0.17 g/0.096 m³ in one minute, were further used to calculate the possible concentrations of ozone in the room air.

The following formulas were proposed to calculate the concentration of ozone in the room air during ozonation): $C_1 = C_2 \times k$, where C_1 is the estimated concentration of ozone that can be formed during ozonation (mg/m³); C_2 – the concentration of ozone in the chamber, which is formed during the operation of the ozonator with the specified productivity of the device (mg/m³); k is the calculated ratio of the air volumes of the experimental chamber and the room.

The air volume in this case is 12.5 m³, and the calculated coefficient is 0.00768. Depending on the change in the air volume of the room, the coefficient may change, which in the future makes it possible to use this approach to calculate the concentration of ozone in rooms with different air volumes.

Conclusions. It is shown that this approach can be used when installing ozonators in rooms with different air volumes. Violation of the rules for using the ozonator and exceeding the ozone content in the room can cause poisoning, which is manifested by the following symptoms: headache, dizziness, severe fatigue, reduced work capacity, breathing disorders, irritation of the upper respiratory tract, allergic reactions, burning and reddening of the eyes, etc.

Keywords. Ozone, household ozonators, calculation of the mass concentration of ozone in the air of residential and public buildings.

Останнім часом збільшився інтерес до практичного використання озону (O_3) для санації, дезодорації, дезінфекції повітря приміщень житлових та громадських будівель [1-8]. Значення та різноманітність побутових озонаторів для використання в приміщеннях значно збільшилося з моменту початку епідемії на COVID [9,10]. Це призвело до неконтрольованої кількості приладів на ринку споживання.

Промислові та медичні озонатори розраховані для генерації озону у високих концентраціях для великих за об'ємом повітря приміщень, так об'єм виробничих приміщень на одного працівника згідно з санітарними нормами повинен складати не менше 15 м^3 , а площа приміщень – не менше $4,5\text{ м}^2$ [СНіП 2.09.02-85]. Побутові прилади розраховані для застосування в невеликих за об'ємом повітря приміщеннях – від $12,5\text{ м}^3$ [ДБН В.2.2-15:2019, ДБН В.2.2-9:2018]. Промислові та медичні озонатори генерують озон з чистого кисню, побутові – з повітря приміщень. За паспортом приладу зазвичай генерація озону може коливатися від кількості мг до г за годину (0,4; 10; 15; 20; 28; 30 г/год. тощо), в залежності від можливостей до призначення приладу [11,12].

Масова концентрація озону в повітрі, яку генерують промислові та медичні озонатори, може бути занадто високою для невеликих за розміром приміщень житлових та громадських будівель, що може негативно впливати на здоров'я користувачів також. Слід зазначити, що правила експлуатації у всіх побутових озонаторів різні, саме тому їх [13] не рекомендовано застосовувати в побуті безконтрольно.

Як хімічна речовина, озон (CAS 10028-15-6) є алотропною модифікацією кисню, молекула якого містить 3 атоми кисню.

У звичайному стані озон – отруйний газ блакитнуватого кольору з різким приємним запахом. Показником перевищення допустимої концентрації озону може бути характерний запах свіжості.

Згідно з діючими гігієнічними нормативами вміст озону в повітрі приміщення не повинен перевищувати наступні гранично допустимі концентрації (ГДК): максимально разову ($ГДК_{\text{мр}}$) – $0,16\text{ мг/м}^3$ (20 хв); середньодобову ($ГДК_{\text{сд}}$) – $0,03\text{ мг/м}^3$ (24 год); ($ГДК_{\text{р.з.}}$) – $0,1\text{ мг/м}^3$ (8 год). За класом небезпеки озон відноситься до 1-го класу і є надзвичайно небезпечною речовиною [14,15]. У той же час рекомендована ВООЗ концентрація озону в повітрі з $0,1\text{ мг/м}^3$ (8 год). Поріг людського нюху озону приблизно дорівнює $0,01\text{ мг/м}^3$ [16-19].

Для повітря приміщень житлових та громадських будівель в Україні окремий гігієнічний норматив не встановлений. Для оцінки рівня озону в повітрі приміщень використовується показник для атмосферного повітря, тому залишається актуальним питання допустимості різних видів побутових озонаторів до використання у приміщеннях різного розміру за об'ємом повітря. Однак, чітко прописаних вимог до використання різного типу озонаторів на сьогодні немає. Також, в інструкціях до приладів характеристики приміщення визначені за його площиною, без урахування об'єму повітря.

Це спонукало до вивчення питання використання побутових озонаторів для озонування повітря приміщень житлових та громадських будівель з урахуванням їх об'єму на основі проведення експериментальних досліджень щодо вмісту озону у повітрі та подальшого проведення розрахунку можливих натурних масових концентрацій озону в приміщенні, які можуть формуватися в повітрі приміщень під час озонування.

Мета дослідження. Описати методику встановлення масових концентрацій озону в повітрі приміщень різних за об'ємом повітря під час побутового озонування.

Матеріали та методи дослідження. В дослідженні для генерації озону використовувався багатофункціональний побутовий озонатор, який був вміщений в експериментальну камеру об'ємом $0,096\text{ м}^3$, до якої був під'єднаний газоаналізатор озону за допомогою тефлонових шлангів. Аналіз проб повітря проводився після різного часу озонування на підставі вимог паспорту використання приладу протягом 30, 60 та 180 хвилин. Масові концентрації озону в повітрі експериментальної камери вимірювалися протягом 20 хв.

Прилад працював з потужністю від 0 до 10 г озону на годину, з автоматичною зміною для підтримки концентрації, встановленою користувачем, у приміщенні з об'ємом повітря від 12 до 300 м³. Озонатор був налаштований на підтримку завданої концентрації 0,1 мг/м³ та продуктивністю 10 г/60 хв згідно паспорту. За вимогами, які висуваються до комфортного стану мікроклімату приміщень, температура повітря в камері становила 22°C, відносна вологість повітря – 73%.

Надалі дослідження було спрямовано на проведення розрахунку натурних масових концентрацій озону в приміщенні, які можуть формуватися в повітрі під час озонування, на основі експериментальних вимірів масових концентрацій озону. Під час проведення експерименту були враховані наступні показники: об'єм приміщення, час роботи, продуктивність озонатора.

Відбір та аналіз проб повітря проводили за допомогою газоаналізатора озону Horiba APOA-370. За характеристикою газоаналізатора діапазон вимірювань озону складав від 0 до 0,2/0,4/1,0/2,0 мг/м³ (діапазон переключався автоматично). Принцип роботи аналізатора – метод недисперсійної ультрафіолетової абсорбції з перехресною модуляцією (NDUV). Монітор дозволяв безперервно відображати концентрацію О₃ в повітрі. Діапазон вимірювань: 0-1 млн⁻¹; δ=±1%.

Статистичний аналіз результатів вимірювань проводився за допомогою методів описової статистики з використанням програми STATISTICA (визначення середньоарифметичної величини $M_{сер}$, її стандартної похибки, мінімальної та максимальної концентрації, медіани).

Результати та обговорення. Насиченість озону у повітрі експериментальної камери за масою озону складала 0,17 г/0,096 м³ за одну хвилину.

Попередньо для контролю з камери проводилися виміри без працюючого приладу для визначення фонових концентрацій озону.

Для розрахунку концентрації озону в повітрі приміщення під час озонування були запропоновані наступні формули):

$$k = V_1 / V_2, \quad \text{a)}$$

де, k – коефіцієнт співвідношення об'ємів повітря експериментальної камери та приміщення;

V_1 – об'єм експериментальної камери (м³);

V_2 – об'єм повітря приміщення (м³);

$$C_1 = C_2 * k, \quad \text{b)}$$

де, C_1 – розрахункова концентрація озону, що може утворюватися під час озонування (мг/м³);

C_2 – концентрація озону в камері, що утворюється під час роботи озонатора з визначеною продуктивністю приладу (мг/м³);

k – розрахований коефіцієнт співвідношення об'ємів повітря експериментальної камери та приміщення.

В даному випадку розрахунковий коефіцієнт становив 0,00768.

Протягом 20 хвилин визначалися масові концентрації озону, отримані протягом 30, 60, та 180 хвилин озонування, які були порівняні з діючими гігієнічними нормативами з часом осереднення 20 хв (ГДК_{м.р.}). Результати дослідження наведені в табл. 1.

Середні масові концентрації озону у повітрі камери склали: 0,37±0,02 мг/м³ (30 хв); 0,48±0,02 мг/м³ (60 хв); 0,64±0,02 мг/м³ (180 хв). Також за розрахунками визначено, що показники середньої концентрації озону в повітрі співпадали з медіаною, що свідчить про нормальний розподіл показника визначеної концентрації в вибірці, тобто масив даних був достатній.

Таблиця 1. Масові концентрації озону в повітрі експериментальної камери з працюючим озонатором, мг/м³.

Час озонування, хв	Кількість вимірів	Середня концентрація	Медіана	Мінімальна концентрація	Максимальна концентрація
		мг/м ³			
30	22	0,37±0,02	0,39	0,11	0,50
60	20	0,48±0,02	0,50	0,34	0,62
180	84	0,64±0,02	0,66	0,37	0,90

Отримані результати проведеного експерименту можуть бути використані для розрахунку можливих натурних концентрацій озону в приміщенні. За отриманими даними розрахунок концентрації був проведений на прикладі можливого озонування повітря у найменшому за розміром приміщенні ($S=5 \text{ м}^2$; $h=2,5 \text{ м}$) згідно з ДБН В.2.2-15:2019. Об'єм повітря в даному випадку складає $12,5 \text{ м}^3$.

В даному випадку розрахунковий коефіцієнт становив 0,00768.

Отримані розрахункові концентрації озону в повітрі приміщення під час озонування показані в табл. 2.

Таблиця 2. Розрахункові масові концентрації озону, що можуть утворюватися під час озонування в натурних умовах, мг/м³.

Час озонування, хв	Середня концентрація	Мінімальна концентрація	Максимальна концентрація
30	0,0028	0,00084	0,0038
60	0,0037	0,00260	0,0048
180	0,0050	0,00300	0,0070

Як свідчать розрахунки, результати яких наведені в табл. 2, в цьому випадку можливе утворення середньої масової концентрації озону в повітрі: 0,0028 мг/м³ за 30 хв; 0,0037 мг/м³ за 60 хв; 0,0050 мг/м³ за 180 хв. Порівняння розрахункових концентрацій з діючими гігієнічними нормативами показало, що вони не перевищують ГДК з різним часом озонування.

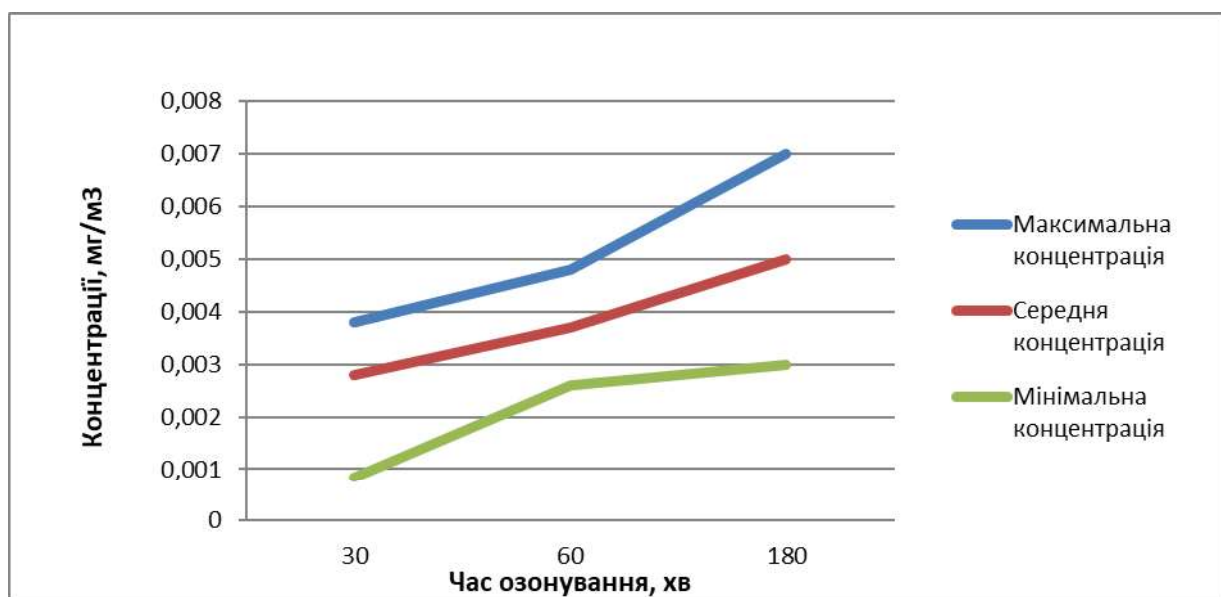


Рисунок 1. Розрахункові зміни масових концентрацій озону в повітрі приміщення в залежності від часу озонування.

Як видно з рис. 1, під час роботи озонатору масова концентрація озону у повітрі збільшується, що може становити небезпеку для користувачів за умов їх присутності, тому потрібно дотримуватися вимог паспорту до приладу та не зловживати його використанням, тобто враховувати час озонування та розмір об'єму приміщення.

В залежності від зміни об'єму повітря приміщення, коефіцієнт може змінюватися, що у подальшому надає можливість використовувати даний підхід до розрахунку концентрації озону в приміщеннях з різним об'ємом повітря.

При використанні побутових приладів користувачам потрібно залишати приміщення під час очищення озоном. Також вони мають обмежений інтервал застосування (1-2 години згідно паспорту до приладу). В залежності від об'єму повітря приміщення та роботи озонатору в ньому рекомендовано безпечно знаходитись після провітрювання через 2-6 годин. Правила експлуатації у всіх озонаторів різні, тому їх не рекомендовано застосовувати в побуті безконтрольно.

Висновки

Аналіз літературних даних показав відсутність єдиних методичних підходів до гігієнічної оцінки роботи побутових озонаторів та недоліки оцінки їх ефективності.

Визначено середні масові концентрації озону у повітрі камери під час експериментального озонування згідно параметрів приладу за вимогами інструкції його використання та насиченістю за масою речовини ($0,17 \text{ г}/0,096 \text{ м}^3$) складали: $0,37 \pm 0,02 \text{ мг}/\text{м}^3$ (30 хв); $0,48 \pm 0,02 \text{ мг}/\text{м}^3$ (60 хв); $0,62 \pm 0,02 \text{ мг}/\text{м}^3$ (180 хв) та були використані для розрахунку концентрацій озону, що може утворюватися під час озонування повітря приміщення.

Розраховано концентрації озону, що можуть формуватися у повітрі приміщення з мінімальним об'ємом повітря ($12,5 \text{ м}^3$), складали: $0,0028 \text{ мг}/\text{м}^3$ (30 хв); $0,0037 \text{ мг}/\text{м}^3$ (60 хв); $0,0050 \text{ мг}/\text{м}^3$ (180 хв), що не перевищувало діючі гігієнічні нормативи, тому використання приладу за відповідних умов можливо бути безпечним для користувачів.

Показано, що даний підхід можна використовувати при встановленні та використанні озонаторів в приміщеннях з різним об'ємом повітря.

Порушення правил використання озонатора та перевищення вмісту озону у приміщенні може викликати отруєння, яке проявляється такими симптомами: головним болем, запамороченням, різкою втомою, зниженою працездатністю, порушенням дихання, подразненням верхніх дихальних шляхів, алергічними реакціями, печінням та почервонінням очей, тощо. Озон може збільшувати активність тромбоцитів, що призводить до збільшення артеріального тиску. Висока концентрація газу токсична, що негативно впливає на слизові легень, може спровокувати атеросклероз, призвести до безпліддя [20].

Внески авторів:

Турос О.І. – ідея статті, участь у написанні висновків.

Петросян А.А. – участь у написанні статті.

Брезіцька Н.В. – участь у написанні статті.

Маремуха Т.П. – участь у написанні статті.

Михіна Л.І. – аналіз наукової літератури, проведення експерименту та отримання даних, участь у написанні статті.

Давіденко Г.М. – збір і обробка матеріалу.

Кобзаренко І.В. – збір і обробка матеріалу.

Фінансування. В рамках виконання НДР «Оцінка впливу на здоров'я населення забруднення атмосферного повітря, пов'язаного зі змінами клімату» (№ держреєстрації 0120U105415).

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

REFERENCES

1. Weschler CJ, Shields HC, Naik DV. Indoor Ozone Exposures. *Air Repair*. 1989;1562-8. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2607364/>
doi: <https://doi.org/10.1080/08940630.1989.10466650>
2. Weschler CJ. Ozone in indoor environments: Concentration and chemistry. *Indoor Air*. 2010. Available from: https://www.researchgate.net/publication/12239171_Ozone_in_Indoor_Environments_Concentration_and_Chemistry
doi: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2000.010004269.x>
3. Salonen H, Salthammer T, Morawska L. Human exposure to ozone in school and office indoor environments. *Environment International*. 2018;119(1):503-14. Available from: https://www.researchgate.net/publication/326671696_Human_exposure_to_ozone_in_school_and_office_indoor_environments
doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.07.012>
4. Nazaroff WW, Weschler CJ. Indoor ozone: Concentrations and influencing factors. *Indoor Air*. 2022;32(1):e12942. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34609012/>
doi: [10.1111/ina.12942](https://doi.org/10.1111/ina.12942)
5. Yu Huang, Zhe Yang, Zhi Gao. Contributions of Indoor and Outdoor Sources to Ozone in Residential Buildings in Nanjing. *Environmental Research and Public Health*. 2019;16(14):2587. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31331082/>
doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph16142587>
6. Zhang Q, Jenkins PL. Evaluation of Ozone Emissions and Exposures from Consumer Products and Home Appliances. *Indoor Air*. 2016. Available from: https://www.researchgate.net/publication/301940877_Evaluation_of_Ozone_Emissions_and_Exposures_from_Consumer_Products_and_Home_Appliances
doi: <https://doi.org/10.1111/ina.12307>
7. Nicole B, Ahmad A, Nizkorodov SA. Quantification of ozone levels in indoor environments generated by ionization and ozonolysis air purifiers. *Air Repair*. 2006. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10473289.2006.10464467>
doi: <https://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464467>
8. Gonzalo FA, Griffin M, Laskosky J. Assessment of Indoor Air Quality in Residential Buildings of New England through Actual Data. *Sustainability*. 2022;14(2):739. doi: <https://doi.org/10.3390/su14020739>
9. Dominguez S, Fernandez-Aguera J, Cesteros-García S, Gonzalez-Lezcano R. Bad Air Can Also Kill: Residential Indoor Air Quality and Pollutant Exposure Risk during the COVID-19 Crisis. *Environmental Research and Public Health*. 2020;17(19):7183. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33008116/>
doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph17197183>
10. Barone G, Buonomano A, Forzano C, Giuzio GF, Palombo A. Energy, economic, and environmental impacts of enhanced ventilation strategies on railway coaches to reduce Covid-19 contagion risks. *Science Direct (ELSEVIER)*. 2020. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054422201369X?via%3Dihub>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124466>
11. [State building regulations of Ukraine. Buildings and structures. Residential buildings. Main provisions - SBR V.2.2-15:2019]. Kyiv: State Building of Ukraine. 2019. 44 p. Ukrainian.
12. [State building regulations of Ukraine. Buildings and structures. Public buildings and structures. Main provisions - SBR V.2.2-9:2018]. Kyiv: State Building of Ukraine. 2018. 49 p. Ukrainian.
13. Saini J, Dutta M, Marques G. A comprehensive review on indoor air quality monitoring systems for enhanced public health. *Sustainable Environment Research*. 2020;30:6. Available from:

- [https://www.researchgate.net/publication/338904608_A_comprehensive_review_on_indoor_a
ir_quality_monitoring_systems_for_enhanced_public_health](https://www.researchgate.net/publication/338904608_A_comprehensive_review_on_indoor_air_quality_monitoring_systems_for_enhanced_public_health)
doi: <https://doi.org/10.1186/s42834-020-0047-y>
14. [Order of the Ministry of Health No. 52 dated 14.01.2020 "On the approval of hygienic regulations on the permissible content of chemical and biological substances in the atmospheric air of populated areas" registered in the Ministry of Justice on 10.02.2020 under No. 156/34439]. Ukrainian. Available from: https://zakononline.com.ua/documents/show/483794___682770
 15. [Order of the Ministry of Health No. 1596 of 07/14/2020 "On the approval of hygienic regulations for the permissible content of chemical and biological substances in the air of the working area", registered in the Ministry of Justice on 08/03/2020 under No. 741/35024]. Ukrainian. Available from: <https://xn--80aagahqwyibe8an.com/ukrajini-moz-nakaz/nakaz-vid-14072020-1596-pro-zatverdjennya-2020-84151.html>
 16. [WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Summary of risk assessment]. World Health Organization. 2021. 30 p. Russian. Available from: <http://www.who.int/>
 17. Shrubsole C, Dimitroulopoulou S, Foxall K, Gadeberg B. IAQ guidelines for selected volatile organic compounds (VOCs) in the UK. Building and Environment. 2019;165:106382. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036013231930592X>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106382>
 18. USEPA. Indoor Air Quality. 2021. Available from: <https://www.epa.gov/report-environment/indoor-air-quality>
 19. Jagriti Saini, Maitreyee Dutta, Gonçalo Marques. Indoor Air Quality Monitoring Systems Based on Internet of Things: A Systematic Review. Environmental Research and Public Health. 2020;17(14):4942. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7400061/>
doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph17144942>
 20. Moreno-Rangel A, Sharpe T, Musau F, McGill G. Field evaluation of a low-cost indoor air quality monitor to quantify exposure to pollutants in residential environments. Journal of Sensors and Sensor Systems. 2018;7(1):373-88. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/325048894_Field_evaluation_of_a_low-cost_indoor
air_quality_monitor_to_quantify_exposure_to_pollutants_in_residential_environments](https://www.researchgate.net/publication/325048894_Field_evaluation_of_a_low-cost_indoor_air_quality_monitor_to_quantify_exposure_to_pollutants_in_residential_environments)
doi: <https://doi.org/10.5194/jsss-7-373-2018>

Надійшла до редакції / Received: 27.10.2023