

В. А. Глива, Я. О. Галонько

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

## ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОКЛІМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ У ПРИМІЩЕННЯХ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

**Анотація.** На основі аналізу чинної нормативної бази та наукових досліджень встановлено що концептуальні підходи до забезпечення мікрокліматичних параметрів у приміщеннях спеціального призначення потребують доопрацювання. До таких приміщень належать приміщення диспетчеризації та управління й сховища цивільного захисту різних типів і конструкцій. Приміщення диспетчеризації містить велику кількість обладнання моніторингу і керування, а сховища можуть мати велике скупчення людей, що впливає на параметри середовища. У таких умовах генерується велика кількість аерозолей. Запропоновано простий у використанні розрахунок основних показників динаміки аерозолей у залежності від швидкості руху повітря, обумовленого вентиляцією. Визначено коефіцієнт релаксації частинок – час, за який вони набувають швидкості повітряного потоку. Розраховано стаціонарний показник осідання частинок. Надано значення цих показників для спектра розмірів аерозольних частинок. Показано, що за відсутності вентиляції або її малої продуктивності співвідношення температури та відносної вологості незадовільні. Запропоновано застосування ультразвукового іонізатора повітря. Експериментально визначено, що за використання ультразвукового організатора повітря нормалізуються концентрації аероіонів обох полярностей та відносна вологість повітря. При цьому за рахунок спрямованого руху повітря з нормативною швидкістю відбувається винос аерозолей, що утворюється внаслідок дихання і можуть містити хвороботворні бактерії. У реальних умовах потоки повітря можуть бути частково нестационарні. Це особливо стосується приміщень спеціального призначення зі складними системами природної та примусової вентиляції. Показано, що в підвальних та напівпідвальних приміщеннях можливе накопичення радону. Визначення його присутності складне і потребує спеціального обладнання. Про його присутність може свідчити підвищена концентрація аероіонів, порівняно з концентраціями у зовнішньому повітрі. Забезпечення нормативних показників мікроклімату у приміщеннях спеціального призначення комплексна задача. Її вирішення залежить від різних додаткових чинників впливу – електростатичних магнітних полів, деіонізації повітря у каналах вентиляції тощо. Тому на стадії проектування організаційно-технічних заходів щодо забезпечення необхідних параметрів необхідним є моніторинг вихідних умов у конкретних приміщеннях, визначення переліку основного обладнання, яке експлуатується у таких приміщеннях й оціночне визначення прогнозованих умов перебування людей.

**Ключові слова:** мікроклімат, сховище, аерозолі, аероіони, радон.

### Вступ

Мікрокліматичні умови є головним показником якості середовища перебування людей. До таких показників належать температура та відносна вологість повітря, швидкість його спрямованого руху, концентрація іонів. Усі ці параметри прямо або опосередковано пов'язані між собою. Відносна вологість залежить від температури повітря, концентрації аероіонів – від продуктивності вентиляції та відносної вологості тощо. Не дивлячись на те, що сучасні системи кліматичного контролю вважаються такими, що забезпечують комфортність середовища, у реальних умовах вони забезпечують температурний режим і частково – нормативну вологість повітря. Крім цих факторів, потребують підтримання й концентрації аероіонів, що на сьогодні практично неможливо у автоматичному режимі. Крім того, на цей параметр впливає низка випадкових і змінних чинників. Це наявність у повітрі приміщень дрібнодисперсної субстанції – пилу та аерозолей. Особливо це критично для приміщень спеціального призначення, таких як приміщення диспетчеризації житлових комплексів та сховищ цивільного захисту. У приміщеннях диспетчеризації розташовано багато контрольного обладнання та перебуває персонал, який виконує відповідальні функції. У сховищах цивільного захисту через скупчення людей генерується велика кількість аерозолей через їх дихання. При цьому такі приміщення зазвичай розташовуються в напівпідвальних або підвальних приміщеннях з мінімальними функціональними системами

примусової вентиляції або природної вентиляції. Прогнозування змін усіх параметрів середовища таких приміщень потребує теоретичного обґрунтування та експериментальних досліджень. Такі дослідження можуть бути використані для проектування або облаштування приміщень спеціального призначення.

### Стан питання

Мікрокліматичні параметри середовища регламентуються національними і міжнародними нормативами [1]. Але вони стосуються приміщень загального призначення. В Україні чинний норматив щодо приміщень сховищ цивільного захисту [2]. В усіх цих документах висуваються вимоги до конкретних параметрів з посиланням на інші будівельні санітарні норми [3]. Але цей норматив на сьогодні переглядається через недостатню обґрунтованість деяких технічних рішень, зокрема, для нестандартних об'єктів та приміщень. Вдосконаленню засобів нормалізації мікрокліматичних параметрів середовища присвячено багато досліджень. Зокрема, це стосується нестандартних будівель [4]. У цих роботах визначено вплив організації вентиляції на температуру і відносну вологість повітря. Втім у багатьох випадках відсутня обґрунтованість саме запропонованих режимів вентиляції. У дослідженні [5] визначено можливість нормалізувати аероіонний режим приміщень засобами штучної іонізації повітря. Перевагою роботи є визначення ступенів деіонізації повітря аерозолями та керування цими параметрами. Дослідження [6] пропонує засоби керування якістю повітря у приміщеннях інно-

ваційним пристроєм іонізації та зволоження повітря. Його перевагою є відсутність побічних ефектів (генерація сполук азоту та озону) та керованість переважних полярностей іонів. Але поза увагою залишаються необхідні продуктивності іонізаторів, виходячи з наявних чинників деіонізації. Це ж стосується дослідження [7]. Такі чинники можуть бути неоднозначними. За наявності деяких технічних засобів та розташування приміщень, додаткова іонізація може виникати через електричний розряд та проникнення радону. Останнє актуально для напіввідвальних та підвальних приміщень [8]. Але на сьогодні недостатньо досліджено зв'язки мікрокліматичних параметрів з наявністю аерозолей. Утворення аерозолей досліджується, в основному, з точки зору абсорбції ними шкідливих речовин у довкіллі [9]. Але актуальною задачею є визначення зв'язку механізмів переносу аерозолей з режимами вентиляції та оптимізація цих процесів. Наведене вимагає проведення певних теоретичних досліджень з метою оптимізації цих процесів та забезпечення нормативних умов перебування людей у приміщеннях спеціального призначення.

**Мета роботи** – розробити практично значущі теоретичні засади підтримання належних мікрокліматичних параметрів у приміщеннях спеціального призначення та верифікувати отримані результати.

### Викладення основного матеріалу

На сьогодні підтримання температурного і вологісного режиму приміщень будь-якого призначення добре опрацьовано, але за обмежених просторів та наявності великої кількості людей ці співвідношення можуть бути неоднозначними. У багатьох випадках це обумовлене наявністю у повітрі аерозолей, які змінюють співвідношення вмісту вологи, за даної температури і поглинають аероіони. Швидкості осідання (седиментацію) аерозолей можна оцінити з рівняння Стокса. Але сам по собі без прив'язки до конкретних умов такий підхід не дає практичного результату. Тому доцільно оцінити основні параметри, які впливають на шукані показники. Треба враховувати, що у будь-яких системах вентиляції забезпечується максимально можлива ламінарність потоку повітря, тобто  $Re < 1$ . Також вважаємо, що аерозольні частинки мають сферичну форму і рухаються по однорідному повітряному потоці. Рівняння руху частинки в цьому випадку відповідає співвідношенню.

$$m \frac{dv}{dt} = 3\pi\mu d(v_n - v_r) + mg,$$

де  $m$  – маса частинки,  $v_r$  – швидкість частинки,  $v_n$  – швидкість повітряного потоку,  $d$  – діаметр частинки,  $\mu$  – динамічна в'язкість повітря. Це рівняння можна перетворити на співвідношення:

$$\tau \frac{dv}{dt} + v_r = v_n + \tau g, \text{ де } \tau = \frac{m}{3\pi\mu d}.$$

Цей показник уявляється важливим і характеризує, з якою швидкістю частинка аерозолу набуває швидкості повітряного потоку. Він вимірюється у секундах і показує, за який час частинка починає рухати зі швидкістю повітря за наявності повітрообміну. Відомо, що аерозольні частинки, які утворюються під час дихання, мають час життя у нерухомому повітрі до 9 годин. При

цьому вони інтенсивно поглинають аероіони непередбачуваної полярності [5]. Підвищення повітрообміну знижує час перебування частинок у повітрі до кількох хвилин. Час релаксації можна отримати як

$$\tau = \frac{d^2(\rho_e - \rho_n)}{18\mu},$$

де  $\rho_r$  та  $\rho_n$  – густини аерозольної частинки та повітря.

$$\text{Враховуючи, що } \rho_n \ll \rho_r: \tau = \frac{d^2}{18\mu} \rho_r.$$

Якщо стоківський опір руху дорівнює силі тяжіння, можна приблизно оцінити швидкість осідання. Але для точного визначення стаціонарного показника осідання  $\tau_0$  необхідно враховувати прискорення та уповільнення аерозольних частинок. Швидкість досягнення стаціонарного показника осідання визначається чинником  $e^{-t/\tau}$ . Наприклад, для нормальних умов ( $101 \cdot 10^3$  Па та  $20$  °С) для сферичної водяної частинки відповідні показники наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Залежність часу релаксації та швидкості осідання від діаметрів аерозольних частинок

d, мкм	$\tau$ , с	$\tau_0$ , с
0,05	$4,00 \cdot 10^{-8}$	$2,8010^{-7}$
0,10	$9,15 \cdot 10^{-8}$	$6,40 \cdot 10^{-7}$
0,50	$1,03 \cdot 10^{-6}$	$7,20 \cdot 10^{-6}$
1,00	$1,56 \cdot 10^{-6}$	$2,50 \cdot 10^{-5}$
5,00	$7,87 \cdot 10^{-5}$	$5,50 \cdot 10^{-4}$
10,00	$7,10 \cdot 10^{-4}$	$2,20 \cdot 10^{-3}$
50,00	$7,64 \cdot 10^{-3}$	$2,30 \cdot 10^{-2}$

Як видно, частинки розмірами до 1 мкм дуже швидко прискорюються або уповільнюються до стаціонарного показника осідання. В даному випадку вважалось, що аерозольні частинки складаються з води, що відповідає умові їх виникнення внаслідок дихання людей. Вище зазначалося, що співвідношення температури і відносної вологості повітря не завжди однозначне. Вимірювання упродовж кількох годин у приміщенні зі стандартною системою охолодження повітря наведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Залежність відносної вологості повітря від температури у приміщенні при відсутності повітрообміну

t, °С	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$\phi$ , %	32	35	37	38	40	43	45	46	48	51	54

Наведені результати відповідають умовам відсутності повітрообміну і людей у приміщенні. Отримані дані свідчать, що за оптимальних температур відносна вологість перебуває на мінімальній межі. Цей показник підвищується внаслідок перебування людей, але одночасно відбувається деіонізація повітря через осідання аероіонів на аерозольній частинці. У вентиляваному приміщенні можна розрахувати швидкість потоків повітря для видалення аерозолей, що має позитивний ефект. Але при цьому змінюється і відносна вологість повітря та знижуються концентрації аероіонів. Тому доцільно застосувати штучну іонізацію повітря. Найбільш прийнятним є ультразвуковий іонізатор повітря [10]. Такий іонізатор іонізує й частково підвищує вологість

повітря. Іонізація відбувається за рахунок балоелектричного ефекту і не дає небажаних побічних ефектів. Результати експериментальної нормалізації мікрокліматичних показників наведено у табл. 3.

**Таблиця 3 – Зміна концентрацій іонів і відносної вологості повітря при ультразвуковому розпиленні води упродовж 3 годин**

T, h	t, °C	φ, %	n, cm <sup>-3</sup>	
			n-	n+
0	23,0	43	320	390
1	22,5	46	720	660
2	22,0	50	1120	960
3	21,0	55	1450	1120

Наведені дані свідчать, що підвищення концентрації аероіонів в обох полярностях разом з відотною вологістю повітря відбувається поступово і рівномірно. Для часткового очищення повітря від аерозолей, які утворилися наслідок дихання людей і можуть нести хвороботворні бактерії, доцільно здійснювати штучну вентиляцію повітря з урахуванням стаціонарного показника осідання. Слід враховувати, що за реальних концентрацій іонів у повітрі (табл. 2) взаємодія аерозольних частинок з іонами не впливає на осідання частинок на поверхні через незначну напруженість електричного поля зарядів.

Експериментальне визначення змін концентрації аерозолей у повітрі складне через їх малі розміри і рідинну основу. У стаціонарних умовах закон зниження концентрації відповідає експоненціальній залежності. Слід враховувати, що у реальних (нормативних) умовах швидкість повітряного потоку не перевищує 0,1 м/с. Тому наведені співвідношення достатньо точно відповідають середовищу, яке рухається у просторі зі сталою швидкістю. Але це спрощення може бути неприйнятним для деяких задач, пов'язаних з динамікою аерозолей, наприклад, у каналах вентиляції. Обирання рівнянь для розрахунків руху частинок ускладнюється через неможливість точно описати розподіли повітряних потоків. Це особливо стосується приміщень спеціального призначення зі складною системою вентиляції, що притаманне, наприклад, пристосованим сховищам цивільного захисту. Не дивлячись на те, що наведені рівняння стосуються одномірного випадку зі зростанням числа Рейнольдса нелінійність сили опору буде змінювати кінцеві результати. Тому у процесі проєктування систем життєзабезпечення приміщень спеціального призначення необхідно намагатися створити умови руху повітряних потоків з малими числами Рейнольдса. Слід враховувати, що на півпідвальних та підвальних приміщеннях можуть спостерігатися концентрації аероіонів вищі за показники зовнішнього повітря, яке подається системою вентиляції. Вимірювання каліброваним вимірювачем концентрації радону AlphaE свідчить, що за активності 80–100 Бк/м<sup>3</sup>, концентрації аероіонів обох полярностей склали 1100–1200 см<sup>-3</sup>. При цьому зовнішнє повітря за відсутності техногенних впливів – 500–600 см<sup>-3</sup>. Через те, що радон має α-розпад, його присутність неможливо визначити поширеними приладами радіаційного контролю. Тому за відсутності спеціального обладнання про присутність радону можна отримати ін-

формацію з порівнянням показника приміщення за відсутністю примусової та природної вентиляції з показниками зовнішнього повітря. Слід зазначити, що забезпечення нормативних мікрокліматичних показників у приміщеннях спеціального призначення – комплексна і багатопланова задача. Її вирішення у кожному окремому випадку може мати певні особливості. Це наявність електростатичних полів, які виникають внаслідок трибоелектричного ефекту, дрібнодисперсного пилу через пересування людей тощо. Потужне електричне обладнання може генерувати магнітні поля, які викликають дрейф всіх заряджених частинок. Тому на етапі проєктування відповідних організаційно-технічних заходів необхідним є аналіз переліку обладнання, яке планується для використання параметрів внутрішнього і зовнішнього середовища, електромагнітного оточення тощо.

### Висновки

1. Визначено, що для підтримання нормативних показників мікроклімату у приміщеннях спеціального призначення необхідно врахувати низку додаткових параметрів. Це обумовлено генерацією аерозолей внаслідок дихання людей у обмежених просторах, складністю вентиляційних систем, можливим надходженням радону.

2. Запропоновано простий у використанні розрахунок часу релаксації частинок аерозолей та показника осідання частинок. Надано значення цих параметрів у залежності від діаметрів аерозольних частинок для нормальних умов.

3. Наведено експериментальні дані щодо зміни відносної вологості повітря у залежності від температури. Встановлено, що у обмежених просторах оптимальні співвідношення температури й вологості повітря можуть відрізнятися. Отримані дослідні дані щодо застосування ультразвукового іонізатора повітря для нормалізації концентрацій аероіонів та відносної вологості повітря для нормального температурного режиму.

4. Розрахунки і визначення змін мікрокліматичних параметрів здійснювалося за умови ламінарності повітряних потоків з малими числами Рейнольдса. У реальних умовах стаціонарність потоків може порушуватися. Крім того, на мікрокліматичні параметри можуть впливати додаткові чинники – електростатичні і магнітні поля, які викликають осідання й дрейф усіх заряджених частинок. У підвальних та напівпідвальних приміщеннях може накопичуватися радон. Його визначення складне, але про наявність радону може свідчити підвищена іонізація повітря, порівняно з зовнішнім повітрям.

**Конфлікт інтересів.** Автори декларують, що не мають конфлікту інтересів стосовно даного дослідження, в тому числі фінансового, особистісного характеру, авторства чи іншого характеру, що міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в даній статті.

**Використання засобів штучного інтелекту.** Автори підтверджують, що не використовували технології штучного інтелекту при створенні представленої роботи.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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/>
2. ДБН В.2.2-5:2023. Будинки і споруди. Захисні споруди цивільного захисту. – Затверджено Наказом Мінрегіону України № 702 від 10.08.2023. – Чинний з 01.11.2023. – Діє зі Зміною № 2 з 01.04.2025. – Київ: Міністерство розвитку громад і територій України, 2023, URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=104666](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=104666)
3. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. Наказом 25.01.2013 № 24 Про затвердження ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. Наказом від 28.08.2013 р. № 410 дата введення в дію змінена на 01.01.2014 р., URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=50154](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=50154)
4. 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>
5. Tykhenko, O., Glyva, V., Levchenko, L., Burdeina, N., Biruk, Y., Zozulya, S., Krasnianskyi, G., Nikolaiev, K., Aznaurian, I., & Zozulia, L. (2024). Study of air deionization factors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(10 (128)), 26–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300909>
6. Volibrukh, B., Glyva, V., Kasatkina, N., Levchenko, L., Tykhenko, O., Panova, O., Bogatov, O., Petrunok, T., Aznaurian, I., & Zozulya, S. (2022). Monitoring and management ion concentrations in the air of industrial and public premises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(10(115)), 24–30. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253110>
7. Ченчевой В.В., Сукач С.В., Ченчева О.О., Федорова Н.С., Григор'єва Д.С. Дослідження параметрів гідроаеріонного складу повітря робочого приміщення з ультразвуковою іонізацією. Вісті Донецького гірничого інституту. 2020. Вип. № 2(47). С. 168–174. <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2020-2-168-175>
8. 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>
9. Kirkby, J., Amorim, A., Baltensperger, U., Carslaw, K. S., Christoudias, T. et al. (2023). Atmospheric new particle formation from the CERN CLOUD experiment. *Nature Geoscience*, 16 (11), 948–957. <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01305-0>
10. Ультразвуковий іонізатор повітря: пат. України 138020, МПК G12B 17/00. Заявл. 23.05.2019, опубл. 11.11.2019. Бюл. № 21. 2 с. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1391281/>

Received (Надійшла) 31.01.2026

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.04.2026

Publication date (Дата публікації) 22.05.2026

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Глива Валентин Анатолійович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри фізики, Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ, Україна;

**Valentyn Glyva** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Physics, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine;

e-mail: [hlyva.va@knuba.edu.ua](mailto:hlyva.va@knuba.edu.ua), ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0003-1257-3351>;

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57210185162>.

**Галонько Ярослав Орестович** – аспірант кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна;

**Yaroslav Halonko** – PhD student at the Department of Environmental Protection Technologies and Labour Protection, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine;

e-mail: [halonko\\_yo-2024@knuba.edu.ua](mailto:halonko_yo-2024@knuba.edu.ua), ORCID Author ID: <https://orcid.org/0009-0000-4932-4338>.

### Theoretical and experimental approaches to ensuring microclimatic parameters in special-purpose premises

Valentyn Glyva, Yaroslav Halonko

**Abstract.** Based on an analysis of the current regulatory framework and scientific research, it has been established that conceptual approaches to ensuring microclimatic parameters in special-purpose premises need to be refined. Such premises include dispatch and control rooms and civil defence shelters of various types and designs. Control rooms contain a large amount of monitoring and control equipment, and shelters can have large crowds of people, which affects environmental parameters. In such conditions, a large amount of aerosols is generated. An easy-to-use calculation of the main indicators of aerosol dynamics depending on the air velocity caused by ventilation is proposed. The particle relaxation coefficient is determined – the time it takes for them to reach the air flow velocity. The steady-state particle settling rate is calculated. The use of an ultrasonic air ioniser is proposed. It has been experimentally determined that the use of an ultrasonic air ioniser normalises the concentrations of air ions of both polarities and the relative humidity of the air. At the same time, due to the directed movement of air at a standard speed, aerosols formed as a result of breathing and which may contain pathogenic bacteria are removed. In real conditions, air flows may be partially unsteady. This is especially true for special-purpose premises with complex natural and forced ventilation systems. It has been shown that radon can accumulate in basements and semi-basements. Determining its presence is difficult and requires special equipment. Its presence may be indicated by an increased concentration of air ions compared to concentrations in the outside air. Ensuring standard microclimate indicators in special-purpose rooms is a complex task. Its solution depends on various additional influencing factors – electrostatic magnetic fields, air deionisation in ventilation ducts, etc. Therefore, at the stage of designing organisational and technical measures to ensure the necessary parameters, it is necessary to monitor the initial conditions in specific rooms, determine the list of basic equipment operated in such rooms, and estimate the predicted conditions for human presence.

**Keywords:** microclimate, storage facility, aerosols, air ions, radon.