

УДК 504.064.2

## Оцінка впливу систем вентиляції на мікробіологічну безпеку та мікрокліматичні умови приміщень

Т. І. Кривомаз<sup>1</sup>, Д. В. Варавін<sup>2</sup>, Р. В. Сіпаков<sup>3</sup>, Р. С. Кузьмішина<sup>4</sup>,

<sup>1</sup> д.т.н., проф. Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Україна, [ecol@i.ua](mailto:ecol@i.ua),  
ORCID: 0000-0002-4161-9702

<sup>2</sup> асп. Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Україна, [d.varavin@icloud.com](mailto:d.varavin@icloud.com),  
ORCID: 0000-0002-4161-9702

<sup>3</sup> асп. Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Україна, [r.sipakov@icloud.com](mailto:r.sipakov@icloud.com),  
ORCID: 0000-0002-0862-5043

<sup>4</sup> студ. Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Україна, [kuzmishuna02raisa@gmail.com](mailto:kuzmishuna02raisa@gmail.com)

*Анотація. Проаналізовано ключові аспекти впливу мікробіологічного забруднення на системи вентиляції і кондиціонування повітря, мікроклімат приміщень та здоров'я людей. Кількісний і якісний склад мікрофлори приміщень залежить від їхнього функціонального призначення, конструктивних особливостей, умов експлуатації, клімату та інших факторів, серед яких суттєве значення має спосіб вентиляції. Особливу небезпеку становлять зволожувачі систем кондиціонування повітря, які мають достатньо води для життєдіяльності і розмноження бактерій і грибків. Крім того, в системах вентиляції накопичуються забруднювачі, що служать субстратом для живлення мікроорганізмів. Багатоповерхові адміністративно-громадські та житлові будівлі, промислові споруди та інші місця масового скупчення людей – це зони підвищеної аеробіологічної небезпеки поширення інфекцій. Системи кондиціонування повітря й вентиляції при неправильній експлуатації можуть стати джерелами поширення мікроорганізмів у будь-яких приміщеннях. Передача інфекційного аерозолю на великі відстані відбувається у людних приміщеннях з поганою вентиляцією. Ключовим фактором для спалаху інфекції є напрямок повітряного потоку. В умовах пандемії COVID-19 організації та міжнародні установи щодо контролю за розповсюдженням SARS-CoV-2 у приміщеннях рекомендують обмежувати рециркуляцію відпрацьованого повітря, хоча наразі ще недостатньо даних для однозначного з'ясування ролі систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря у поширенні інфекції. Оцінка ризику та рішення щодо вибору систем кондиціонування повітря повинні бути динамічними та базуватися на масштабах розвитку пандемії, а також на верифікації характеристик систем та їхньої ефективності.*

*Ключові слова: мікробіологічне забруднення, мікроклімат, система вентиляції, екологічна безпека.*

**Вступ.** Більшу частину життя люди проводять у будівлях, де зажди присутні мікроорганізми – патогенні, умовно-патогенні або нейтральні. У більшості випадків їхній вплив на мешканців та мікроклімат приміщень залишається недостатньо дослідженим. Позбутися навколишньої мікрофлори неможливо. Однак, можливо вплинути на її видовий склад і кількісне співвідношення. Для цього необхідно знати, які чинники впливають на мікробні асоціації будівель.

Кількісний і якісний склад мікрофлори приміщень залежить від їхнього функціонального призначення, конструкційних особливостей, умов експлуатації, клімату та інших факторів, серед яких суттєве значення має спосіб вентиляції. Системи вентиляції та кондиціонування повітря повинні покращувати стан повітря в приміщеннях і позитивно впливати на здоров'я. Однак, за певних умов вони не лише не покращують показники внутрішнього середовища, але і служать джерелом небезпечних для здоров'я мікроорганізмів.

Особливо ця проблема набуває актуальності під час пандемії COVID-19, коли люди виму-

шені ще більше часу проводити у закритих приміщеннях. При цьому якість мікроклімату виходить на перший план. Ефективне функціонування систем вентиляції та кондиціонування повітря задля дотримання високих стандартів якості внутрішнього повітря забезпечують комфорт та сприяють збереженню здоров'я населення.

**Актуальність дослідження.** Робота вентиляційних установок, що визначають якість повітря, повинна знаходитися під постійним мікробіологічним контролем. Тому в останні роки багато уваги приділяється обстеженню мікрофлори систем вентиляції та кондиціонування приміщень.

Серед загальної кількості випадків корозійного руйнування обладнання теплоенергетики та кондиціонування повітря в умовах експлуатації понад 50 % обумовлено життєдіяльністю корозійно-агресивних мікроорганізмів [5]. Якщо сульфатредуцентні і тіонові бактерії потрапляють до систем вентиляції та теплогазопостачання, вони не лише забруднюють охолоджувальні системи і знижують теплопередачу, але й викликають корозію

матеріалів обладнання [11].

Фінансові збитки від мікробіологічної корозії у Великобританії кожен рік становлять щонайменше 1200 млн. фунтів стерлінгів [7]. У США щорічні втрати від мікробіологічної корозії трубопроводів тільки під дією анаеробних сульфатредуцентних бактерій оцінюються у 2000 млн. доларів [8].

У системах механічної вентиляції та кондиціонування повітря за певних обставин можуть створюватись умови, сприятливі для зростання потенційно патогенних мікроорганізмів, які викликають захворювання органів дихання та алергії. Профілактичні заходи передбачають регулярні процедури технічного обслуговування обладнання, очищення всіх водовмісних елементів від біоцидів та заміну фільтрів [5].

У зв'язку з пандемією COVID-19 активно досліджується повітряна трансмісія SARS-CoV-2. На сьогодні немає достатньо даних для однозначного з'ясування ролі систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря у поширенні COVID-19 [7]. Однак, у ряді європейських країн уже опубліковано технічні вказівки щодо обмеження роботи систем кондиціонування повітря та рециркуляції відпрацьованого повітря [11]. Проте обмеження використання кондиціонерів та систем опалення може створити тепловий дискомфорт і негативно вплинути на здоров'я та продуктивність праці.

У зв'язку з зазначеним, оцінка мікробіологічних ризиків зараження, пов'язаних з використанням систем вентиляції, набуває особливої актуальності для прийняття правильних рішень і забезпечення належного стану екологічної безпеки в приміщеннях.

**Останні дослідження та публікації.** Уперше увагу на проблему мікробіологічного забруднення вентиляційних систем звернули у 1976 р., коли під час з'їзду Американського легіону у Філадельфії (США) на пневмонію захворіло 221 учасник, 34 з яких померло. Згодом з'ясувалося, що спалах інфекції викликали бактерії, виділені із охолоджувальної рідини кондиціонерів. Тому в пам'ять загиблих учасників з'їзду вони отримали назву *Legionella*.

Природним резервуаром представників цього роду бактерій слугують прісні водойми. Але *Legionella* також освоїла штучну нішу систем кондиціонування повітря і вентиляції. Там циркулює вода оптимальної температури, а дрібнодисперсний аерозоль сприяє поширенню техногенної інфекції. Патогенними для людей є 17 з 41 видів *Legionella*. При цьому 90 % легіонельозів пов'язують з видом *L. pneumophila*, а інші випадки спричинені видами *L. micdadei*,

*L. longbeuchae*, *L. dumoffii* та *L. Bozemanii* [4].

Згадані бактерії висіваються з рідин:

- кондиціонерів;
- промислових і побутових систем охолодження;
- систем питної води;
- басейнів;
- бойлерних і душових установок;
- обладнання для респіраторної терапії;
- акваріумів;
- водограїв.

Ці аеробні, грамнегативні, внутрішньоклітинні патогени часто колонізують гумові поверхні, наприклад, шланги водопровідного, медичного і промислового обладнання.

Слід підкреслити, що незважаючи на широке розповсюдження, епідемічної небезпеки дана інфекція практично не представляє. Так, протягом 1949–2015 рр. із 47 повідомлень зафіксовано 805 випадків легіонельозів, дев'ять з яких виявились летальними [10]. Профілактика цього захворювання не передбачає ніяких особливих санітарно-епідемічних заходів крім звичайної санітарної обробки обладнання. Але бактерія може зберігатись у важкодоступних частинах конструкцій.

Однак, обмежувальні заходи, пов'язані з пандемією COVID-19, викликали додаткову небезпеку через застій води в трубопровідних системах громадських та виробничих приміщень, які були закриті на час карантину. Внаслідок цього створились умови, що сприяють розмноженню патогенних бактерій, серед яких представники роду *Legionella*. Зафіксовано випадки виникнення відповідних інфекцій, пов'язаних з використанням водних систем [8]. У зв'язку з цим виникає необхідність заходів моніторингу та знезараження систем водопостачання, вентиляції та кондиціонування повітря безпосередньо перед відкриттям будівель після карантину.

Викликає занепокоєння і безпосереднє поширення вірусу SARS-CoV-2 через системи циркуляції повітря. Результати, отримані внаслідок досліджень попередніх епідемій коронавірусів, свідчать про небезпеку шляхів зараження через конструктивні дефекти або розрегулювання системи розподілу повітря з незбалансованою витратою в припливних і витяжних пристроях. При цьому виникає позапроектне перетікання повітря між приміщеннями.

Більшість з цих фактів було зібрано під час епідемії MERS. Поки невідомо, чи розповсюджується аналогічним чином вірус SARS-CoV-2. Водночас шість із семи досліджень респіраторних вірусних інфекцій довели, що системи кондиціонування повітря відіграли роль

у розповсюдженні захворювань.

Системи кондиціонування повітря, правила та вимоги до їхнього технічного обслуговування можуть різнитися поміж країнами. Тому наявні дослідження поки що не узагальнено. Наразі неможливо аргументовано довести забруднення систем вірусними частинками SARS-CoV-2. [7]. З іншого боку, накопичені знання про новий SARS-CoV-2 свідчать про те, що він має вищу аерозольну та поверхневу стабільність, ніж SARS-COV-1. Він може залишатися життєздатним та інфекційним в аерозолі протягом годин [9]. Експериментальні дослідження показали, що аерозольні частинки SARS-CoV-2 залишаються у повітрі не менше трьох годин зі збереженням життєздатності до однієї години в повітрі та до доби на поверхнях [6]. Період напіввиведення вірусних частинок може бути різним залежно від метеорологічних умов, які можуть послабити вірус [7]:

- температура;
- відносна вологість;
- ультрафіолетове випромінювання.

Передача інфекційного аерозолу на великій відстані відбувається у людних приміщеннях з поганою вентиляцією. Ключовим фактором для спалаху інфекції є напрямок повітряного потоку. Таким чином, належні мікрокліматичні умови в будівлях мають велике значення для здоров'я мешканців, працівників та відвідувачів.

**Формулювання цілей статті.** Мета дослідження – з'ясувати ключові аспекти впливу мікробіологічного забруднення систем вентиляції і кондиціонування повітря на мікроклімат приміщень та здоров'я користувачів.

**Аналіз видового складу мікроорганізмів у повітрі та системах вентиляції.** Мікроорганізми відіграють важливу роль у стані мікроклімату приміщень. Їхня кількість у повітрі будівель перевищує вміст в атмосферному повітрі. Іноді це перевищення досягає сотень разів. Однак, мікрофлора повітря закритих приміщень без систем вентиляції більш одноманітна і відносно стабільна порівняно зі складом мікроорганізмів відкритих просторів. В 1 м<sup>3</sup> повітря житлових приміщень налічують 20 000 мікроскопічних біоб'єктів, серед яких бактерії, грибки та віруси [2]. Їхня життєздатність у повітрі залежить від стійкості до висушування, ультрафіолетового випромінювання та інших факторів. Мікроорганізми активно розмножуються в теплом і вологому середовищі, особливо в затемнених місцях, на різноманітних субстратах і частинках пилу.

У житлових та громадських приміщеннях домінують мешканці носоглотки людини,

зокрема, стрептококи, пневмококи, дифтероїди, стафілококи, в тому числі патогенні види. Вони виносяться назовні в процесі дихання, кашляння і чхання людей.

У повітрі часто виявляються спори аеробних паличок роду *Bacillus*, пігментовані штами бактерій родів *Sarcina* і *Staphylococcus*, а також гриби родів *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rhodotorula* та ін. У домашньому пилу переважають бактерії людської шкіри (*Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Corynebacterium* і *Propionibacterium*), вагіни (*Lactobacillus*, *Bifidobacterium* і *Lactococcus*) і фекалій (*Bacteroides*, *Faecalibacterium* і *Ruminococcus*). При цьому відмічають гендерну спеціалізацію мікрофлори: у будинках, де більше чоловіків, переважають види родів *Corynebacterium*, *Dermabacter* і *Roseburia*, а в «жіночих» будинках – *Lactobacillus*.

Ідентифіковано 56 родів бактерій, наявність яких у будинках пов'язана з присутністю собак, і 24 родів, які свідчать про присутність у помешканнях котів. У домашньому середовищі також трапляються мікроорганізми, характерні для комах – *Wolbachia*, *Buchnera*, *Rickettsia* і *Bartonella*.

Склад мікроорганізмів у безпосередній близькості біля будинків відрізняється від внутрішньої мікрофлори. Ззовні переважають бактерії порядків *Actinomycetales* і *Sphingomonadales* та гриби родів *Cladosporium* і *Toxicocladosporium* [1]. При цьому відмінності більш характерні для бактерій, ніж для грибів.

Більшість останніх потрапляє до будівель ззовні. Тому 65 % видів грибів трапляються і в будинку і в навколишньому середовищі. Загалом видова різноманітність мікрофлори в будинку приблизно на 50 % вище, ніж ззовні.

На відміну від бактеріальної, мікофлора внутрішніх приміщень відрізняється меншою різноманітністю, ніж зовні. Мікроскопічні гриби здатні викликати цілий спектр захворювань, особливо дихальних шляхів, які важко визначаються і лікуються. При цьому тимчасові нездужання і хронічні хвороби можуть викликати не тільки мікроміцети, а й токсичні продукти їхнього метаболізму. Навіть якщо летючі органічні сполуки грибів мають відносно низьку токсичність, вони можуть спричиняти головний біль, відчуття дискомфорту і гострі порушення дихання.

Характерними представниками в будинках є види родів *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* і *Fusarium*, а також деякі дереворуйнівні гриби – *Stereum*, *Trametes*, *Phlebia* і *Ganoderma*. «Домашніми» можна вважати гриби, що живуть на шкірі та слизових поверхнях людей. Такими є

*Candida* і *Trichosporon*, а також дріжджі *Saccharomyces*. Більшість з них нешкідливі. Однак, *Aspergillus flavus* утворює гепатотоксичні сполуки – афлатоксини. Такі речовини можуть викликати масові отруєння і ряд небезпечних захворювань людини. У повітрі приміщень частіше зустрічаються *Aspergillus versicolor*, *Penicillium aurantiogriseum*, *P. viridicatum*) і *Trichoderma* [1]. Розвиток грибів у приміщеннях насамперед залежить від мікрокліматичних показників вологості, температури, запилення, вентиляції та теплоізоляції.

Зазвичай гриби розвиваються в темних, сирих і непродіряваних місцях з відповідними субстратами. Крім того, видовий мікологічний склад залежить від географічного положення будинку і кліматичних умов місцевості.

Дослідження розвитку мікрофлори у квартирах нових будинках не виявили значних змін концентрації або типів мікробіологічного забруднення між першим та другим роками заселення. Проте підвищення вологості та зниження температури зовнішнього повітря, а також вітри з північного сходу сприяли підвищенню концентрації бактерій та грибів.

При порівнянні зразків повітря з кухонь, віталень, спалень та ванних кімнат не виявлено значних відмінностей у концентраціях повітряної мікрофлори, незважаючи на значну популяцію бактерій і дріжджів на вологих поверхнях кухонь і ванних кімнат.

Середня концентрація бактерій у повітрі становила 98 КУО/м<sup>3</sup> (26...372 КУО/м<sup>3</sup>) у приміщенні та 101 КУО/м<sup>3</sup> (28...364 КУО/м<sup>3</sup>) ззовні. КУО – колонієутворювальні одиниці, що визначаються як число колоній на агаровому живильному середовищі, які виростили з відібраних зразків. Середня концентрація грибків у повітрі становила 198 КУО/м<sup>3</sup> (58...673 КУО/м<sup>3</sup>) у приміщенні та 362 КУО/м<sup>3</sup> (113...1158 КУО/м<sup>3</sup>) на відкритому повітрі [6].

Дослідження мікробіологічного забруднення повітря в різних приміщеннях університетських будівель у Познані (Польща) виявили, що в усіх місцях у другій половині дня спостерігалось збільшення кількості бактерій та грибних спор. Очевидно, що це корелює із циркуляцією потоків студентів і викладачів.

Найчастіше у зразках повітря траплялися представники родів бактерій і грибів *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Serratia*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Cladosporium* та *Alternaria*. Серед виявлених мікроорганізмів було відзначено наявність патогенних та алергенних видів [11].

Штами бактерій, що утворюються в лікарнях, відрізняються надзвичайною агресивністю і стійкістю до більшості антибіотиків.

У повітрі лікарняних приміщень домінують золотистий стафілокок і стрептококи у співвідношенні 70 % до 30 % відповідно.

Метицилінрезистентний *Staphylococcus aureus* став причиною смертоносної епідемії серед немовлят у пологових відділеннях багатьох розвинених країн. А у дорослих пацієнтів цей штам стафілококу підвищує ймовірність летального результату на 64 %, ніж у носіїв звичайної форми цієї бактерії. Цей та інші інфекційні штами зародилися і поширилися саме в лікарнях, причому в умовах найбільш суворої гігієни. При цьому ризик інфікування поширюється не тільки на пацієнтів, але й на лікарів і обслуговувальний персонал лікарень [3].

З іншого боку, у приміщеннях, де не дотримуються санітарних вимог, бактеріальна забрудненість повітря зростає за рахунок інших патогенних видів *Staphylococcus*, *Streptococcus pyogenes*, *Pseudomonas aeruginosa* і бактерій групи *Escherichia coli*, якщо концентрація останніх досягає 100 КУО/м<sup>3</sup> [2].

У частинках пилу приміщень патогенні бактерії можуть зберігати життєздатність і контагіозність дуже довгий час:

- гемолітичний стрептокок – 2-3 місяці;
- бруцели – від 20 до 70 днів;
- *Mycobacterium tuberculosis* – до року.

Віруси застуди та грипу можуть виживати протягом 18 годин на твердих поверхнях [3]. Вважають, що запиленість приміщень має велике значення у виникненні спалахів бактеріальних інфекцій та поширенні збудників мікозів, зокрема гістоплазмозу і кокцидіодомікозу. Можливість зараження пиловими частинками, що містять патогенні мікроорганізми, доведена для туберкульозу, сибірської виразки, бруцельозу, Ку-лихоманки, туляремії, дифтерії та ін.

Слід підкреслити, що зазвичай бактерії в повітрі більшості приміщень не становлять небезпеки для здоров'я. Адже серед них домінують грам-позитивні мікроорганізми, які мешкають на шкірі і в верхніх дихальних шляхах здорових людей. Однак, якщо концентрація мікроорганізмів значно підвищена, це свідчить про надмірну скупченість людей, недостатню санітарію та погану вентиляцію приміщень.

Таким чином, кількісний та якісний склад мікроорганізмів у громадських місцях залежить від щільності і активності руху людей, а також від санітарного-технічного стану приміщень. Останній визначається вентиляцією, частотою провітрювання, запиленістю, якістю прибирання, вологістю, освітленістю та іншими фа-



кторами.

Сучасні багатоповерхові адміністративно-громадські та житлові будівлі, промислові споруди та інші місця масового скупчення людей – це зони підвищеної аеробіологічної небезпеки поширення інфекцій. При цьому системи кондиціонування повітря й вентиляції при неправильній експлуатації можуть стати джерелами поширення мікроорганізмів у будь-яких приміщеннях. Темне, вологе й тепле середовище вентиляційних каналів вважається ідеальним для підтримання життєздатності більшості мікроорганізмів.

Особливу небезпеку становлять зволожувальні компоненти систем кондиціонування повітря. Вони забезпечують бактерії та гриби водою, необхідною для життєдіяльності й розмноження. Крім того, у системах вентиляції й кондиціонування повітря накопичуються забруднювачі, що слугують субстратом для живлення мікроорганізмів. Разом з повітрям до систем вентиляції потрапляють будь-які зважені частинки з приміщень:

- побутовий або будівельний пил;
- шерсть тварин;
- волосся людей;
- ворс від одягу та килимових покриттів.

На стінки вентиляційних каналів налипають жирові відкладення, багаті поживними речовинами для розвитку мікроорганізмів.

Саме по собі повітря не є живильним середовищем для мікроорганізмів, але слугує засобом їхнього переміщення. Потoki повітря переносять спори грибів, бактеріальні клітини та інші мікроскопічні частинки і біоб'єкти. Однак, системи вентиляції й кондиціонування повітря служать для цього зручними транспортними шляхами.

Життєздатність мікроорганізмів у повітрі забезпечують зважені частинки води, слизу та пилу. У повітрі мікроорганізми знаходяться у стані аерозолі. Це – суспензія мікробних клітин, адсорбованих на пилових частинках, або скомпонованих у «краплинні ядра».

Зазначені частинки мають розмір від 0,001 до 100 мкм, які представлені трьома основними фазами. У крапельній (великоядерній) фазі клітини мікроорганізмів оточені водно-сольковою оболонкою. Діаметр такої частки становить в середньому 0,1 мм. Вона знаходиться в повітрі всього кілька секунд і переміщується зі швидкістю приблизно 30 см/с [4].

Дрібні крапельки аерозолі висихають і залишаються в повітрі в підвішеному стані. Вони утворюють стійку аеродисперсну систему, де частково зберігається волога, що підтримує життєздатність мікроорганізмів. При

висиханні цих частинок утворюється дрібно-ядерна фаза. У ній діаметр не перевищує 0,05 мм.

Швидкість осідання цих часток становить 0,013 см/с. При цьому вони здатні швидко переміщуватися на великі відстані. Саме ця фаза виявляє найбільшу епідеміологічну небезпеку. Таким шляхом поширюється більшість збудників повітряно-крапельних інфекцій, особливо малостійких до зовнішніх впливів (наприклад, збудник коклюшу).

Третя фаза складається з більш великих часток, розмір яких варіює від 0,01 до 1 мм. Швидкість переміщення залежить від швидкості повітряних потоків. Цей «бактеріальний пил» осідає на різних предметах. Він служать джерелом інфекцій, особливо у випадку стійких до висушування біоб'єктів – мікобактерій, кластридій, стафілококів, стрептококів, грибних спор.

Найбільш небезпечними є частинки з розміром від 0,05 до 5 мкм. Вони затримуються в бронхіолах і альвеолах. Саме ця фракція пилових частинок береться до уваги в сучасній класифікації чистих приміщень.

Частинки з розміром від 10 мкм і більше затримуються у верхніх відділах дихальних шляхів і виводяться з них [2].

Небезпека мікробного аерозолі для здоров'я людей обумовлена не тільки повітряно-крапельним механізмом передачі при ряді інфекційних захворювань. Також небезпечними є алергічні реакції та інтоксикації продуктами мікробного метаболізму.

В 1 г пилу може міститися до 1 млн. біоб'єктів. Бактерії і спори мікроміцетів циркулюють вентиляційними каналами і потрапляють до приміщень. При вдиханні людиною ці частинки служать джерелом респіраторних, інфекційних, алергічних, імунних і небезпечних хронічних захворювань.

Присутність у повітрі великої кількості грамнегативних бактерій або представників *Actinomycetales* свідчить про наявність у приміщеннях поверхонь підвищеної вологості, дренажних пристроїв або зволожувачів систем підігріву, вентиляції та кондиціонування повітря, де і живуть ці мікроорганізми. Небезпечні патогени можуть з'являтися у вентиляції в результаті попадання в шахти тварин, птахів і комах, які служать їх переносниками.

Дослідження систем вентиляції та кондиціонування повітря музейних приміщень виявило 48 видів грибків з 24 родів з відділів *Ascomycota*, *Zygomycota* і анаморфних грибків. Найпоширенішим виявилися види *Penicillium aurantiogriseum*, *Cladosporium herbarum*, *S.*

*sphaerospermum*, *Eurotium repens*, *Aspergillus versicolor* [2]. Джерелом всіх видів грибів, виявлених на фільтрах в вентиляційних каналах, був пил залів і сховищ. Виняток склали лише два види *Penicillium waksmanii* і *Wallemia sebi*, які траплялись виключно на фільтрах систем кондиціонування повітря.

У зволожувальній установці системи кондиціонування повітря було виявлено більше видів мікроміцетів, оскільки тут створюються більш сприятливі умови для розмноження грибків. У лабораторних умовах на поживних середовищах були виділені *Aspergillus ochraceus*, *Chaetomium globosum*, *Cladosporium sphaerospermum*, *Eurotium repens*, *Penicillium aurantiogriseum* [4].

У цілому дослідники відзначають відносно бідність видового складу і невелику кількість багатьох видів у всіх пробах з елементів систем забезпечення мікроклімату музейних приміщень. Це ймовірно пов'язано з конструктивними особливостями систем кондиціонування повітря в музеї.

Коли спори мікроміцетів потрапляють на фільтри вентиляційних установок, вони знаходяться в постійному потоку повітря. Це сприяє їхньому висушуванню й загибелі. Однак, вдихання спор токсикогенних видів грибів становить потенційну небезпеку, зокрема спор *Stachybotrys*. Останні містять високі концентрації надзвичайно сильних мікотоксинів. Ці гриби асоційовані з паперовими шпалерами та іншими матеріалами з вмістом целюлози у вологих приміщеннях.

У ході дослідження порівняння мікробіологічного складу різних систем вентиляції в 15 офісних будівлях найпоширенішими бактеріями виявилися грамозитивні коки (головним чином з родів *Staphylococcus* та *Micrococcus / Kocuria*) та ендоспороутворювальні грамозитивні палички роду *Bacillus*. Серед грибів домінували представники родів *Penicillium*, *Aspergillus* та *Cladosporium*.

Концентрація бактерій і мікроміцетів у природно провітрюваних офісних будівлях становила від 70 до 1600 КУО/м<sup>3</sup>. В офісах, обладнаних системами кондиціонування повітря та механічної вентиляції, концентрації були нижчими – 10...530 КУО/м<sup>3</sup> та 20...410 КУО/м<sup>3</sup> відповідно. Аналіз розподілу за розмірами показав, що мікроорганізми в повітрі представлено переважно поодинокими клітинами (1,1...3,3 мкм) та у формі великих агрегатів (4,7...>7 мкм). Таким чином, ефективні системи механічної вентиляції та кондиціонування забезпечують кращу гігієнічну якість офісних будівель, ніж природна вентиляція [8].

**Рекомендації щодо функціонування систем вентиляції та кондиціонування повітря в умовах пандемії COVID-19.** Найбільш ефективними методами зменшення мікробіологічного забруднення систем опалення, вентиляції і кондиціонування повітря є збільшення швидкості потоку повітря та мінімізація рециркуляції із введенням та обробкою зовнішнього повітря. З появою ефективних теплоутилізаторів відмова від рециркуляції не спричинить значних перевитрат енергії на обробку повітря.

Усі системи повинні бути спроектовано таким чином, щоб уникнути в робочій зоні потоків повітря, які здатні транспортувати краплі та аерозолі на великі відстані. Ефективність фільтрів може бути підвищена за допомогою наноматеріалів [7].

У багатьох закладах охорони здоров'я можливе утворення аерозолів та підвищена мінливість вірусного навантаження у пацієнтів, що зумовлює необхідність пристосування безпеки систем до конкретних потреб. Тому в медичних закладах засоби інженерного контролю мікрокліматичних умов повинні передбачати

- правильно визначений дисбаланс повітря;
- вентиляцію з розведенням потоків;
- високоефективну фільтрацію твердих частинок;
- ультрафіолетове опромінення;
- пристрої для очищення аерозольних забруднень [5].

Профілактика на робочих місцях повинна бути персоналізованою з урахуванням можливості прийняття більш суворих запобіжних заходів за відповідних епідеміологічних обставин. Такими є збільшення кількості випадків інфікування та госпіталізацій.

В інших типах будівель як альтернатива пропонується запровадити місцеву вентиляцію робочих місць місцевими системами [10]. Також у [10] пропонується перехід на природний приплив повітря, хоча це рішення суперечить вимогам енергоефективності і призводить до практично неконтрольованого стану повітряного середовища. Тому остання рекомендація є недоцільною і може лише погіршити ситуацію.

Через неможливість виживання мікроорганізмів при температурі кипіння води перехід на парове зволоження з термічним отриманням пари здатен покращити мікробіологічний стан. Це досягається лише за умови уникнення конденсації вологи в повітроводах. Для цього має бути забезпечено достатню витрату повітря. Подачу пари має бути розпочато лише після виходу вентилятора на розрахункову частоту обертання і повністю припинено до початку зупинення останнього.

При ультразвуковому випаровуванні води температура змінюється незначно, а енергія і частота ультразвуку можуть бути недостатніми для руйнування всіх клітин мікроорганізмів, і, тим паче, вірусів. Тому парові зволожувачі з ультразвуковим випаровуванням можуть становити небезпеку мікробного зараження, як і контактні.

Загалом оцінка ризику та рішення щодо вибору систем кондиціонування повітря повинні бути динамічними та базуватися на масштабах розвитку пандемії, а також на верифікації характеристик систем та їхньої ефективності.

**Висновки.** Ефективне функціонування систем вентиляції та кондиціонування повітря не тільки забезпечує комфорт, але й сприяє збереженню здоров'я населення. Передача інфек-

ційного аерозолію на великі відстані відбувається в людних приміщеннях з поганою вентиляцією. Системи кондиціонування повітря й вентиляції при неправильному налаштуванні або експлуатації можуть стати транспортними шляхами поширення мікроорганізмів. Особливу мікробіологічну небезпеку становлять зволожувачі та накопичення забруднювачів, а також перетікання повітря між різними приміщеннями будівель. Системи природної вентиляції становлять значно більшу небезпеку ніж правильно налаштована механічна. Рекомендується віддавати перевагу паровому зволоженню повітря з термічним отриманням пари та відмовитися від контактного зволоження повітря. При цьому необхідно унеможливити конденсацію пари в повітроводах.

### Література

1. Кривомаз Т. І. Микроорганизмы в наших жилищах / Т. І. Кривомаз // Фармацевт практик. – 2018. – № 4. – с. 36-38.
2. Кривомаз Т. І. Микроорганизмы в общественных местах / Т. І. Кривомаз // Фармацевт практик. – 2018. – № 5. – с. 28-29.
3. Кривомаз Т. І. Микроорганизмы в больницах / Т. І. Кривомаз // Фармацевт практик. – 2018. – № 6. – с. 24-26.
4. Кривомаз Т. І. Микроорганизмы в вентиляционных системах / Т. І. Кривомаз // Фармацевт практик. – 2018. – № 7/8. – с. 40-41.
5. Ager B.P. The control of microbiological hazards associated with air-conditioning and ventilation systems / B.P. Ager, J.A. Tickner // The Annals of Occupational Hygiene. – Vol. 27, Issue 4. – 1983. – p. 341–358. <https://doi.org/10.1093/annhyg/27.4.341>
6. Bogler A. Rethinking wastewater risks and monitoring in light of the COVID-19 pandemic / A. Bogler, A. Packman, A. Furman, A. Gross // Nature Sustainability. – 2020. – Vol. 3. – p. 981–990. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00605-2>
7. Chirico F. Can air-conditioning systems contribute to the spread of SARS/MERS/COVID-19 infection? Insights from a rapid review of the literature / F. Chirico, A. Sacco, N. L. Bragazzi, N. Magnavita // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2020. – Vol. 17. – p. 1-11. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176052>
8. Gołofit-Szymczak M. Microbiological air quality in office buildings equipped with ventilation systems / M. Gołofit-Szymczak, R.L. Górny // Indoor air. – 2018. – Vol. 28, Issue 6. – p. 792-805. <https://doi.org/10.1111/ina.12495>
9. Macher J. M. A Two-Year Study of Microbiological Indoor Air Quality in a New Apartment / J. M. Macher, F.-Y. Huang, M. Flores // Environmental Health: An International Journal. – 1991. – Vol. 46, Issue 1. – p. 25-29.
10. Palazzolo C. Legionella pneumonia: increased risk after COVID-19 lockdown? / C. Palazzolo, G. Maffongelli, A. D'Abramo, L. Lepore, A. Mariano, A. Vulcano, T.A. Bartoli, N. Bevilacqua, M.L. Giancola, E. Di Rosa, E. Nicastrì // Euro Surveill. – 2020. – 25(30). – p. 12-25. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2020.25.30.2001372>
11. Stryjawska-Sekulska M. Microbiological Quality of Indoor Air in University Rooms / M. Stryjawska-Sekulska, A. Piotraszewski-Pajak, A. Szyszka, M. Nowicki, M. Filipiak // Pol. J. Environ. Stud. – 2007. – 16(4). – p. 623–632.

### References

1. Krivomaz T. I. "Microorganismy v nashikh zhilishchakh". *Farmatsevt praktik*. 2018. No 4. P. 36-38.
2. Krivomaz T. I. "Microorganismy v obshchestvennykh mestakh". *Farmatsevt praktik*. 2018. No 5. P. 28-29.
3. Krivomaz T. I. "Microorganismy v bolnitsakh". *Farmatsevt praktik*. 2018. No 6. P. 24-26.
4. Krivomaz T. I. "Microorganismy v ventilyatsionnykh sistemakh". *Farmatsevt praktik*. 2018. No 7/8. P. 40-41.
5. Ager B.P., Tickner J.A. "The control of microbiological hazards associated with air-conditioning and ventilation systems". *The Annals of Occupational Hygiene*. 1983. Vol. 27, Iss. 4. P. 341–358. <https://doi.org/10.1093/annhyg/27.4.341>
6. Bogler A., Packman A., Furman A., Gross A. "Rethinking wastewater risks and monitoring in light of the COVID-19 pandemic". *Nature Sustainability*. 2020. Vol. 3. P. 981–990. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00605-2>
7. Chirico F., Sacco A., Bragazzi N. L., Magnavita N. "Can air-conditioning systems contribute to the spread of SARS/MERS/COVID-19 infection? Insights from a rapid review of the literature". *International Journal of*

*Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17. P. 1-11. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176052>

8. Gołofit-Szymczak M., Górny R.L. “Microbiological air quality in office buildings equipped with ventilation systems”. *Indoor air*. 2018. Vol. 28, Iss. 6. P. 792-805. <https://doi.org/10.1111/ina.12495>

9. Macher J. M., Huang F.-Y., Flores M. “A Two-Year Study of Microbiological Indoor Air Quality in a New Apartment”. *Environmental Health: An International Journal*. 1991. Vol. 46, Iss. 1. P. 25-29.

10. Palazzolo C., Maffongelli G., D’Abramo A., Lepore L., Mariano A., Vulcano A., Bartoli T.A., Bevilacqua N., Giancola, Di Rosa E., Nicastrì E. “Legionella pneumonia: increased risk after COVID-19 lockdown?”. *Euro Surveill*. 2020. 25(30). P. 12-25. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2020.25.30.2001372>

11. Stryjawska-Sekulska M., Piotraszewska-Pająk A., Szyszka A., Nowicki M., Filipiak M. “Microbiological Quality of Indoor Air in University Rooms?”. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2007. Vol.16. No 4. P. 623–632.

УДК 504.064.2

## Оценка влияния систем вентиляции на микробиологическую безопасность и микроклиматические условия помещений

Т. И. Кривомаз<sup>1</sup>, Д. В. Варавин<sup>2</sup>, Р. В. Сипаков<sup>3</sup>, Р. С. Кузьмишина<sup>4</sup>,

<sup>1</sup> д.т.н., проф. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, [ecol@i.ua](mailto:ecol@i.ua),  
ORCID: 0000-0002-4161-9702

<sup>2</sup> асп. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, [d.varavin@icloud.com](mailto:d.varavin@icloud.com),  
ORCID: 0000-0002-4161-9702

<sup>3</sup> асп. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, [r.sipakov@icloud.com](mailto:r.sipakov@icloud.com),  
ORCID: 0000-0002-0862-5043

<sup>4</sup> студ. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, [kuzmishuna02raisa@gmail.com](mailto:kuzmishuna02raisa@gmail.com)

**Аннотация.** Проанализированы ключевые аспекты влияния микробиологического загрязнения на системы вентиляции и кондиционирования воздуха, микроклимат помещений и здоровье людей. Количественный и качественный состав микрофлоры помещений зависит от их функционального назначения, особенностей, условий эксплуатации, климата и других факторов, в том числе существенное значение имеет способ вентиляции. Особую опасность представляют увлажнители систем кондиционирования воздуха, которые имеют достаточно воды для жизнедеятельности и размножения бактерий и грибов. Кроме того, в системах вентиляции накапливаются загрязнители, служащие субстратом для питания микроорганизмов. Многоэтажные административно-общественные и жилые здания, промышленные сооружения и другие места массового скопления людей – это зоны повышенной аэриобиологической опасности распространения инфекций. Системы кондиционирования воздуха и вентиляции при неправильной эксплуатации могут стать источниками распространения микроорганизмов в любых помещениях. Передача инфекционного аэрозоля на большие расстояния происходит в людных помещениях с плохой вентиляцией. Ключевым фактором для вспышки инфекции является направление воздушного потока. В условиях пандемии COVID-19 организации и международные учреждения по контролю за распространением SARS-CoV-2 в помещениях рекомендуют ограничивать рециркуляцию отработанного воздуха, хотя пока ещё недостаточно данных для однозначного выяснения роли систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха в распространении инфекции. Оценка риска и решения по выбору систем кондиционирования воздуха должны быть динамичными и базироваться на масштабах развития пандемии, а также на верификации характеристик систем и их эффективности.

**Ключевые слова:** микробиологическое загрязнение, микроклимат, система вентиляции, экологическая безопасность.



UDC 504.064.2

## Impact Assessment of the ventilation systems on microbiological safety and microclimatic conditions of premises

T. Kryvomaz<sup>1</sup>, D. Varavin<sup>2</sup>, R. Sipakov<sup>3</sup>, R. Kuzmishina<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Sc.D, professor. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, [ecol@i.ua](mailto:ecol@i.ua),  
ORCID: 0000-0002-4161-9702

<sup>2</sup> Post-graduate student. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, [d.varavin@icloud.com](mailto:d.varavin@icloud.com),  
ORCID: 0000-0002-4161-9702

<sup>3</sup> Post-graduate student. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, [r.sipakov@icloud.com](mailto:r.sipakov@icloud.com),  
ORCID: 0000-0002-0862-5043

<sup>4</sup>Student. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, [kuzmishuna02raisa@gmail.com](mailto:kuzmishuna02raisa@gmail.com)

**Abstract.** *The critical aspects of the impact of microbiological contamination on ventilation and air conditioning systems, the microclimate of the premises, and human health are analyzed. The quantitative and qualitative composition of the microflora of premises depends on their functional purpose, design features, operating conditions, climate, and other factors, among which the method of ventilation is essential. The moisturizers in air conditioning system are hazardous, which provide bacteria and fungi with water necessary for their life and reproduction. In addition, contaminants accumulated in ventilation systems operate as a substrate for feeding microorganisms. Multi-story administrative, public and residential buildings, industrial buildings, and other places of mass concentration are areas of increased aerobiological risk of infection. In case of improper operation, air conditioning and ventilation systems can be sources of microorganisms in any room. Transmission of infectious aerosol over long distances occurs in rooms with poor ventilation, and a key factor for the outbreak of infection is the direction of airflows. In the context of the COVID-19 pandemic, organizations and international agencies to control the spread of SARS-CoV-2 indoors recommend limiting the operation of exhaust ventilation and recirculation systems. However, there is still insufficient data to clarify the role of heating, ventilation, and air conditioning systems in spreading infection. Risk assessment and decision-making on the choice of air conditioning systems should be dynamic and based on the scale of the pandemic and the verification of the characteristics of HVAC systems and their effectiveness.*

*Keywords: microbiological pollution, microclimate, ventilation system, environmental safety.*

Надійшла до редакції / Received 03.12.2020