

УДК 622.741.3.022;622.7;620.133

д.т.н., проф. **Вадим Корбут**

korbut.vp@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-4560-5463,

д.т.н., проф. **Тетяна Ткаченко**,

tkachenkoknuba@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2105-5951,

д.т.н., проф. **Віктор Мілейковський**,

mileikovskiy.vo@knuba.edu.ua, ORCID:0000-0001-8543-1800,

Старший науковий співробітник **В'ячеслав Попов**,

v.v.popov.1962@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3396-0951,

докт. філос. **Роман Глущенко**,

hlushchenko_ro@knuba.edu.ua, ORCID:0000-0003-2863-1480

аспірант **Сергій Морковник**,

s.morkovnyk@gmail.com, ORCID: 0009-0003-9662-1951

Київський національний університет будівництва і архітектури

к.ф.-м.н., доц. **Олександр Тригуб**,

as_trigub@yahoo.com, ORCID: 0000-0002-6573-2814,

Національний університет «Києво-Могилянська академія»

<https://doi.org/10.32347/2409-2606.2025.54.6-18>

ПРИРОДНІ ПІДХОДИ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ВИТІСНЯЮЧОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ З ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ ТЕПЛОВОГО Й ШУМОВОГО КОМФОРТУ

Умови енергоефективності та комфорту для людей у приміщеннях, зазвичай, суперечать одна одній. У переважній більшості випадків відбувається пошук компромісних рішень, що обмежує ефективність. На противагу цьому, дану суперечність будемо вирішувати максимальним наближенням середовища до природних умов. Біофільний дизайн – це створення максимально природного візуального середовища як штучним, так і природним шляхами. У разі застосування штучних матеріалів можливе забруднення середовища. Фітодизайн – це термін, уведений у світову практику українським ботаніком Андрієм Гродзинським для позначення використання рослин задля покращення умов внутрішнього середовища. Цей підхід і створює комфортне візуальне середовище і зменшує вміст патогенів у повітрі, а також сприяє покращенню тепловологісного режиму, зменшенню шуму тощо. І при цьому на відміну від штучних матеріалів відбувається очищення, а не забруднення повітря. Успішність цих підходів спрямовує пошук можливостей покращення роботи вентиляції в напрямку максимального наближення до природного середовища, а саме поєднання витісняючої вентиляції, яка забезпечує робочу зону найбільш чистим повітрям, з динамічним мікрокліматом, максимально наближеним до зміни параметрів повітряного

середовища в природному довіллі. Пропонується відтворювати короткі періоди вітрового впливу замість тривалої поступової зміни параметрів. У поєднанні з високою тепловою інерцією організму це повинно забезпечувати середню тепловіддачу людини в межах продукуюваної метаболізмом теплоти без зміни температури тіла та навантаження систем терморегулювання. Отримано розрахункові залежності та номограму оцінювання параметрів мікроклімату за тепловіддачею, еквівалентною тепловіддачі при нормативних параметрах мікроклімату. Через підвищення швидкості повітря розглянуто акустичний комфорт з огляду на відповідність природному вітровому шуму. Запропоновано поняття індексу штучності шуму. Якщо обмежити це значення, то разом з фітодизайном ці рішення додатково створюють гармонію візуально-акустичного середовища.

Ключові слова: енергоефективність, комфорт, витісняюча вентиляція, динамічний мікроклімат, акустичний комфорт, біонічний підхід, фітодизайн, шум.

Постановка проблеми. Енергоефективність формування мікроклімату та комфорт для людей у приміщеннях є дві головні умови сталого розвитку міст. Проте ці дві умови, зазвичай, суперечать одна одній. Вирішення цієї суперечності є комплексною проблемою, що починається з нормування параметрів мікроклімату і закінчується технічною реалізацією систем. Зазвичай, відбувається пошук компромісних рішень, що обмежує ефективність отриманих результатів. Проте для ефективного вирішення проблеми потрібен новий підхід, пошук якого і буде предметом даної роботи.

Актуальність дослідження. Виявлення можливості подолання суперечності між енергоефективністю та комфортом у вентиляції та кондиціюванні повітря є актуальним завданням у рамках зеленого будівництва та сталості міст.

Останні дослідження та публікації. Створення комфорту в приміщенні тісно пов'язане з максимальним наближенням середовища до природних умов. Біофільний дизайн [1] передбачає створення максимально природного візуального середовища як штучним, так і природним шляхами – фотошпалери, штучні та природні рослини, природні кольори тощо. Фітодизайн – це термін, уведений у світову практику українським ботаніком Андрієм Гродзинським [2] для позначення використання рослин задля покращення умов внутрішнього середовища. Цей підхід і створює комфортне візуальне середовище і зменшує вміст патогенів у повітрі, а також сприяє покращенню тепловологісного режиму, зменшенню шуму тощо. І при цьому на відміну від штучних квітів відбувається очищення, а не забруднення шкідливими леткими сполуками.

Подібні підходи дозволяють спрямувати і пошук шляхів покращення

систем формування мікроклімату максимальним наближенням внутрішніх умов до природного середовища.

На сьогодні перспективним вважається витісняюча вентиляція [3], що дозволяє затопити робочу зону припливним повітрям, яке є найбільш чистим і близьким за параметрами до необхідного для комфортного стану людини. Проте, як показали авторські дослідження, цей підхід має критичні проблеми [4]. Повітрообмін за явною Φ_{hf} , Вт, і повною теплотою Φ_{hf} , Вт, визначається формулою [5] з урахуванням результатів роботи [4]:

$$G = \frac{\Phi}{c_p \cdot K_L \cdot (\Theta_{IDA} - \Theta_{SUP})} = \frac{\Phi_{hf}}{1000 \cdot K_L \cdot (I_{IDA} - I_{SUP})}, \text{ кг/с}, \quad (1)$$

де c_p – питома ізобарна теплоємність повітря, Дж/(кг·К); K_L – коефіцієнт повітрообміну, що для витісняючої вентиляції досягає 2,5 і більше, а для змішувальної вентиляції досягає біля 1,1...1,3; Θ_{IDA} – температура повітря робочої зони, К; Θ_{SUP} – температура припливного повітря, К; I_{IDA} – ентальпія повітря робочої зони, кДж/кг; I_{SUP} – ентальпія припливного повітря, кДж/кг.

Хоча витісняюча вентиляція має високий коефіцієнт повітрообміну, через малі перепади температури повітрообмін за формулою (1) є значно більшим. Це вимагає застосування рециркуляції, що погіршує якість повітря з огляду на вуглекислий газ. Розрахунки [4] показують, що на багатьох об'єктах витрати енергії на охолодження повітря стають більшими. Високий градієнт температури, характерний для витісняючої вентиляції, є одночасно і перевагою (менший повітрообмін) і недоліком. Адже в теплий період року втрачається перепад температури між витяжним і зовнішнім повітрям, що виводить з роботи теплоутилізаційне обладнання для утилізації «холоду». Подолання цих проблем вимагає нестандартних рішень.

Біонічний підхід також передбачає перехід від штучно створюваного постійного мікроклімату до динамічного, що передбачає зміну параметрів у часі [6] і може збільшити робочий перепад температури при витісняючій вентиляції. У даній роботі проаналізовано різні аспекти динамічного мікроклімату, зокрема зміну швидкості та температури протягом тривалих періодів часу. Надано результати соціологічні дослідження комфорту. Показано користь від такого підходу для здоров'я та комфорту. Виявлено, що людина краще пристосована до змінної швидкості вітру аніж до постійної швидкості руху повітря.

Експериментальні дослідження відчуття комфорту людей в умовах змінної результуючої температури приміщення проведено в роботі [7]. Розглянуто сценарії зміни температури протягом півгодини-години. Спочатку людина

акліматизувалася, після чого температура поступово наростала або спадала (thermal ramp) до моменту, коли піддослідна людина натискала кнопку дискомфорту, після чого температура поверталася до початкового значення.

Комфортний стан людини при відхиленнях температури протягом 90 хвилин та коливаннях температури з періодом 15 хв. досліджено в роботі [8]. Такі значні часові періоди пов'язані з суттєвою зміною стану організму людини, коли її тепловтрати суттєво коливаються в часі.

Роботи НУ «Львівська політехніка» [9], [10] тощо присвячені створенню змінної швидкості руху повітря за допомогою закручених струмин з періодичною зміною витрати.

На підставі світового досвіду динамічний мікроклімат рекомендовано в Україні до впровадження проектом ДБН В.2.5-67:2025 [11].

Таким чином, ефективне використання витісняючої вентиляції вимагає нестандартних підходів. І для їхнього розроблення можна запропонувати використання динамічного мікроклімату. Спостереження показують, що швидкість вітру змінюється за значно коротші періоди часу, аніж це було досліджено в наведених роботах. Також при роботі поворотних вентиляторів тривалість впливу потоку повітря є дуже короткою – порядку десятка секунд. Це розширює можливості забезпечення енергоефективності та комфорту при витісняючій вентиляції.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є застосування біонічних підходів для покращення роботи вентиляції, в першу чергу витісняючої.

Розширення можливостей динамічного мікроклімату. Як бачимо, стандартні підходи не дозволяють повністю розкрити потенціал витісняючої вентиляції. Тому необхідно принципово змінювати підходи до нормування параметрів мікроклімату. Звернемо увагу, що в навколишньому середовищі штиль не є характерним станом. Більшість часу вітер є змінним. Більшість лісопаркових зон характеризуються частковим затіненням. Якщо рухатися такою зоною, то людина почергово опиняється в тіньових зонах з меншою результуючою температурою та в сонячних зонах – з більшою.

Постає питання можливості тимчасового підвищення абсолютного значення робочого перепаду температури та швидкості повітря зі збереженням комфортного стану. Подібний підхід не є принципово новим і використовується вентиляторам з поворотним механізмом, який почергово обдуває людей. Також користувачі морозильників при відкритті їх потрапляють під короткочасний вплив повітря з абсолютним значенням перепаду температури понад 20 К, і при цьому не відчувають охолодження. Головною умовою відсутності погіршення здоров'я та самопочуття є короткочасність.

Робочий перепад температури та час його впливу слід визначати шляхом

масового опитування людей різного віку та фізичного стану в лабораторії з контрольованим мікрокліматом і можливістю періодичного подавання повітря в робочу зону. Такий підхід вимагає значних затрат часу та ресурсів.

Орієнтовно температуру і час впливу можна оцінити безпосередньо з визначення поняття теплового комфорту як можливості розсіяти всю теплоту, виділену в результаті метаболізму, зі збереженням температури організму. В умовах змінного повітряно-теплового режиму в довкіллі головну роль відіграє теплова інерція. Адже на 80 % людина складається з однієї з найбільш теплоємних речовин – води. Тому в разі зміни теплового режиму в межах 5...10 с, до уваги слід брати середню тепловіддачу з урахуванням її нелінійності. Це зводить задачу до задачі нестационарного теплообміну.

Теплообмін людини можемо орієнтовно оцінити як теплообмін вертикального еліптичного циліндра більшим діаметром D , м, і меншим діаметром d , м, заввишки H , м, з температурою поверхні τ , К. У разі природної ламінарної конвекції (Критерій Релея $10^3 < Ra < 10^8$ [12] критерій Нуссельта

$$Nu = \frac{\alpha^{nat} \cdot H}{\lambda} = 0,76 \cdot Ra^{0,25} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_w} \right)^{0,25}, \quad (2)$$

де α^{nat} – коефіцієнт тепловіддачі при природній конвекції, Вт/(м²·К); λ – коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт/(м²·К); Pr – критерій Прандтля для навколишнього повітря; Pr_w – те ж при температурі поверхні циліндра; Ra – критерій Релея:

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot (\tau - \Theta_{IDA}) \cdot H^3}{\nu \cdot a} = \frac{g \cdot (\tau - \Theta_{IDA}) \cdot H^3}{\nu \cdot a \cdot \Theta_{IDA}}, \quad (3)$$

g – прискорення вільного падіння, м/с²; $\beta = 1/\Theta_{IDA}$ – коефіцієнт температурного розширення повітря, К⁻¹; ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, м²/с; a – коефіцієнт температуропровідності повітря, м²/с.

Тоді густина теплового потоку на одиницю площі циліндра з урахуванням формул (2) та (3):

$$\phi^{nat} = \alpha^{nat} (\tau - \Theta_{IDA}) = 0,76 \cdot \left(\frac{g \cdot (\tau - \Theta_{IDA})}{\nu \cdot a \cdot \Theta_{IDA} \cdot H} \right)^{\frac{1}{4}} \cdot \lambda \cdot \left[\left(\frac{Pr}{Pr_w} \right)^{\frac{1}{4}} \right], \quad (4)$$

Формула (4) вживатиметься за малої швидкості повітря. Оцінимо внесок множника у квадратних дужках. Найвища температура поверхні людини не може перевищувати температуру крові 313,15 К. Температура повітря в приміщенні в холодний період року не може бути нижчою за 273,15 К.

У цих межах число Прандтля повітря змінюється в межах 0,711...0,715. Тоді $1 \geq Pr/Pr_w > 0,711 / 0,715 = 0,9944$ або $1 \geq (Pr/Pr_w)^{1/4} > 0,9986$. Член у квадратних дужках відхиляється від одиниці в межах 0,14 %, тоді як похибка результатів досліджень, за якими побудовано формули (2) і (3), становить не менше 5 %. У подальших розрахунках цей множник не повинен ураховуватися:

$$\varphi^{nat} = 0,76 \cdot \lambda \cdot \left(\frac{g \cdot (\tau - \Theta_{IDA})^5}{\nu \cdot a \cdot \Theta_{IDA} \cdot H} \right)^{\frac{1}{4}}, \quad (5)$$

При вимушеній конвекції використано дані роботи [13]:

$$Nu = \frac{\alpha^{forced} \cdot D}{\lambda} = 0,452 \cdot Re^{0,571} \cdot (1 - 0,254 \cdot \cos(\gamma)), \quad (6)$$

де γ – кут між великою віссю та напрямком швидкості, а Re – Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\nu \cdot D}{\nu}, \quad (7)$$

За формулами (6) і (7) густина теплового потоку

$$\varphi^{forced} = \alpha^{forced} (\tau - \Theta_{SUP}) = 0,452 \cdot \left(\frac{\nu \cdot D}{\nu} \right)^{0,571} \cdot \frac{\lambda}{D} (\tau - \Theta_{SUP}) \cdot [1 - 0,254 \cdot \cos(\gamma)], \quad (8)$$

де α^{forced} – середній коефіцієнт тепловіддачі при вимушеній конвекції;
 Θ_{SUP} – температура потоку повітря біля людини

Оскільки людина може опинитися під будь-яким кутом γ до потоку повітря, приймаємо варіант найбільшого теплового потоку при $\gamma = \pi/2$. За формулою (8)

$$\varphi^{forced} = 0,452 \cdot \left(\frac{\nu \cdot D}{\nu} \right)^{0,571} \cdot \frac{\lambda}{D} (\tau - \Theta_{SUP}), \quad (8)$$

Розглянемо два режими:

- нормативний – на людину діє потік повітря з температурою $\Theta_{SUP} = \Theta_{SUP}^{norm}$, К, та максимальною нормативною швидкістю повітря v^{norm} , м/с, за якого середня густина теплового потоку становитиме за формулою (8):

$$\varphi^{norm} = 0,452 \cdot \left(\frac{v^{norm} \cdot D}{v} \right)^{0,571} \cdot \frac{\lambda}{D} (\tau - \Theta_{SUP}^{norm}), \quad (9)$$

- динамічний режим – на людину періодично протягом часу t , с, діє потік зі швидкістю повітря v , м/с, та з температурою Θ_{FLW} , К, а протягом часу $T - t$, с, швидкість практично відсутня. Середня густина теплового потоку становитиме за формулами (5) та (9):

$$\varphi^{dyn} = (1 - \kappa) \cdot 0,76 \cdot \lambda \cdot \left(\frac{g \cdot (\tau - \Theta_{IDA})^5}{v \cdot a \cdot \Theta_{IDA} \cdot H} \right)^{\frac{1}{4}} + \kappa \cdot 0,452 \cdot \left(\frac{v \cdot D}{v} \right)^{0,571} \cdot \frac{\lambda}{D} (\tau - \Theta_{SUP}), \quad (10)$$

де $\kappa = t/T$ – частка часу впливу потоку.

Якщо за час t організм людини не встигає суттєво охолонути чи нагрітися, а температура Θ_{SUP} і швидкість v за час t не допускає переохолодження або перегріву шкіри, то умова однакового комфортного стану набуде вигляду $\varphi_{norm} = \varphi_{dyn}$, Вт, або за формулами (9) і (10) після перетворень

$$\begin{aligned} v^{0,571} (\tau - \Theta_{IDA} - \Delta\Theta) &= \Xi = \\ &= \frac{(\tau - \Theta_{IDA} - \Delta\Theta^{norm}) \cdot (v^{norm})^{0,571}}{\kappa} - 1,681 \cdot \frac{1 - \kappa}{\kappa} \cdot \frac{g^{0,25} \cdot D^{0,429} \cdot v^{0,321}}{a^{0,25} \cdot H^{0,25}} \left(\frac{(\tau - \Theta_{IDA})^5}{\Theta_{IDA}} \right)^{0,25}, \end{aligned} \quad (11)$$

де $\Delta\Theta = \Theta_{SUP} - \Theta_{IDA}$ – робочий перепад температури, К (для холодного повітря негативний), а $\Delta\Theta^{norm} = \Theta_{SUP}^{norm} - \Theta_{IDA}$ – нормативний робочий перепад температури, К.

Значення параметра Ξ за рівнянням (11) при заданому значенні κ є константою. Таким чином, рівняння (11) дозволяє при кожному значенні κ отримати криву залежності температури та швидкості потоку.

На рис. 1 побудовано графік для температури $\Theta_{IDA} = 299,15$ К (26 °С) й $\Delta\Theta^{norm} = -1,0$ К [11]; $v^{norm} = 0,3$ м/с; $g = 9,80665$ м/с²; $D = 0,5$ м; $v = 1,56 \cdot 10^{-5}$ м²/с й $a = 2,19 \cdot 10^{-5}$ м²/с – за [14]; $H = 1,7$ м [15]; $\tau = 309,75$ К (36,6 °С); $\kappa = 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8$ і $0,9$.

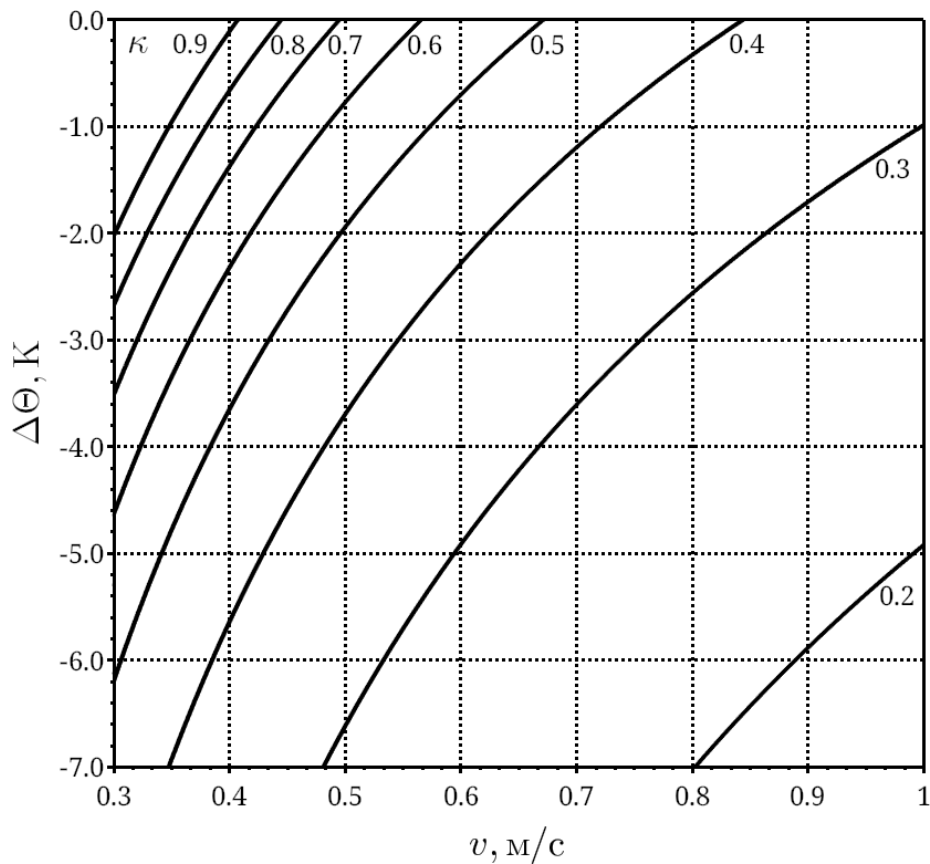


Рис. 1. Оцінковий графік граничних значень робочого перепаду температури $\Delta\Theta$ та швидкості v потоку залежно від частки часу κ наявності цього потоку: при заданому κ область дозволених параметрів знаходиться згори-ліворуч від відповідної лінії

Як бачимо з рис. 1, при періодичному подаванні припливного повітря можна досягти робочих перепадів температури, сумірних зі змішувальною вентиляцією. І при цьому немає необхідності заборонених зон довкола повітророзподільників, як при використанні швидкого затухання струмин ('Опалення, вентиляція та кондиціонування', 2025). Якщо подавати повітря почергово в повітророзподільні пристрої, можна вентилувати робочу зону неперервно без зміни продуктивності вентиляторів.

Шумовий комфорт. При підвищенні швидкості подавання повітря до робочої зони можливе утворення аеродинамічного шуму. На сьогодні нормування вентиляційного шуму базується на максимально допустимих рівнях у кожній з восьми октавних смуг. В основу досліджень, на базі яких визначено ці рівні, покладено припущення щодо постійного впливу цього шуму. Це характерно для тривалого постійного аеродинамічного режиму вентиляції. Проте в природі, зокрема в лісах, характерним є періодичний вітровий шум, який формується кількома факторами:

- аеродинамічний шум при обтіканні вітром практично нерухомих стовбурів і гілок порівняно зі швидкістю вітру (тихий за винятком буревіїв, зазвичай, не чинить подразнювальної дії);

- шум листя, що коливається у вітровому потоку (може бути достатньо гучним і відволікати);
- скрип від тертя стовбурів (може подразнювати, але трапляється нечасто).

Таким чином, при непостійному подаванні повітря норми шуму для більшості приміщень можуть бути пом'якшені. Для цього необхідно проаналізувати записи лісового шуму (які достатнім обсягом накопичені, наприклад, у кінематографі), особливо в зимовий період і ранньою весною за відсутності листя. Далі спектральні характеристики аеродинамічного шуму повинні порівнюватися з відповідними характеристиками вітрового шуму. Індекс штучності шуму пропонується визначати за такою формулою:

$$NAI = \min_{\Delta L} \sum_{i=1}^8 |L_i - L_i^{pat} - \Delta L|^w, \text{ дБ}, \quad (12)$$

де L_i – фактичний рівень шуму в октавній смузі i ; L_i^{pat} – рівень шуму в природному шаблоні в тій же октавній смузі; ΔL – загальне перевищення середнього рівня шуму понад шаблонний, дБ, яке знаходиться мінімізуванням суми, а w – показник важливості більших відхилень порівняно з меншими. Якщо $w = 1$, всі відхилення однаково важливі. При $w = 2$ значущість більших відхилень буде більшою відповідно до поняття дисперсії випадкової величини, і, скоріше за все, саме це значення варто приймати. При більших значеннях w більші відхилення стануть вагомішими, аніж при розрахунку дисперсії, а менші відхилення будуть менше впливати на результат. Остаточне визначення w можливе на підставі соціологічного дослідження за методом PMV/PPD.

За умови, якщо індекс штучності менший певного порогового значення, можна дозволити підвищувати рівень шуму до природного в лісах, що не повинно призводити до дискомфорту, а за умови вдалого фітодизайну повинно лише покращувати комфорт. Поєднання фітодизайну з наближенням до природного акустичним середовищем надасть повноцінної гармонії, що є перевагою саме такого підходу до витісняючої вентиляції.

Висновки. Як було показано в минулих роботах, витісняюча вентиляція не завжди має високу енергоефективність. Основною проблемою є малий робочий перепад температури, що змушує значно підвищити повітрообмін і затрати енергії на оброблення повітря. Стандартні рішення не спроможні досягти найвищої енергоефективності даного методу вентиляції без утворення заборонених зон навколо повітророзподільників. Запропонований підхід, що передбачає періодичне подавання повітря, дозволяє значно підвищити робочий перепад температур, а також збільшити швидкість виходу повітря, без

посилення середньої тепловіддачі людини до повітряного середовища. Можливе посилення шуму за умови відповідності його спектру природному шуму лісу не повинно створювати дискомфорт.

Перспективи подальших досліджень. Даний підхід дозволяє лише оцінити можливість підвищення абсолютного значення робочого перепаду температури. Наступним кроком є моделювання такого способу витісняючої вентиляції. Остаточне підтвердження вимагатиме соціологічних досліджень за методом PMV/PPD в лабораторних умовах, що потребує грантового підтримання.

References

1. Răcușan, O., Dîrja, M. and Dumitraș, A. 'Biophyllia and biophylic design effects on quality of life', *Agricultura*, Vol. 115, No. 3–4, 2020, pp. 291–306. Available at: <https://journals.usamvcluj.ro/index.php/agricultura/article/view/13973>.
2. Snizhko, V.V. and Kharitonova, I.P. 'Rozvytok idei A.M. Hrodzinskoho pro fitodysain', *Introduktsiia roslyn*, No. 4, 2006, pp. 35–39. Available at: <https://plantintroduction.org/index.php/pi/article/download/837/802> (Accessed: 19 November 2025).
3. Jiang, Yingying, Qiao, X., Kong, B., Shi, H. and Jiang, Yanlong 'Multi-Objective Comparative Analysis of Various Ventilation–Radiant Coupled Heating Systems', *Buildings*, Vol. 15, Iss. 20, 2025 p. 3784. Available at: <https://doi.org/10.3390/buildings15203784>.
4. Korbut, V., Tkachenko, T., Mileikovskyyi, V., Vakhula, V. and Tsiuriupa, Yu. 'Otsiniuvannia efektyvnosti orhanizatsii povitroobminu dlia formuvannia biobezpechnoho ta komfortnoho seredovyshcha prymishchen z masovym perebuvanniam liudei', in: *V Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia 'Enerhiia. Resursy. Ekolohiia'*, Kyiv: KNUBA, 2024, pp. 71–72. Available at: <https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/12/ere-2024-ua.pdf> (Accessed: 19 November 2025).
5. Dovhaliuk, V. and Mileikovskyyi, V. 'New Approach for Refined Efficiency Estimation of Air Exchange Organization', *International Journal of Engineering & Technology*, Vol. 7, No. 3.2, 2018, p. 591. Available at: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14596>.
6. Zhu, Y., Ouyang, Q., Cao, B., Zhou, X. and Yu, J. 'Dynamic thermal environment and thermal comfort', *Indoor Air*, Vol. 26, Iss. 1, 2016 pp. 125–137. Available at: <https://doi.org/10.1111/ina.12233>.
7. Favero, M., Sartori, I. and Carlucci, S. 'Human thermal comfort under dynamic conditions: An experimental study', *Building and Environment*, Vol. 204, 2021 p. 108144. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108144>.

8. Zhao, R. 'Investigation of transient thermal environments', Building and Environment, Vol. 42, Iss. 12, 2007, pp. 3926–3932. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.030>.
9. Zhelykh, V., Voznyak, O., Yurkevych, Y., Sukholova, I. and Dovbush, O. 'Enhancing of energetic and economic efficiency of air distribution by swirled-compact air jets', Production Engineering Archives, Vol. 27, Iss. 3, 2021, pp. 171–175. Available at: <https://doi.org/10.30657/pea.2021.27.22>.
10. Yurkevych, Y., Sukholova, I. and Kasynets, M. 'Modeling of air flow in industrial rooms', Selected Scientific Papers - Journal of Civil Engineering, Vol. 13, Iss. 1, 2018, pp. 21–28. Available at: <https://doi.org/10.1515/sspjce-2018-0016>.
11. 'Opalennia, ventyliatsiia ta kondytsionuvannia' Kyiv: Ministerstvo rozvytku hromad ta terytorii Ukrainy, 2025. Available at: <https://mindev.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/dbn-v25-67-20xx-opalennia-ventiliaciia-ta-kondicionuvannia-povitria-persa-redakciia.pdf> (Accessed: 19 November 2025).
12. Tkachenko, S.Yo., Vlasenko, O.V., Stepanova, N.D. and Pavlovych, Ye.O. 'Non-stationary Heat Exchange in a Vertical Cylindrical Volume Filled with Liquid', Visnyk of Vinnytsia Politechnical Institute, Vol. 160, Iss. 1, 2025, pp. 16–20. Available at: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-160-1-16-20>.
13. Mostafa, M., Kamal, R. and Gobran, M. 'Flow and heat transfer characteristics around an elliptic cylinder placed in front of a curved plate', Thermal Science, Vol. 18, Iss. 2, 2014, pp. 465–478. Available at: <https://doi.org/10.2298/TSCI120307054M>.
14. Dziubenko, V. Avtonomni systemy teplopостachання z hlybokoiu utylizatsiieiu teploty vidvidnykh haziv kotliv. k.t.n. Kyivskyi natsionalnyi universytet budivnytstva ta arkhitektury, 2016. Available at: <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0416U000451>.
15. 'Serednii zrist cholovikiv i zhinok za vikovymy hrupamy u 2022 rotsi'. Derzhstat Ukrainy, 2022. Available at: https://ukrstat.gov.ua/operativ/pro_stat/Prosto/Dohodu/02.pdf (Accessed: 19 November 2025).

UDC 622.741.3.022;622.7;620.133

Dr. Hab., Prof. **Vadym Korbut**

korbut.vp@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-4560-5463,

Dr. Hab., Prof. **Tetiana Tkachenko**,

tkachenkoknuba@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2105-5951,

Dr. Hab., Prof. **Viktor Mileikovskyi**,

mileikovskyi.vo@knuba.edu.ua, ORCID:0000-0001-8543-1800,

Senior Researcher **Viacheslav Popov**,

v.v.popov.1962@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3396-0951,

PhD **Roman Hlushchenko**,

hlushchenko_ro@knuba.edu.ua, ORCID:0000-0003-2863-1480

post-graduate **Serhii Morkovnyk**,

s.morkovnyk@gmail.com, ORCID: 0009-0003-9662-1951

Kyiv National University of Construction and Architecture

PhD, Assoc. Prof. **Oleksandr Tryhub**,

as_trigub@yahoo.com, ORCID: 0000-0002-6573-2814,

National University of Kyiv Mohyla Academy

<https://doi.org/10.32347/2409-2606.2025.54.6-18>

NATURAL APPROACHES TO ORGANIZING DISPLACEMENT VENTILATION ENSURING THERMAL AND NOISE COMFORT

Energy efficiency in creating a microclimate and comfort for people indoors are two key conditions for sustainable urban development. However, these two conditions are usually contradictory. Resolving this contradiction is a complex problem, starting with the standardisation of microclimate parameters and ending with the technical implementation of systems. Usually, compromise solutions are sought, which limits the effectiveness of the results obtained. Yf In contrast to seeking compromises, we will resolve this contradiction by bringing the environment as close as possible to natural conditions. Biophilic design involves creating the most natural visual environment possible, both artificially and naturally – photo wallpaper, artificial and natural plants, natural colours, etc. When artificial materials are used, this approach can pollute the indoor environment. Phytodesign is a term introduced into global practice by Ukrainian botanist Andriy Grodzinsky to describe the use of plants to improve the environment. This approach creates a comfortable visual environment and reduces the content of pathogens in the air, as well as contributing to the improvement of the thermal and humidity regime, noise reduction, etc. And at the same time, unlike artificial materials, it purifies the air rather than polluting it. The success of such approaches is driving the search for ways to improve ventilation in

order to maximise its approximation to the natural environment, namely by combining displacement ventilation, which provides the working zone with the cleanest air, with a dynamic microclimate that is as close as possible to the changing parameters of the air environment in the natural environment. Unlike numerous studies, it is proposed to reproduce short periods of wind exposure instead of a long gradual change in parameters. In combination with the high thermal inertia of the body, this should provide the average heat transfer of a person within the limits of the heat produced by metabolism without changing the body temperature and the load on the thermoregulation systems. Calculated dependencies and a nomogram have been obtained, allowing the selection of microclimate parameters based on heat transfer equivalent to heat transfer under standard microclimate parameters. Also, due to the increase in air velocity, acoustic comfort was considered in terms of the correspondence of spectral levels and duration to natural wind noise. The concept of a noise artificiality index was proposed. If this value is limited, then together with phytodesign, these solutions will additionally create harmony in the visual and acoustic environment.

Keywords: energy efficiency, comfort, displacement ventilation, dynamic microclimate, acoustic comfort, bionic approach, phytodesign, noise.

Received/Надійшла до редакції 20.10.2025

Reviewed/Рецензована 12.11.2025

Accepted/Прийнята 26.11.2025