

УДК 697.9

Забезпечення рекомендованої ВООЗ якості повітря в офісних приміщеннях з існуючою системою вентиляції

Л. І. Макаренко¹, О. В. Приймак²

¹асп., Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, 2222555@ukr.net.

²д.т.н., проф. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, 02opriymak@gmail.com,
ORCID:0000-0002-3081-6057

Анотація. В умовах зростаючого інтересу до очищення повітря в приміщеннях та посилення рекомендацій ВООЗ щодо концентрація зважених часток в повітрі (не повинна перевищувати 5 мкгр/м³) є необхідність створити зрозумілі правила для розміщення очисного обладнання на системах вентиляції та кондиціонування. Це стосується не лише об'єктів, що тільки проектуються, а й вже експлуатованих об'єктів з функціонуючою системою вентиляції. Адже саме на таких об'єктах є обмежені можливості втручання в роботу не лише інженерних систем, а й експлуатації самої будівлі під час ремонту. Цілями дослідження було отримання даних щодо ефективності очищення повітря в заданому об'ємі при наявній кратності повітрообміну функціонуючої припливно-витяжної системи. Окремим завданням була перевірка заявлених виробником даних щодо перепаду тисків на вбудованому каналному фільтрі HEPA. Найефективнішим способом очищення повітря в приміщеннях від забрудників вважається його усунення від місць постійного перебування людей. Використовуючи загальнообмінну систему вентиляції укомплектовану сучасним фільтрувальним обладнанням можна досягти значних результатів в покращенні якості повітря. В даному випадку розглядається вентиляційна система в офісній будівлі в центрі міста, яку було обладнано додатковим каналним фільтром з фільтрувальною касетою класу MERV16 (або HEPA 11). Така модернізація системи вентиляції за пів року роботи дозволила зменшити забруднення частинками в діапазоні розмірів 0,3 – 10 мкм в повітряному середовищі офісних приміщень на 70...76 % при незначній кратності з дотриманням норм мінімального значення повітрообміну щодо кількості свіжого повітря по санітарній нормі та дозволили уникнути значних капітальних вкладень на ремонт інженерних мереж та втрат щодо неможливості експлуатації будівлі на час ремонту.

Ключові слова: кратність повітрообміну, фільтрування повітря, очищення повітря, фільтр HEPA.

Вступ. Вимоги до якості повітря, при організації систем вентиляції, поступово набувають рис «стандартного пакету» для створення безпечного повітряного середовища в умовах щільної забудови густонаселених міст.

Побаження щодо якості повітря надходять не лише від замовників чи проектувальників нових будівель, а й від мешканців вже збудованих та функціонуючих будівель. Не дивлячись на достатньо невеликий часовий проміжок розвитку питання «якості повітря» в Україні, «географія» застосування цих вимог не обмежена містами: мешканці котеджних забудов за межами міста, так само переймаються якістю повітря в своїх оселях, як і мешканці великих індустріальних міст.

І якщо на етапі проектування (при наявності чіткого технічного завдання та інших вимог) достатньо просто передбачити встановлення, як необхідного обладнання для очищення повітря, так і, скорегувати підбір вентиляційного обладнання з огляду на забезпечення коректної роботи фільтраційного обладнання (наприклад, підбір вентилятора з урахуванням тиску, який буде створювати фільтрувальний елемент), а також заздалегідь узгодити розміщення даного обладнання та передбачити зручний доступ до нього

для постійного планового сервісу. То в умовах функціонуючої будівлі, в більшості випадків, є достатньо обмежені можливості втручатися в роботу вже існуючих систем, без внесення значних змін їх конструктивної будови, наслідком яких можуть бути зміни не лише системи вентиляції, а наприклад, і системи електропостачання чи водопостачання та каналізації.

Основною вимогою є отримання можливості відслідковування та впливу на параметри внутрішнього повітряного середовища в приміщеннях з існуючими інженерними мережами без значних капітальних вкладень, не тільки на модернізацію цих інженерних мереж, а й, капітальних вкладень в ремонт всієї будівлі, такі як, виділення нових технічних приміщень для розміщення додаткової кліматичної техніки, яка б надала змогу контролювати необхідні показники.

Перелік застосувань, які можна використати для рішення поставлених питань, залежить лише від власних побажань замовника (наприклад, побажання прибрати запах тютюну чи знизити концентрацію алергенів від домашніх тварин) та вихідними параметрами зовнішнього та внутрішнього повітряного середовища.

В методичних рекомендація Центру з контролю та профілактики захворювань у США

(CDC) наведена «піраміда інфекційного контролю», що включає в себе методи боротьби з повітряним забруднювачем, таким як COVID-19, від найбільш ефективних, а саме усунення забруднення (або патогену), інженерний контроль (розділення людей та патогенів), адміністративний контроль (інструктаж людей) та персональні засоби захисту (використання масок, халатів, рукавичок тощо).

Одним з найефективнішим способів вважається усунення патогену від місць постійного перебування людей. Тож, яким чином можна забезпечити цю умову?

Найкращі результати по вловлюванню з повітря часток різних фракцій показали рециркуляційні агрегати з HEPA-фільтрами [1], [2], [3], [4]. Використання портативних повітроочищувачів з фільтрами HEPA, дозволяє вирішити питання:

- 1) тимчасової рециркуляція повітря в приміщеннях без загальнообмінної вентиляції (наприклад, під час ремонту загальнообмінної системи вентиляції);
- 2) додаткової системи рециркуляції повітря з фільтрацією повітря, для створення необхідної кратності повітрообміну в приміщеннях;
- 3) забезпечення підвищеної ефективності очищення повітря.

Але це обладнання не задовольняє вимоги щодо нормативної санітарної кількості свіжого повітря. Тож, в приміщеннях з постійним перебуванням людей необхідно організувати загальнообмінну вентиляцію з розрахунку на санітарну норму свіжого повітря для дихання людей в поєднанні з вказаними очисними системами.

Актуальність дослідження. Даним дослідженням здійснено спробу визначення впливу вискоелективних фільтрів твердих частинок на якість повітря в будівлі, застосовуючи в даному випадку фільтрувальні елементи встановлені на припливному повітроводі існуючої системи вентиляції офісної будівлі. Дослідити вплив вискоелективного фільтра на аеродинамічні показники системи вентиляції та підвищення її енергоспоживання.

Останні дослідження та публікації. В більшості, фільтри для систем вентиляції та кондиціонування не видаляють з повітря всі частки. Навіть HEPA-фільтри класу H11-H13 не затримують частки менші 3 мкм, до яких входять і мікроорганізми. На ефективність фільтрації повітроочисником впливають як його конструкція, так і підбір секцій фільтрації та умови використання повітроочисника виходячи з фізичних параметрів оточуючого повітряного середовища та

фізичного розташування згідно геометричних параметрів приміщень, які він обслуговуються.

В дослідженні Сао та ін. [5] проведено порівняння систем для очищення повітря в приміщенні об'ємом 185,5 м³, а саме: припливна установка з фільтром MERV 15 (ефективність очищення часток 0,3-1,0 мкм до 94 %) потужністю 500 м³/годину (0,142 м³/с) може зменшити кількість частинок у приміщенні на 56,5 % за перші 15 хвилин роботи; фанкойл з повітряним фільтром MERV 13 (ефективність очищення часток 0,3-1,0 мкм до 75 %) потужністю 1274,4 м³/годину (0,354 м³/с) може зменшити кількість частинок у приміщенні на 75,1 % за перші 15 хвилин роботи та переносний повітроочисник типу Oreck AirInstinct (модель AIR108) оснащений вискоелективним фільтром твердих частинок повітря HEPA (ефективність очищення часток 0,3-1,0 мкм до 99,97 %) концентрація частинок може бути зменшена на 41,8 %, 59,0 %, 79,7 % і 90,0 % для сценаріїв з одним очисником, двома очисниками, чотирма очисниками та шістьма очисниками відповідно. Це дослідження показує, що навіть якщо кімната не має системи припливної вентиляції або внутрішнього блоку кондиціонера з системою фільтрації, концентрацію частинок у приміщенні все одно можна досить швидко зменшити, розмістивши достатню кількість переносних повітроочисників з фільтрами HEPA.

Результати роботи Jones та ін. [6] виявили, що заміна фільтрів з MERV 8 на MERV 14 або 15 мало більший вплив на зниження рівня PM_{2,5} у приміщенні, ніж регулювання кратності зовнішнього повітря. У цій роботі виміряли PM_{2,5} у приміщенні безперервно протягом одного року в 37 міських комерційних офісах з механічною або змішаною вентиляцією в Китаї, Індії, Великобританії та США. У цьому аналізі фільтри MERV 13-14 і фільтри MERV 15+ зменшили вміст PM_{2,5} у приміщенні на 30,9 % і 39,4 % відповідно порівняно з фільтрами MERV 7-12, тоді як вплив швидкості повітрообміну (кратність зростає з 1,0 год⁻¹ до 2,4 год⁻¹ до 5,4 год⁻¹) коливалась від 13,6 % до 30,0 %.

Для офісних будівель в звіті №23 ЕСА (Європейська спільна дія щодо «Міського повітря, внутрішнього середовища та впливу на людину») [7] пропонують рівень вентиляції, який підтримується на рівні та вище 10 л/с на людину (36 м³/годину), як такий, що в середньому призведе до значного зменшення у мешканців симптомів «хвороби будівлі» і покращення якості повітря. Для інженера-проектувальника рекомендують використовувати витрату свіжого повітря в офісному приміщенні на людину з розрахунку

$q_v = 12,5$ л/с на людину (45 м³/годину), якщо немає можливості вимірювати дані концентрації CO₂ в приміщеннях.

Що узгоджується з даними додатку X, ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» при застосуванні мінімальних розрахункових коефіцієнтів – 40 м³/годину на людину.

Тож, виходячи з усього наведеного вище, можна зробити висновок, що необхідною умовою створення якості повітря в приміщеннях є поєднання визначеної кількості свіжого повітря, як санітарної норми для дихання, та застосування фільтрів класу HEPA (або MERV) для ефективного очищення повітря в системах вентиляції.

Формулювання цілей статті. Вивчення впливу вискоелективного фільтру на показники якості повітря в офісних приміщеннях, при розміщенні його на мережі припливних повітроводів існуючої системи вентиляції в умовах постійної експлуатації цієї системи.

Розглядався каналний очищувач повітря IQAir Perfect 16 [8]. Окремим завданням є перевірка перепаду тисків на фільтрі при роботі припливно-витяжного агрегату в умовах працюючого об'єкту.

Основна частина.

Виміри проводилися на першому поверсі будівлі за адресою площа Арсенальна в м. Київ в офісних приміщеннях: кабінетів площею 49,3 м² та 51,1 м²; рецепції площею 40,5 м². Інші приміщення, не розглядалися, так як вони не обслуговуються системою припливно-витяжної вентиляції, яка буде облаштована вискоелективним фільтром. Висота приміщення 3,0 м.

В приміщеннях встановлена припливно-витяжна система вентиляції потужністю 1000 м³/годину з розрахунковим вільним тиском (на мережу повітроводів) 300 Па. Для очищення зовнішнього повітря на припливній секції установки та для очищення витяжного повітря з приміщень встановлені фільтри класу – G4.

Для вимірювання даних використовувалися такі прилади:

- датчик перепаду тиску SPS-G-2KO;
- анемометр ET-965;
- датчик частинок Particle Scan Lite, IQAir. Serial nr.:2005.30837. Flow 0,025 cfm.

На припливному повітроводі по руху повітря після припливно-витяжної установки змонтовано каналний очищувач повітря IQAir Perfect 16. Габаритом ШхВхД 54х54х64 см. Вагою 27 кг. Заявлені виробником параметри очищення: >95 % для часток 0,3 мкм і ≥75 % для частинок 0,03 мкм і більше. Площа

фільтруючого матеріалу в перерізі – 16 м². Мінімальний показник ефективності – MERV16 (відповідник типу фільтру класу HEPA H11).

Вимірювання проводилися 20 листопада 2021 року при внутрішній температурі +21,2 °С, відносній вологості в приміщенні 32 % при ввімкненій системі вентиляції до установки фільтру (для отримання вихідної інформації щодо стану інженерних систем та чистоти повітря в приміщеннях) та 13 лютого 2023 року при внутрішній температурі +21,5 °С, відносній вологості в приміщенні 28 % з діючою системою вентиляції (рис.1) з фільтром Perfect 16 (система проробила більше півроку після переобладнання). Перед замірами 13.02.23 було проведено сервісне обслуговування і всі фільтри (рис. 2) були замінені на нові.



Рис.1. Вбудований фільтр Perfect 16 в існуючу систему повітроводів припливно-витяжної системи з під'єднаним датчиком перепаду тиску SPS-G-2KO.



Рис.2. Брудний фільтр (термін використання 1 місяць) та чистий фільтр G4.

Результати натурних вимірів кількості повітря, що надходить до приміщень від діючої вентиляції в порівнянні з необхідною кількістю повітря згідно норм вказано в табл. 1. Окремо, в

табл. 1 вказано мінімальні значення повітрообміну для якісного очищення приміщень згідно рекомендацій для встановлення вискоєфективних фільтрів. Як видно з порівняння, повітрообмін в приміщеннях не досягає рекомендованої мінімальної кратності 2...6. Наявна кратність в приміщеннях від 0,7 до 1,5 крат. Але навіть при таких значеннях кратності повітрообміну, фільтр встановлений на систему вентиляції за 6 місяців дозволив зменшити кількість забруднювачів в приміщеннях на 70..76 % (рис.3).

Проведений аналіз якості повітря на забруднення зваженими частками до 0,3 мкм і більше до та після модернізації зведено в табл. 2.

Дані щодо перепаду тисків до та після фільтру при роботі вентиляційної системи перевірялись окремо. В аналогів перепад тиску на фільтрах HEPA від 150 Па (початковий) до 450 Па (кінцевий).

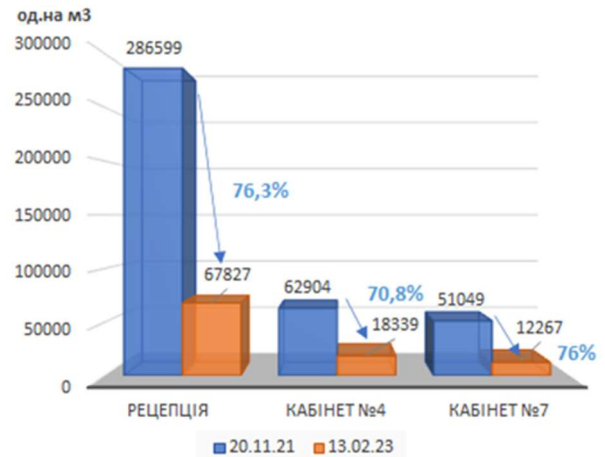


Рис.3. Показники очищення повітря в приміщенні з 20.11.21 по 13.02.23 до та після модернізації системи вентиляції фільтром Perfect 16 ID-2225 з MERV16.

Таблиця 1.

Повітряний баланс для приміщень з припливно-витяжною вентиляцією з вбудованим фільтром Perfect 16 ID-2225 з фільтрувальною вкладкою MERV16.

Номер п/п	Призначення приміщення	Об'єм приміщення, м ³	Повітрообмін при механічній вентиляції*, м ³ /годину			Мінімальний повітрообмін для ефективного очищення повітря за допомогою фільтру IQAir Perfect 16		
			приплив	викид	Кратність, год ⁻¹	Кратність, год ⁻¹	Кількість повітря, м ³ /годину	
№1	Рецепція	154	нормативний	120	120	0,7	2...6	308...924
			фактичний	110	90			
№4	Кабінет директора	138	нормативний	180	180	1,5	2...6	276...828
			фактичний	201	197			
№7	Кабінет директора	194	нормативний	180	180	1,1	2...6	388...1164
			фактичний	209	215			

* (при тін. 40 м³/годину на 1 працюючого, а в кабінетах директора при тін. 180 м³/годину) згідно Додатку X, ДБН ДБН В.2.5-67:2013.

Таблиця 2.

Показники очищення повітря в приміщенні з 20.11.21 по 13.02.23 до та після модернізації системи вентиляції фільтром Perfect 16 ID-2225 з фільтрувальною вкладкою MERV16.

Призначення приміщення	Аналіз якості повітря	Аналіз якості повітря	Рівень зниження забруднення повітря в заданому об'ємі приміщення
	Дата 20.11.2021	Дата 13.02.2023	13.02.2023
	одиниць в м ³	одиниць в м ³	%
Рецепція	286599	67827	76,3
Кабінет №4	62904	18339	70,8
Кабінет №7	51049	12267	76,0

Виробник заявляє перепад тиску на фільтрів в 44 Па при 2040 м³/час при швидкості повітря в перерізі фільтру 2,5 м/с. Існуюча система вентиляції розрахована на 1000 м³/час, швидкість повітря в перерізі фільтру складає близько 1,0 м/с. Заміри проводилися датчиком перепаду тиску SPS-G-2КО. При температурі повітря в повітроводі 17,4 °С...17,8 °С. Вологість заміряна не була. Тиск до фільтру склав 220 Па. Після – 197 Па. Таким чином перепад на фільтрі складає 23 Па. Що відповідає заявленим даним виробника. Це дозволило використати цей фільтр на існуючій системі вентиляції, без зміни потужності вентилятора (щоб компенсувати створений фільтром тиск в системі), та модернізації системи електропостачання, на під'єднання вентилятора більшої потужності.

Висновки. Встановлено, що система вентиляції подає достатньо повітря згідно існуючих норм, але цього недостатньо щоб організувати необхідну кількість зміни об'ємів повітря в годину для забезпечення очищення повітря.

При існуючому стані ремонтних робіт на об'єкті (готова конструкція стелі з мінімальним доступом) є обмежена можливість внесення змін в систему вентиляції. Але при виконанні навіть цих змін мікроклімат приміщення можна привести до бажаного стану чистоти. В даному випадку

при кратності 0,7...1,5 в офісних приміщеннях при постійній роботі системи з фільтрацією за пів року можна досягти зменшення забруднення частинок в діапазоні розмірів 0,3 – 10 мкм в повітряному середовищі на 70-76 %. При чому, низький показник перепад тиску в 23 Па дозволив встановлення фільтру в систему, не спричинивши значних змін в конструкції самої системи вентиляції, що, у свою чергу, не вплинуло на інші інженерні системи.

Перспективи подальших досліджень. Необхідні подальші дослідження в функціонуючих офісних приміщеннях з відслідковуванням моменту збільшення концентрації забруднювачів та можливості реагування системи вентиляції: в часі відслідковувати зміни концентрації забруднювачів при роботі системи для аналізу зміни повітряного середовища та реагування на ці зміни (вмикання-вимикання вентиляції, заміна фільтрів, зміна кількості повітря по приміщеннях). Визначення залежності очищення в фільтрі НЕРА від зміни температури, вологості та швидкості руху повітря в перерізі фільтру в наших кліматичних умовах.

Подяки. Роботу виконано за сприяння виробничих та апаратних потужностей ТОВ "ІСК АКСОН" в особі Ігора Кліндюка та консультативного супроводу Сергія Пендели.

References

1. Offermann, F.J., Sextro, R.G., Fisk, W.J., Grimsrud, D.T., Nazaroff, W.W., Nero, A.V., Revzan, K.L. and Yater, J. (1985). Control of respirable particles in indoor air with portable air cleaners, *Atmos. Environ.*, 19, 1761–1771.
2. Christopherson, D. A., Yao, W. C., Lu, M., Vijayakumar, R., and Sedaghat, A. R. (2020). High-Efficiency Particulate Air Filters in the Era of COVID-19: Function and Efficacy. *Otolaryngol. Head Neck Surg.* 163 (6), 1153–1155. doi:10.1177/0194599820941838.
3. Kelly, F.J, Fussell, J.C, Improving indoor air quality, health and performance within environments where people live, travel, learn and work, *Atmospheric Environment*, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.11.058>. 2018.
4. Mudiya, Pavan Kumar, "Experimental Testing and Performance Analysis of "Room Air Cleaners"" (2008). ETD Archive. 427. <https://engagedscholarship.csuohio.edu/etdarchive/427>.
5. Cao, Q., Kuehn, T.H., Kim, S.C., Ou, Q., Pei, C., Pui, D.Y.H. (2021). An Experimentally Validated Analytical Model for Aerosol Number Concentration Reduction in Classrooms. *Aerosol Air Qual. Res.* 21, 210038. <https://doi.org/10.4209/aaqr.210038>
6. Emily R. Jones, Jose Guillermo Cedeno Laurent, Anna S. Young, Piers MacNaughton, Brent A. Coull, John D. Spengler, Joseph G. Allen. The effects of ventilation and filtration on indoor PM2.5 in office buildings in four countries. *Building and Environment* 2021. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107975>.
7. Ventilation, Good Indoor Air Quality and Rational Use of Energy, Report No 23. EUR 20741 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. ECA (European Collaborative Action on, "Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure"). ISBN 92-894-5664-7. © European Communities, 2003. https://www.aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/Inive/ECA/ECA_Report23.pdf
8. Сайт IQAir. © 2022 IQAir. <https://www.iqair.com>

UDC 697.9

ENSURING NORMAL AIR QUALITY IN OFFICE PREMISES WITH THE EXISTING VENTILATION SYSTEM.

L. Makarenko¹, O. Priymak²

¹Post-graduate student. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, 2222555@ukr.net.

²Dr. Hab., prof. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, 02opriymak@gmail.com,

ORCID:0000-0002-3081-6057

Abstract. In the conditions of growing interest in indoor air cleaning and strengthening WHO recommendations regarding the concentration of suspended particles in the air (should not exceed $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), there is a need to create clear rules for placing cleaning equipment on ventilation and air conditioning systems. This applies not only to objects that are just being designed, but also to already operated objects with a functioning ventilation system. After all, it is precisely at such objects that there are limited opportunities to intervene in the work of not only engineering systems, but also the operation of the building itself during repairs. The goals of the study were to obtain data on the efficiency of air purification in a given volume with the available air exchange rate of a functioning supply-exhaust system. A separate task was to check the data declared by the manufacturer regarding the pressure drop on the built-in HERA channel filter. The most effective way to clean indoor air from pollutants is considered to be its removal from places of permanent residence of people. Using a general exchange ventilation system equipped with modern filtering equipment, you can achieve significant results in improving air quality. In this case, the ventilation system in an office building in the city center is considered, which was equipped with an additional channel filter with a MERV16 (or HEPA 11) class filter cassette. This modernization of the ventilation system in half a year of operation made it possible to reduce pollution with particles in the size range of 0.3-10 microns in the air environment of office premises by 70...76 % with an insignificant multiplicity in compliance with the norms of the minimum value of air exchange in terms of the amount of fresh air according to the sanitary norm and allowed to avoid significant capital investments for the repair of engineering networks and losses due to the impossibility of operating the building during the repair. The conclusions of the study need to be checked in office premises with an existing ventilation system when recording a gradual decrease in the concentration of pollutants in the premises during the operation of the system in order to determine the optimal multiplicity to achieve the specified air quality when using filters.

Keywords: air exchange rate, air filtration, air purification, HEPA filter.

Надійшла до редакції / Received 29.12.2022