

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 614.7

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2026-6-1>

ЗАСОБИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ЗАБРУДНЕНОГО ПОВІТРЯ В ЗАКРИТОМУ ПРИМІЩЕННІ ЗА ДОПОМОГОЮ ДОДАТКОВОГО КОМПОЗИТНОГО ФІЛЬТРА AIR GUARD

Олейнікова Ірина Веніамінівна,

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
завідувачка кафедри прикладної фізики та вищої математики
Київського національного університету технологій та дизайну
ORCID ID: 0000-0003-1756-5203

Цверкунова Анастасія Миколаївна,

технік кафедри прикладної фізики та вищої математики
Київського національного університету технологій та дизайну
ORCID ID: 0009-0005-7461-6363

Хоперський Сергій Васильович,

Голова Наглядової ради
ГО «Асоціація фахівців цивільного захисту»

Заєць Максим Олексійович,

асистент кафедри машин та агрегатів поліграфічного виробництва
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0009-0005-5731-8698

Розроблено конструкцію багатошарового фільтра для очищення повітря в закритому приміщенні при довгостроковому перебуванні людей. Запропоновано використання базальтової тканини, «коноплеона» на основі конопляної нитки, льняної та вуглецевої тканини. Кожний шар фільтра має спеціальну функцію із затримання забруднювальних частинок різних розмірів та хімічного складу. Завдяки хімічній стійкості базальту перший шар фільтра буде стійким до агресивних середовищ, а маючи високу вогнестійкість, захищатиме від полум'я. Конопляний композит має певні антисептичні властивості та пористу структуру для затримки частинок бруду. Унікальним є використання вуглецевого композиту у вигляді тканини, оскільки саме такий вид, завдяки високим адсорбувальним властивостям, максимально очищує повітря від біоцидних забрудників. Система картриджів дає змогу забезпечити своєчасну заміну або очищення фільтра. Усі матеріали, що застосовують у фільтрах, є екологічними й не забруднюють зовнішнього середовища. Для збільшення зносостійкості вуглецевої тканини при експлуатації в системах вентиляції пропонується нанесення на її поверхню двох видів покриття. Один варіант реалізується шляхом нанесення хітозану, який має біологічну природу і може використовуватися при контакті тканини зі шкірою. Другий варіант – це напilenня нано- та мікрошарів тефлону, що збільшує міцність та стійкість вуглецевої тканини до зовнішніх руйнівних впливів. Створено прототип системи фільтрів зі змінними картриджами для елемента вентиляційної системи. Конструкційне рішення може реалізовуватися в системах вентиляції різного масштабу. Можливе розширення сфери застосування не лише для приміщень, а й на транспорті.

Ключові слова: фільтрація повітря, вуглецева тканина, захист населення, фізичні властивості композитів, нанопокриття.

Oleinikova Iryna, Tsverkunova Anastasia, Hopersky Serhiy, Zaiets Maksym. Means of solving the problem of biological purification of polluted air in closed rooms using the additional composite filter "Air Guard"

A multi-layer filter design has been developed for purifying air in enclosed spaces where people stay for long periods of time. The use of basalt fabric, hemp-based "konoplepon" fabric, linen, and carbon fabric is proposed. Each layer of the filter has a special function to trap polluting particles of different sizes and chemical composition. Due

to the chemical resistance of basalt, the first layer of the filter will be resistant to aggressive environments, and with its high fire resistance, it will protect against flames. Hemp composite has certain antiseptic properties and a porous structure to trap dirt particles. The use of carbon composite in the form of fabric is unique, as this type of fabric has high adsorbing properties and maximally purifies the air from biocidal pollutants. The cartridge system allows for timely replacement or cleaning of the filter. All materials used in filters are environmentally friendly and do not pollute the external environment. To increase the wear resistance of carbon fabric when used in ventilation systems, two types of coatings are proposed for application to its surface. One option is to apply chitosan, which is biological in nature and can be used when the fabric comes into contact with skin. The second option is the spraying of nano- and micro-layers of Teflon, which increases the strength and resistance of carbon fabric to external destructive influences. The design solution can be implemented in ventilation systems of various scales. It is possible to expand the scope of application for transport too.

Key words: air filtration, carbon fabric, civil protection, physical properties of composites, nanocoatings.

Вступ. Доступ людини до чистого природного та безпечного для дихання повітря є базовим складником її життєдіяльності. Але, на жаль, з кожним роком відбувається загальна деградація якості зовнішнього повітряного середовища. Збільшилася загроза поширення тяжких масових захворювань (епідемій / пандемій), що передаються повітряно-крапельним шляхом. За останні 10 років стан повітря в Україні значно погіршився. згідно з інтернет-виданням The Guardian, про що свідчать дані [1]. Забруднення повітря призводить до виникнення великої кількості захворювань. Україна посідає шосте місце в рейтингу кількості смертей від забруднення повітря. Цей показник становить 120 смертей на рік на кожні 100 тисяч населення. Оскільки людина значний час перебуває в приміщенні, необхідно забезпечити нахождение якісного повітря через системи вентиляції.

Фільтрація повітря в приміщеннях стає окремим технологічним завданням із захисту населення від різних видів захворювань в екстремальних умовах. Ця робота присвячена розробці технологічного рішення з підвищення якості повітря в приміщенні для безпечного перебування в ньому людини. Важливість вивчення цього питання можна підтвердити деякими статистичними даними. Так, за статистикою Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), забруднення повітря щорічно спричиняє у світі близько 7 мільйонів передчасних смертей, що перевищує втрати від паління тютюну та воєнних конфліктів. У Києві, зокрема, реєструється вже декілька років один із найвищих рівнів забруднення повітря у світі. На жаль, статистики якості повітря в приміщеннях міста немає, але можна очікувати аналогічні результати порівняння й у цьому питанні. Останніми роками склалася ситуація, коли населення міста і країни загалом вимушене перебувати в приміщеннях, найчастіше – у закритих (пандемія, воєнний стан, дистанційне навчання та робота). Якість повітря при цьому здебільшого забезпечується шляхом фільтрації повітря

у вентиляційних системах або його регенерації (бомбосховища, переміщення з особливими умовами праці, технологічними вимогами). Головний критерій якості повітря у приміщенні – це мінімальний рівень його забруднення, що відповідно визначається дотриманням санітарних норм, яке забезпечується застосуванням різних технічних та організаційних заходів. Найбільш небезпечним для життя та здоров'я людини компонентом забруднення є біологічне, зокрема наявність у приміщеннях біопатогенних об'єктів (бактерій, вірусів, грибків, токсинів та інших шкідливих органічних речовин). Розгляд деяких засобів зниження біопатогенних навантажень у закритих приміщеннях є основною метою нашої роботи. Головна парадигма створення біофільтрів вентиляції та систем регенерації виходить з того, що біозабруднення поширюється та накопичується в приміщеннях із частинками вологи (найбільш небезпечні хвороби також поширюються повітряно-крапельним шляхом). Найчастіше фільтри вентиляційних систем і систем регенерації бомбосховищ містять комбінації речовин, аналогічних активованому вугіллю та синтетичних волокон, зроблених за технологіями синтепону / спанбондів. Такі матеріали та їх комбінації мають властивості поступово накопичувати вологу. Згодом вологи стає забагато для її відведення або природного осушення фільтраційної маси. Матеріал важчає і втрачає пружність, фільтраційні якості, змінює структуру. Структура фільтра перевантажується фільтратом, при спробі штучного висушування сама може стати джерелом поширення біопатогенних загроз. Спроби поновити фільтраційні й механічні якості такого елемента вентиляції залишаються марними, матеріал деградує і підлягає обов'язковій утилізації як екологічно небезпечний.

Методи та методики дослідження. Поряд з головними забрудниками повітря, як-от виробники енергії, промислові об'єкти, сільське господарство, військова техніка, авто [2], чималу небезпеку для людини створюють біологічні

патогени: гриби, віруси, спори, бактерії, протозойні мікроорганізми, паразити, фітопатогенні організми, алергени, сапрофіти.

Фільтр з очищення повітря Air Guard передбачає інтегрування змінних картриджів у багат шарові фільтраційні системи, де кожен шар виконуватиме свою функцію (рис. 1).



Рис. 1. Вигляд фільтрів у системі вентиляції

Композитний фільтр містить чотири основні компоненти, переважно з тканин. Для того щоб досягти максимально якісного очищення, фільтраційні тканини необхідно розташувати в правильному порядку, починаючи із захисту від великих частинок, потім менше й на фінальному виході повітря усунути запахи та залишкові частинки.

Оптимальна послідовність шарів відповідає такому порядку: базальтова тканина, конопляний синтепон, вуглецева тканина та лляна тканина (рис. 2). Завдання, яку має виконати цей проєкт, полягає в зменшенні концентрації шкідливих елементів та затримці біологічних частинок за допомогою головного компонента – вуглецевої біоцидної тканини. Система 3D-друку дає змогу виготовляти картриджі, добираючи розмір згідно з параметрами безпосередньо вентиляційних систем.

Грубе фільтрування може виконувати тканина з базальтового композиту. Базальт – це натуральний матеріал з високою теплостійкістю та міцністю. Волокна є екологічно чистими, придатними для вторинного перероблення та не заважають жодній екосистемі. Переваги цього компонента полягають у тому, що вона має потенціал до застосування не тільки для покращення якості повітря, уловлюючи більш крупні частинки, а і як звукоізоляційний аспект. Базальт поглинає звукові хвилі та може сприяти кращій циркуляції повітря. Якщо говорити про оснащення в бомбосховищах, ця функція буде особливо корисною, не даючи звукам воєнних дій проникнути у приміщення, зберігаючи спокій людей.

Конопляний синтепон – об'ємний матеріал з волокон. Пухнаста структура захоплює дрібний пил усередині об'єму, не заважає потоку повітря. Коноплі є одним з найміцніших рослинних волокон, що здатні витримувати навантаження та знос. Вони мають антистатичні властивості, якими зменшують привабливість для пилу та інших забруднень.



Рис. 2. Картриджі з фільтрами Air Guard

Головним компонентом композитного фільтра є вуглецева тканина. Вона має високу пористість та велику поверхню, що дає змогу поглинати значну кількість забруднювальних речовин. У повітрі, що проходить через цей шар фільтра, активована вуглецева тканина абсорбує молекули забруднювальних речовин (як-от запахи, хімічні пари, леткі органічні сполуки та інші забрудники). Метод, що дає змогу видаляти з повітря шкідливі для організму біологічні частинки, базується на принципі «затягування біологічних мікрочастинок у порожнини». Вуглецева тканина при активації має високу абсорбційну здатність. Активовані вуглецеві структури можуть не тільки абсорбувати, а й хімічно реагувати з певними забрудниками, нейтралізуючи їх. Наприклад, деякі види активованого вугілля можуть бути оброблені для поліпшення здатності видаляти специфічні токсини або гази [3].

Передбачено два варіанти захисту тканини методом покриття спеціальними матеріалами залежно від необхідності – тефлоном і хітозаном. Хітозан є біологічно чистим матеріалом і може використовуватися для тканин як медична пов'язка. Тефлон, своєю чергою, може використовуватися для покриття тканини при застосуванні без прямого контакту з людиною, як-от фільтрація повітря.

Лляні волокна мають високу повітропроникність, що дає змогу повітрю вільно циркулювати, а це допомагає запобігти утворенню конденсату і цвілі. Крім того, волокна мають природні антимікробні властивості, що може знижувати ризик розвитку бактерій та грибків у системі вентиляції. Матеріал здатний вбирати вологу і швидко її випаровувати, а також допомагає регулювати температуру. Це сприяє підтримці оптимального рівня вологості в приміщенні та створенню комфортного мікроклімату.

Результати. Властивості вуглецевої тканини досліджені під час COVID-19, де матеріал був компонентом у захисній лицьовій масці. Вуглецевій тканині притаманна низька поверхнева щільність, високорозвинена пориста поверхня, нановимірна структура, атмосферостійкість, біостійкість та біоінертність [4–5].

Головною перевагою фільтра є його довговічність завдяки мобільності картриджів. Після тривалого використання можна очистити тканини різними методами. Лляний та

конопляний фільтр можна відновити методом пропарювання. Базальтовий фільтр найстійкіший і взагалі не потребує частотої заміни. Для очищення достатньо промити водою. Вуглецевий фільтр очищується трьома різними методами: пропарювання, очищення за допомогою УФ-опромінення або методом випалювання за температури до 200 °С. Після 5–6 циклів відновлення вуглецевого фільтра тканина починає зношуватися й потребує заміни, але не стає марною. Може використовуватися надалі як фільтр для води.

Для розширення сфери застосування передбачено можливість використання в транспортних засобах. Для економії палива авіакомпанії часто використовують частково вентиляційну та кондиціональну систему, що може призводити до нестачі оновлення повітря в салоні. Так само в автобусах. Повітря в салоні є сумішшю свіжого повітря, що забирається зовні, і повітря із салону, що не циркулює. Через це здорові пасажери змушені дихати вірусами хворих.

Запропоновані картриджі вентиляційної системи можна зменшити до відповідних розмірів та розмістити біля кожного пасажера. Регулярне очищення фільтрів не становитиме особливих труднощів, але убезпечить людей від вірусів, а також знизить ризик забруднення.

Висновки. Знайдено ефективне рішення для організації фільтрації повітря в сучасних вентиляційних і регенеративних системах за компонентами біологічного навантаження, зокрема біопатогенної.

Розроблено композитний фільтр повітря Air Guard із застосуванням спеціалізованих нових матеріалів. Обґрунтовано вибір вуглецевої тканини та спеціальних натуральних тканин (льон, коноплі, базальт) як складників композитного фільтра, що забезпечують відновлення фільтраційних властивостей у критичних умовах. Використання фільтра з вуглецевої тканини, яка має унікальні адсорбційні якості стосовно частинок, що є біопатогенними об'єктами, робить його унікальним у своєму сегменті. Можливість регенерації компонентів підвищує довговічність та знижує експлуатаційні витрати.

Так, фільтр Air Guard має значний потенціал для впровадження в системи очищення повітря, сприяючи підвищенню рівня екологічної безпеки та збереженню здоров'я населення.

ЛІТЕРАТУРА:

1. China tops WHO list for deadly outdoor air pollution. *The Guardian*. 2012. URL: https://www.theguardian.com/environment/2016/sep/27/more-than-million-died-due-air-pollution-china-one-year?CMP=twt_a-environment_b-gdneco

2. Природоохоронні технології. Частина 1. Захист атмосфери: навчальний посібник / Северин Л. І., Петрук В. Г., Безвозюк І. І., Васильківський І. В. Вінниця : ВНТУ, 2012. 8 с.
3. Ganjoo R., Sharma S., Kumar A., Daouda M. M. A. Activated Carbon Progress and Applications. Ed. C. Verma and M. A. Quraishi. *The Royal Society of Chemistry*. 2023. Ch. 1. P. 1–22.
4. Кононко І. В., Сергєєв В. П., Щербицька О. В., Кліпов В. Д., Кононко Н. В. Вуглецеві наноструктурні матеріали: токсичність та біосумісність. *Вісник УМТ*. 2015. № 1. С. 58–67.
5. Кононко І. В., Щербицька О. В., Кліпов В. Д., Сергєєв В. П., Уварова І. В. Вуглецевий наноструктурний волокнистий матеріал та екологія. Застосування для захисту довкілля. *Довкілля та здоров'я*. 2014. № 4. С. 24–29.

REFERENCES:

1. China tops WHO list for deadly outdoor air pollution. *The Guardian*, 2012. Retrieved from: https://www.theguardian.com/environment/2016/sep/27/more-than-million-died-due-air-pollution-china-one-year?CMP=tw_t_a-environment_b-gdneco
2. Pryrodookhoronni tekhnolohii. Chastyna 1. Zakhyst atmosfery: navchalnyi posibnyk [Environmental protection technologies. Part 1. Protection of the atmosphere: textbook] / Severyn L. I., Petruk V. H., Bezvoziuk I. I., Vasylykivskiy I. V. Vinnytsia : VNTU, 2012. 8 p. [in Ukrainian].
3. Ganjoo, R., Sharma, S., Kumar, A., & Daouda, M. M. A. (2023). Activated Carbon Progress and Applications. Ed. C. Verma and M. A. Quraishi. *The Royal Society of Chemistry*, 1, 1–22.
4. Kononko, I. V., Serhieiev, V. P., Shcherbytska, O. V., Klipov, V. D., Kononko, N. V. (2015). Vuhletsevi nanostrukturni materialy: toksychnist ta biosumisnist [Carbon nanostructured materials: toxicity and biocompatibility]. *“Visnyk” UMT – “Visnyk” UMT*, 1, 58–67 [in Ukrainian].
5. Kononko, I. V., Shcherbytska, O. V., Klipov, V. D., Serhieiev, V. P., & Uvarova, I. V. (2014). Vuhletsevyi nanostrukturnyi voloknystyi material ta ekolohiia. Zastosuvannia dlia zakhystu dovkillia [Carbon nanostructured fibrous material and ecology. Application for environmental protection]. *Dovkillia ta zdorovia – Environment and health*, 4, 24–29 [in Ukrainian].



Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу
CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 20.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 07.01.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 16.03.2026