

УДК 614.844.4

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФІЛЬТРІВ-ПОГЛИНАЧІВ У СИСТЕМАХ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ ЗАХИСНИХ СПОРУД ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

[https://doi.org/10.33269/nvcz.2025.1.\(19\).24-30](https://doi.org/10.33269/nvcz.2025.1.(19).24-30)

Бенедюк В. С.^{1*}, ORCID iD 0000-0002-5109-5295

Борисов А. В.², ORCID iD 0000-0001-6858-0492

Володченко М. А.¹, ORCID iD 0009-0007-8551-755X

Зазимко О. В.¹, ORCID iD 0000-0001-7496-0248

Огурцов С. Ю.¹, ORCID iD 0000-0003-3224-9436

*E-mail: naanotek@ukr.net

¹Інститут наукових досліджень з цивільного захисту НУЦЗ України, Україна

²Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 25.09.2024

Пройшла рецензування: 03.10.2024

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

фільтр-поглинач, очищення повітря, захисні споруди, цивільний захист, фільтровентиляційна система, адсорбція, активоване вугілля, герметичність, аеродинамічний опір, модельні речовини, випробування, безпека населення.

АНОТАЦІЯ

У статті розглянуто актуальні аспекти оцінки ефективності фільтрів-поглиначів, що є ключовими елементами систем очищення повітря у захисних спорудах цивільного захисту. Одним із головних компонентів, що забезпечує життєдіяльність у захисному укритті, є фільтр-поглинач, завданням якого є видалення шкідливих домішок з повітря, що надходить у внутрішній простір споруди. У межах дослідження проаналізовано конструктивні типи фільтрів-поглиначів, які застосовуються в Україні, зокрема фільтри серії ФП, ФПУ, ФВК-ЗФ, а також регенеративні патрони типу РП-100. Особливу увагу приділено сучасним ізраїльським фільтрам ARCONIK серії AFU, які демонструють високий ступінь очищення, простоту обслуговування та відповідність європейським стандартам. Наведено порівняльну таблицю технічних характеристик вказаних фільтрів, де враховано продуктивність, аеродинамічний опір, номінальні отвори та інші експлуатаційні показники. У роботі акцентовано увагу на основних технічних параметрах, які визначають ефективність фільтрів: аеродинамічний опір при номінальній витраті повітря, герметичність конструкції та здатність до адсорбції модельних речовин, таких як диметилметилфосфонат, хлорціан та толуол. Детально описано методики випробування, що використовуються для оцінки зазначених показників. Представлено 3D-моделі випробувальних установок, призначених для визначення опору, герметичності, здатності до адсорбції у фільтрі та у тестовій колоні з активованим вугіллем. Визначено, що згідно з вимогами ДСТУ 9077:2021 фільтри мають відповідати суворим технічним нормам, зокрема не перевищувати граничні значення опору та забезпечувати повну фільтрацію без прориву. Звертається увага на необхідність гармонізації національних нормативів із європейськими та на впровадження більш сучасних підходів до сертифікації й моніторингу якості повітря в умовах надзвичайних ситуацій. У висновках окреслено перспективні напрями подальших досліджень: впровадження новітніх сорбентів, адаптація мобільних систем контролю повітря, вдосконалення конструкцій фільтрів та модернізація наявної нормативно-технічної бази з урахуванням європейських практик.

Постановка проблеми У сучасних умовах зростаючої кількості надзвичайних ситуацій, пов'язаних як із техногенними

катастрофами, так і з військовими діями, особливої актуальності набуває створення ефективної системи захисту населення.

Однією з найважливіших складових такої системи є захисні споруди цивільного захисту, які забезпечують безпечне перебування людей у разі хімічного, радіаційного або біологічного забруднення зовнішнього середовища.

Найважливішим компонентом життєзабезпечення у таких спорудах є система очищення повітря, в якій ключову роль відіграє фільтр-поглинач. Саме він забезпечує фільтрацію шкідливих речовин з повітря, що потрапляє до сховища, створюючи безпечні умови для перебування людей. Оцінка показників їх якості дозволяє не лише забезпечити належний рівень безпеки, а й оптимізувати ресурси, підвищити ефективність експлуатації захисних систем. У зв'язку з цим аналіз якісних характеристик фільтрів-поглиначів є надзвичайно актуальним для розробки та удосконалення заходів цивільного захисту в Україні.

Також слід зазначити, що вентиляційні системи в захисних спорудах цивільного захисту повинні забезпечувати роботу в трьох режимах згідно [1]:

Режим I - природна вентиляція (звичайний режим), застосовується в умовах відсутності загрози зараження повітря. Вентиляція здійснюється природним або примусовим способом без фільтрації повітря.

Режим II - фільтровентиляційний режим, застосовується при загрозі радіоактивного, хімічного або біологічного зараження повітря. Вентиляція здійснюється або примусовим способом із фільтрацією повітря. Робота вентиляції повинна забезпечуватися мінімум 12 годин.

Режим III - режим регенерації повітря (автономний режим), застосовується у надзвичайно небезпечних умовах, коли зовнішнє повітря неможливо використовувати навіть після фільтрації. Відбувається повна рециркуляція повітря всередині укриття. Проектується на не менше 6 годин, часто 8 - 12 годин.

Фільтри-поглиначі призначені для очищення повітря від пилу, бойових

отруйних, небезпечних хімічних, радіоактивних та біологічних речовин.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Функціональні та технічні показники фільтри-поглиначів визначені у нормативних документах [2], [3]. Фільтри-поглиначі поділяються на кілька категорій залежно від їхнього функціонального призначення та типу шкідливих речовин, що підлягають нейтралізації. Найбільш поширені такі типи:

- **Фільтри ФВК-ЗФ** (фільтр-вентиляційний комплект захисного фонду) – комплексні системи очищення повітря від радіоактивного пилу, аерозолів, отруйних речовин та бактеріологічних агентів.

- **ФПУ** – універсальні поглиначі для тривалої експлуатації у системах ЦЗ.

- **Фільтри на основі активованого вугілля** – високоселективні поглиначі для газоподібних домішок (наприклад, фосгену, хлору, синильної кислоти).

Також для поглинання вуглекислого газу (CO_2), що видихається людьми в замкненому середовищі використовуються в системах очищення повітря захисних споруд цивільного захисту можуть застосовуватись регенеративні патрони.

Фільтр-поглинач працює за принципом адсорбції, хемосорбції та механічної фільтрації. Детальний опис захисної дії фільтра розкрито в статті [4].

Фільтри класифікують за:

- типом забруднень, які вони поглинають (газові, аерозольні, біологічні);

- призначенням (протигазові, протипилові, комбіновані);

- конструктивними особливостями (стаціонарні, змінні картриджі).

Формулювання цілей дослідження. Мета роботи полягає у вивченні технічних характеристик фільтрів-поглиначів, що використовуються у системах очищення повітря захисних споруд цивільного захисту, а також у визначенні ефективності їх роботи за ключовими показниками, зокрема опору повітряному потоку, герметичності, та здатності до адсорбції модельних

небезпечних речовин. Додатковою метою є порівняльний аналіз вітчизняних моделей фільтрів із зарубіжними аналогами типу ARCONIK AFU для обґрунтування доцільності модернізації систем фільтрації в Україні.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені наступні завдання:

проаналізувати нормативно-технічну базу щодо вимог до фільтрів-поглиначів (зокрема, ДСТУ 9077:2021);

провести класифікацію фільтрів за типом дії, призначенням і конструктивними особливостями;

розглянути технічні характеристики типових зразків фільтрів серій ФП, ФПУ, РП та AFU;

розробити 3D-моделі випробувальних установок для визначення опору повітряному потоку, герметичності фільтрів і їхньої адсорбційної здатності;

визначити методику проведення кожного з типів випробувань згідно з вимогами стандарту та критеріями оцінки відповідності.

Методи дослідження. Включали:

аналітичний метод, що застосовувався для опрацювання нормативної документації та наукових джерел з метою систематизації вимог до фільтрів-поглиначів;

метод технічного моделювання, що передбачав створення 3D-моделей випробувальних установок для візуалізації процесів оцінки показників якості;

експериментальний метод (на етапі планування), з використанням модельних речовин (диметилметилфосфонату, толуолу, хлорціану) для визначення часу прориву і розрахунку адсорбційної ємності;

порівняльний метод, що дозволив провести співставлення вітчизняних і зарубіжних зразків фільтрів за ключовими параметрами: ефективністю фільтрації, опором, простотою обслуговування.

Виклад основного матеріалу.

Аналіз типів фільтрів-поглиначів, які застосовуються в Україні показав, що альтернативними до фільтрів серії ФП на сьогоднішній день в Україні є високоефективні фільтри-поглиначі ARCONIK типу AFU. Фільтри підходять для заміни фільтрів-поглиначів типу ФП. Фільтри серії AFU компактні, довговічні і не потребують обслуговування. Вони складаються з механічного і хімічного елементів. Хімічний елемент представляє собою активоване вугілля з внутрішньою поверхнею не менше 880 м²/г (визначення за методом Б.Е.Т.) імпрегноване солями металів і триетилдіаміном.

Ефективність очищення механічним елементом фільтра-поглинача повинна становити не менше ніж 99,995% і визначатися згідно з [2], [5].

Здатність хімічного елементу до адсорбції газів і парів небезпечних речовин визначається у мг·хв/м³ по таким тестовим речовинам: диметилметилфосфонат (ДДМФ), хлорціан (СК) та толуол [6]. Щодо фільтрів-поглиначів серії ФП то дані по вищезазначеним тестовим речовинам невідомі. Серія фільтрів ФП тестується за здатністю до поглинання хлорпікрину. В статті [7] детально розкрито час захисної дії від небезпечних хімічних речовин в інтервалі заданих концентрацій.

В таблиці 1 наведені розповсюджені типи фільтрів та їх технічні характеристики.

Таблиця 1 – Типи фільтрів та їх технічні характеристики

Назва фільтра	Продуктивність, м³/год	Опір, Па	Номінальний отвір, мм	Особливості використання
ФП-100	100	до 589	100	Для невеликих споруд, стаціонарний
ФПУ-200	200	до 1177	120	Широко використовується, універсальний
ФП-300	300	до 1177	120	Для великих обсягів повітря
РП-100	100	до 300	100	Поглинає CO ₂ , регенеративний патрон
AFU 100	100	180	100	SAFE 360, до 6 осіб, ручний режим
AFU 180	180	500	200	Підлогове встановлення
AFU 240	240	500	200	Підлогове встановлення
AFU 300	300	500	200	Підлогове встановлення
AFU 450	450	500	200	Підлогове встановлення
AFU 600	600	500	200	Підлогове встановлення
AFU 900	900	500	200	Підлогове встановлення
AFU 1200	1200	1000	200	Підлогове встановлення
AFU 1800	1800	1000	200	Підлогове встановлення

Загальні технічні вимоги до фільтрів-поглиначів визначено в ДСТУ 9077, який відносно недавно набув чинності з 01.12.2021 року.

Стандарт встановлює обов'язкові вимоги до фільтрів-поглиначів, які використовуються в системах вентиляції захисних споруд. Ці вимоги охоплюють як механічні, так і хімічні елементи фільтрів.

З метою перевірки показників якості фільтрів в Інституті проводяться роботи з створення випробувального обладнання для визначення таких показників:

- опір повітря та номінальної витрати повітря засобів очищення повітря;
- герметичність засобів очищення повітря;
- здатність до адсорбції активованим вугіллям модельних речовин у тестовій колоні;
- здатність до адсорбції модельних речовин у фільтрі.

За критеріями оцінки відповідності визначення опору за номінальної витрати повітря повинен забезпечувати згідно з технічною документацією на засіб.

На рисунку 1 наведена 3D модель випробувальної установки для визначення опору за номінальної витрати повітря наведено.

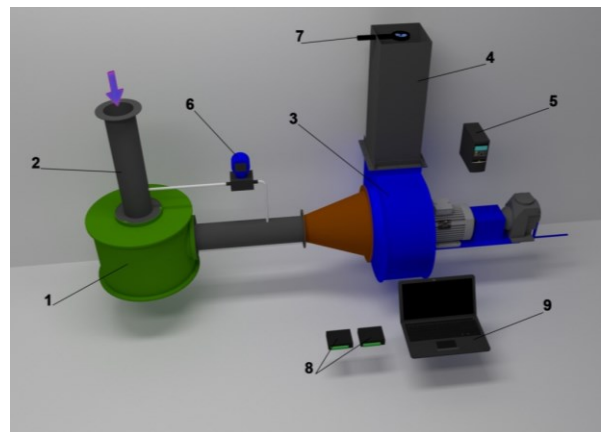


Рисунок 1 – Визначення опору за номінальної витрати повітря

1 – фільтр-поглинач; 2 – вхідний повітропровід; 3 – з'єднувальний повітропровід; 4 – вихідний повітропровід; 5 – регулятор обертів двигуна (частотний перетворювач); 6 – диференційний манометр; 7 – анемометр; 8 – реєстратор даних; 9 – ноутбук із програмним забезпеченням

Суть методу випробування полягає у вимірюванні різниці тиску на вході і виході із засобів очищення повітря у разі проходження крізь нього постійного потоку повітря із заданою номінальною витратою.

На рисунку 2 наведена 3D модель випробувальної установки щодо

визначення герметичності фільтрів-поглиначів.

Критерій оцінки відповідності щодо визначення герметичності фільтрів-поглиначів базується на створенні надлишкового тиску 1 кПа, допустиме падіння тиску протягом 1 хв не більше 10 Па. Фільтр монтується до повітряного колектору. На вхід подається за допомогою компресора контрольований об'єм повітря під надлишковим тиском. За допомогою диференційного манометра вимірюють різницю тисків. Проводиться розрахунок ступеня негерметичності як відсоток від загального потоку.

Такий підхід дозволяє виявити навіть мікроскопічні витоки й гарантувати, що повітря, яке надходить до захисного середовища, проходить через повноцінне очищення.

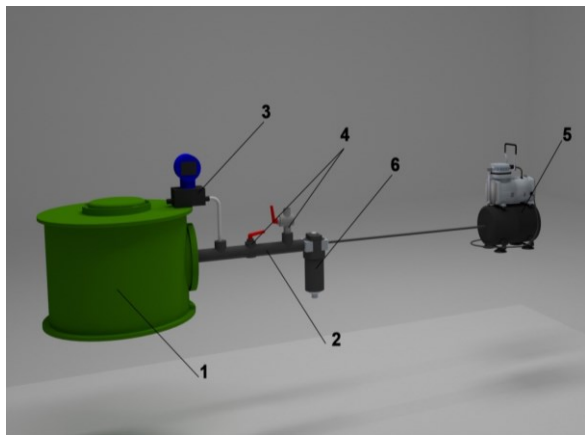


Рисунок 2 – Визначення герметичності фільтрів-поглиначів

1 – фільтр-поглинач; 2 – колектор; 3 – диференційний манометр; 4 – крани; 5 – компресор; 6 – фільтр вологи.

Основним показником якості визначення здатності до адсорбції модельних речовин є час прориву – момент, коли концентрація речовини за шаром адсорбенту перевищує 5% від вхідної.

На рисунку 2 наведена 3D модель випробувальної установки з визначення здатності до адсорбції модельних речовин.

Для імітації бойових або промислових забруднювачів

використовують хімічні аналоги, диметилметилфосфонат (ДММФ), толуол, ацетон.

Фільтр встановлюється у випробувальну установку, через який за допомогою компресора подається повітря із заданої концентрацією модельної речовини. За допомогою індикатора розчину контролюється проскок тестової речовини за фільтром. Час до появи прориву фіксується, і на основі цього обчислюється адсорбційна ємність (в $\text{мг} \cdot \text{хв} / \text{м}^3$).

Здатність до адсорбції активованим вугіллям модельних речовин у тестовій колоні визначається за принципом вищезазначеного методу, тільки замість фільтра використовується тестова колона в яку засипається активоване вугілля.

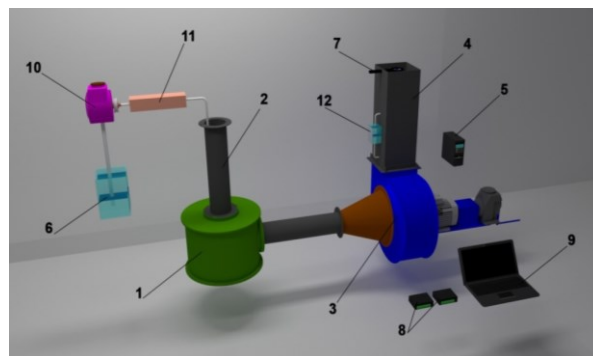


Рисунок 3 - Схема щодо визначеності до адсорбції модельних речовин

1 – фільтр-поглинач; 2 – вхідний повітропровід; 3 – з'єднувальний повітропровід та вентилятор; 4 – вихідний повітропровід; 5 – регулятор обертів двигуна (частотний перетворювач); 6 – ємність з тестовою речовиною; 7 – анемометр; 8 – реєстратор даних; 9 – ноутбук із програмним забезпеченням; 10 – перистальтичний насос; 11 – нагрівач; 12 – ємність з індикатором розчину

Типова схема адсорбції активованим вугіллям модельних речовин у тестовій колоні зображена на рисунку 4.

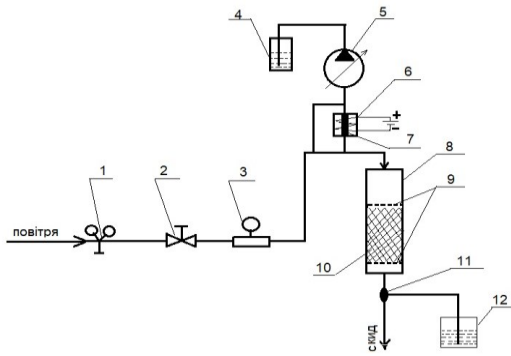


Рисунок 4 – Типова схема здатності до адсорбції активованим вугіллем модельних речовин у тестовій колоні

1 – редуктор повітряний; 2 – вентиль тонкого регулювання; 3 – лічильник газу мас-термальний; 4 – ємність з модельною речовиною; 5 – перистальтичний насос; 6 – електричний нагрівач; 7 – сопло двохконтурне; 8 – адсорбційна колонка; 9 – решітки; 10 – адсорбент; 11 – дільник потоку; 12 – склянка з індикатором розчину.

Висновки та напрями подальших досліджень. У статті розглянуто ключову роль фільтрів-поглиначів як основного елементу системи очищення повітря у захисних спорудах цивільного захисту. Аналіз сучасних типів фільтрів, зокрема вітчизняних моделей серії ФП та високоефективних фільтрів

ARCONIK серії AFU, дозволив зробити висновок, що технічні характеристики зарубіжних зразків часто перевищують національні аналоги за низкою показників: опір повітряному потоку, ефективність механічної фільтрації, адсорбційна здатність та простота експлуатації.

Наголошено на важливості відповідності фільтрів нормативним вимогам, що регламентує технічні характеристики, методи випробувань і критерії оцінки відповідності. Наведено результати моделювання випробувань на герметичність, опір та адсорбцію, які свідчать про необхідність постійного технічного контролю й модернізації існуючих фільтраційних систем.

Встановлено, що ефективність системи очищення повітря залежить не лише від конструкції фільтра, а й від якості сорбентів, зокрема активованого вугілля, яке використовується як в окремих патронах, так і в тестових колонах.

Заплановано розроблення зазначених випробувальних установок, розроблення необхідної технічної документації на них. Проведення верифікації та тестових випробувань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту. Київ, 2023.
- ДСТУ 9077:2021. Засоби очищення повітря захисних споруд цивільного захисту. Київ, 2021.
- СОУ МНС 75.2-00013528-004:2010. Безпека у надзвичайних ситуаціях. Засоби очищення повітря захисних споруд цивільного захисту. Класифікація і загальні технічні вимоги. Київ, 2010.
- Kovalenko, V., Borysova, A., Pliuta, I., & Likhnovsky, R. (2018). Адсорбція як основа захисної дії фільтрів-поглиначів. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека, 2(6), 59–63. <https://doi.org/10.33269/nvcz.2018.2.59-63> (дата звернення: 25.04.2025).
- ДСТУ EN 1822-1:2019. Фільтри повітряні високоефективні. Класифікація, випробування експлуатаційних характеристик, маркування. Київ, 2019.
- Стандарт Ізраїлю 4570. Система вентиляції та фільтрації повітря у бомбосховищах (захисних спорудах): фільтри. Тель-Авів: Інститут стандартів Ізраїлю, 2010.
- Kovalenko, V., Borysova, A., Kravchenko, V., & Likhnovskyi, R. (2019). Нормативно-технічні аспекти захисної дії фільтрів-поглиначів, що застосовуються для колективного захисту. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека, 2(8), 50–56. <https://doi.org/10.33269/nvcz.2019.2.50-56> (дата звернення: 25.04.2025).
- Кодекс цивільного захисту України: Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI. Відомості Верховної Ради України, 2013, № 34–35, ст. 458.

REFERENCES

- DBN V.2.2-5:2023. (2023). *Zakhysni sporudy tsyvilnoho zakhystu* [Protective structures of civil protection]. Kyiv: Ministerstvo rozvytku hromad ta terytorii Ukrainy.
- DSTU 9077:2021. (2021). *Zasoby ochyshchennia povitria zakhysnykh sporud tsyvilnoho zakhystu* [Air purification devices for civil protection shelters]. Kyiv: DP "UkrNDNTs".
- SOU MNS 75.2-00013528-004:2010. (2010). *Bezpeka u nadzvychainykh sytuatsiiakh. Zasoby ochyshchennia povitria zakhysnykh sporud tsyvilnoho zakhystu. Klyasyfikatsiia i zahalni tekhnichni vymohy* [Safety in emergencies. Air purification means of civil protection shelters. Classification and general technical requirements]. Kyiv: MNS Ukrainy.

4. Kovalenko, V., Borysova, A., Pliuta, I., & Likhnovsky, R. (2018). Adsorbtsiia yak osnova zakhysnoi dii filtriv-pohlynachiv [Adsorption as a basis of the protective action of absorber filters]. *Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*, (2), 59–63. <https://doi.org/10.33269/nvcz.2018.2.59-63>
5. DSTU EN 1822-1:2019. (2019). *Filtry povitriani vysokoeffektyvni. Klasyfikatsiia, vyprovuvannia ekspluatatsiinykh kharakterystyk, markuvannia* [High-efficiency air filters. Classification, performance testing, labeling]. Kyiv: DP “UkrNDNTs”.
6. Israel Standard 4570. (n.d.). *Systema ventyliatsii ta filtratsii povitria u bomboskhovyschakh (zakhysnykh sporudakh): filtry* [Air ventilation and filtration systems in bomb shelters (protective structures): filters]. Tel Aviv: The Standards Institution of Israel.
7. Kovalenko, V., Borysova, A., Kravchenko, V., & Likhnovskyi, R. (2019). Normatyvno-tekhichni aspekty zakhysnoi dii filtriv-pohlynachiv, shcho zastosovuiutsia dlia kolektyvnoho zakhystu [Normative and technical aspects of the protective action of absorber filters used for collective protection]. *Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*, (2), 50–56. <https://doi.org/10.33269/nvcz.2019.2.50-56>
8. Kodeks tsyvilnoho zakhystu Ukrainy No. 5403-VI. (2012, October 2). *Zakon Ukrainy “Pro tsyvilnyi zakhyst”* [Civil Protection Code of Ukraine]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>

EEVALUATION OF THE EFFICIENCY OF ABSORBER FILTERS IN AIR PURIFICATION SYSTEMS OF CIVIL DEFENSE FACILITIES

V. Benediuk¹, A. Borysov², M. Volodchenko¹, O. Zazymko¹, S. Ohurtsov¹

¹*Institute of Scientific Research on Civil Protection of the National University of Civil Protection of Ukraine, Ukraine*

²*Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine*

KEYWORDS	ABSTRACT
air-purifying filter, air purification, protective shelters, civil protection, filtration and ventilation system, adsorption, activated carbon, airtightness, aerodynamic resistance, model substances, testing, population safety	The article discusses current aspects of assessing the effectiveness of filter absorbers, which are key elements of air purification systems in civil defense shelters. One of the main components that ensures life support in a protective shelter is an absorption filter, whose task is to remove harmful impurities from the air entering the interior of the structure. The study analyzes the design types of filter absorbers used in Ukraine, in particular the FP, FPU, and FVK-ZF series filters, as well as RP-100 type regenerative cartridges. Particular attention is paid to modern Israeli ARCONIK AFU series filters, which demonstrate a high degree of purification, ease of maintenance, and compliance with European standards. A comparative table of the technical characteristics of these filters is provided, taking into account performance, aerodynamic resistance, nominal openings, and other operational indicators. The paper focuses on the main technical parameters that determine the efficiency of filters: aerodynamic resistance at nominal air flow, structural tightness, and the ability to adsorb model substances such as dimethyl methylphosphonate, chlorine cyanide, and toluene. The testing methods used to evaluate these parameters are described in detail. 3D models of test rigs designed to determine resistance, tightness, and adsorption capacity in a filter and in a test column with activated carbon are presented. It has been determined that, in accordance with the requirements of DSTU 9077:2021, filters must comply with strict technical standards, in particular, they must not exceed the resistance limit values and must ensure complete filtration without breakthrough. Attention is drawn to the need to harmonize national standards with European ones and to introduce more modern approaches to certification and monitoring of air quality in emergency situations. The conclusions outline promising areas for further research: the introduction of the latest sorbents, the adaptation of mobile air control systems, the improvement of filter designs, and the modernization of the existing regulatory and technical framework, taking into account European practices.