

## ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНИХ АСПЕКТІВ ВИКОРИСТАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Бордюг Н. С., Ращенко А. В., Корпан І. І., Черкавський В. В.

Об'єктом дослідження є ступінь забруднення атмосферного повітря у результаті роботи підприємств окремих галузей промисловості та технології їх очистки. Одним із пріоритетних завдань є забезпечення екологічної безпеки держави, проте для його виконання необхідно мінімізувати забруднення атмосферного повітря. Для цього варто налагодити повноцінну систему моніторингу, а також модернізувати, підтримувати функціонування та контроль систем очистки повітря, забрудненого в результаті технологічних процесів підприємств різних галузей промисловості. У роботі здійснено розробку методики контролю та вибору очисного обладнання на підприємстві, використовуючи інструменти системного аналізу. Визначено два сценарії організаційно-управлінських дій за цією методикою. Перший сценарій – ступінь очистки викидів понад 90 % – передбачає, що обладнання, наявне на підприємстві, забезпечує задовільний стан повітря, що потрапляє в довкілля в результаті виробничих процесів. У випадку реалізації даного сценарію, головним завданням є підтримка високого рівня очистки викидів підприємства. З цією метою на підприємстві доцільно здійснювати:

- постійний контроль за роботою та станом систем очищення повітря;
- належне технічне обслуговування обладнання (вчасну заміну та очистку фільтрів тощо);
- періодичне навчання та підвищення кваліфікації персоналу підприємства, відповідального за роботу обладнання та основні технологічні процеси підприємства.

Другий сценарій – ступінь очистки викидів до 90 % – передбачає, що обладнання, наявне на підприємстві перебуває у незадовільному стані та не забезпечує належної очистки повітря. У випадку реалізації даного сценарію, алгоритм дій керівництва та головних спеціалістів підприємства має включати такі управлінсько-організаційні дії:

- вивчення та оцінка наукових розробок та наявного на ринку сучасного очисного обладнання;
- порівняння технологічних характеристик альтернативних моделей обладнання та вибір найкращого варіанту з урахуванням нормативних вимог і виробничо-технологічних обмежень;
- прийняття рішення на основі результатів SWOT-аналізу.

Встановлено ефективність розробленої методики на прикладі підприємства м'ясопереробної галузі.

**Ключові слова:** *атмосферне повітря, очисне обладнання, викиди забруднюючих речовин, ступінь очистки викидів.*

## **1. Вступ**

Одним із основних чинників забезпечення екологічної безпеки в світі є чисте атмосферне повітря, яке впливає на здоров'я населення. Адже дослідження доводять, що існує прямий зв'язок між інтенсивністю забруднення атмосферного повітря та самопочуттям людей [1]. Досягти стану мінімального забруднення повітря можливо шляхом поєднання активних заходів у сфері очистки вихлопних газів від пересувних джерел забруднення та недопущення потрапляння забруднюючих речовин від стаціонарних джерел [2]. Останні представлені переважно підприємствами різних галузей промисловості та об'єктами паливно-енергетичного комплексу. Більшість підприємств, що здійснюють виробництво основних видів ресурсів (електроенергії, води та газу), необхідних для забезпечення промисловості та побутових потреб, вимагають значної модернізації та переобладнання. І це завдання вбачається як одне з пріоритетних для забезпечення державної та екологічної безпеки, що буде розглянуто на прикладі України. Що ж стосується інших заходів, що потенційно здатні мінімізувати забруднення атмосферного повітря, то вони переважно стосуються налагодження повноцінної системи моніторингу, модернізації, підтримки функціонування та контролю систем очистки повітря, забрудненого в результаті технологічних процесів підприємств інших галузей промисловості. Саме цьому питанню та присвячене дане дослідження.

## **2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит**

*Об'єкт дослідження* – ступінь забруднення атмосферного повітря у результаті роботи підприємств окремих галузей промисловості та технології їх очистки. Щорічно функціонування підприємств призводить до вироблення декілька сотень тисяч тонн шкідливих речовин, у тому числі і специфічних речовин. Лише менше 50 % цих речовин проходить систему очищення. Існуюче очисне обладнання на підприємствах не забезпечує необхідного ступеня очистки, а наявне застаріле обладнання ускладнює реалізацію заходів щодо попередження утворення поллютантів.

Зростання масштабів виробництва призводить до збільшення рівня забруднення атмосферного повітря, що в свою чергу спричиняє такі явища: руйнування озонового шару, зміну клімату, зростання частоти туманів, а також погіршення умов життя населення.

## **3. Мета та задачі дослідження**

*Мета дослідження* – обґрунтувати теоретичні та методичні аспекти контролю та вибору очисного обладнання на підприємстві для забезпечення ефективності очистки викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

1. Розробити методику контролю та вибору очисного обладнання на підприємстві.
2. Проаналізувати особливості контролю за встановленим очисним обладнанням.

3. Оцінити ефективність розробленої методики на прикладі конкретного підприємства.

#### **4. Дослідження існуючих рішень проблеми**

Забруднення атмосферного повітря є глобальною екологічною проблемою, активно досліджувати яку науковці почали з кінця 1950-х років. У результаті, вченими доведено наявність тісного зв'язку між забрудненням атмосферного повітря та смертністю людей від легеневих, серцево-судинних та інших хвороб [3]. Більше того, останні наукові доробки доводять наявність синергетичного ефекту між дією окремих забруднюючих речовин та проявами змін клімату, що підсилюють негативний вплив один одного на організм людини [4, 5]. Все це зумовлює надзвичайну важливість досліджень, пов'язаних зі зменшенням впливу антропогенної діяльності на стан повітряного середовища.

Викиди забруднюючих речовин, що утворюються в результаті здійснення технологічних процесів промислових підприємств, є одним з найбільш інтенсивних джерел негативного впливу на атмосферне повітря. Досвід Європейського Союзу (ЄС) засвідчує, що зменшити такі негативні впливи можна шляхом запровадження більш чистих промислових процесів. Дієвими інструментами у цьому контексті є:

- заміна небезпечних хімічних речовин на безпечніші аналоги;
- використання фільтрів та інших технічних рішень, здатних зменшити викиди у атмосферне повітря;
- вдосконалення технологічних процесів з метою зменшення використання ресурсів [6, 7].

Вважаємо, що подібні позитивні результати у цій сфері можливо досягти шляхом запровадження ґрунтовних державних планів та відповідних програм забезпечення високої якості атмосферного повітря. При цьому, активними учасниками та, навіть, ініціаторами таких дій потенційно можуть бути представники підприємств різних галузей промисловості.

Дослідження науковців в [8, 9] доводять, що для ефективного управління якістю атмосферного повітря варто здійснювати комплексний підхід, який включає оцінку джерел забруднення та рівня техногенної небезпеки, вивчення особливостей підприємств різних галузей та їх технологічних процесів тощо.

Технології та технологічні рішення, що використовуються підприємствами для мінімізації негативних впливів їх діяльності на довкілля часто вимагають суттєвих фінансових затрат та організаційних зусиль. І таке твердження є цілком виправданим, навіть за умови запровадження енерго- та ресурсозберігаючих технологій [10, 11]. За умов посилення ролі інформації при формуванні громадської думки та веденні бізнесу, запровадження підприємствами екологічно відповідальних вчинків може стати частиною їх репутаційної підтримки. Відтак, цілком погоджуючись із науковцями в роботі [12], стверджуємо, що поширення інформації про проблеми та запровадження представниками промисловості шляхів їх вирішення, вбачаються одним із дієвих напрямків регулювання стану довкілля.

Оскільки на підприємствах різних галузей промисловості застосовується обладнання для очистки викидів різного ступеня точності та ефективності, тому постає потреба в розробці методики, що дозволила б спростити процес модернізації та керування таким обладнанням.

## 5. Методика дослідження

Основною метою діяльності підприємства є виготовлення продукту та його збут. Однак в процесі її реалізації здійснюється значний вплив на навколишнє середовище. Для зменшення негативного впливу функціонування підприємства на стан атмосферного повітря, встановлюється обладнання для очистки викидів від забруднюючих речовин. При цьому вибір обладнання, підтримка та контроль його функціонування потребують організаційних та управлінських зусиль. У цьому контексті інструменти системного аналізу можуть стати дієвими для підприємств будь-якої галузі.

Цінністю системного аналізу в контексті даного дослідження є те, що він дає можливість здійснити декомпозицію складних проблем на простіші елементи, що, працюючи разом, формують виробничо-екологічну систему. Враховуючи, що підприємства, що працюють на території країни є відкритими системами, а відтак, активно взаємодіють із довкіллям, розроблені алгоритми контролю та вибору очисного обладнання покликані зменшити негативні ефекти. Крім того, системний аналіз дозволяє здійснювати обґрунтований вибір очисного обладнання та зменшити ризики прийняття хибних управлінських рішень. Адже даний інструмент допускає застосування кількісних показників оцінки разом із якісними індикаторами, що можуть бути отримані на основі експертних оцінок досвідчених керівників та спеціалістів [13].

Отже, в основі запропонованої методики контролю та вибору очисного обладнання на підприємстві лежить системний підхід. Він забезпечує побудову подібної до блок-схеми, моделі, що включає альтернативні варіанти розвитку подій на підприємстві та можливі шляхи реагування на них. Враховуючи, що з метою забезпечення дотримання екологічних нормативів концентрації шкідливих речовин у викидах, необхідно здійснювати постійний контроль за роботою газоочисного та пилоочисного обладнання. При зниженні ступеня очистки забруднюючих речовин у викидах підприємства варто здійснювати аналіз системи очищення або вивчати ринок аналогів очисного обладнання. Відповідно, використовуючи інструменти системного аналізу, розроблено методику контролю та вибору очисного обладнання на підприємстві (рис. 1).

Фактично, розроблена методика передбачає запровадження активних організаційно-управлінських дій за умови двох сценаріїв:

– перший – ступінь очистки викидів понад 90 % – передбачає, що обладнання, наявне на підприємстві забезпечує задовільний стан повітря, що потрапляє у довкілля в результаті виробничих процесів. У випадку реалізації даного сценарію, головними завданням є підтримка високого рівня очистки викидів підприємства. З цією метою на підприємстві доцільно здійснювати:

- постійний контроль за роботою та станом систем очищення повітря;
- належне технічне обслуговування обладнання (вчасну заміну та очистку фільтрів тощо);
- періодичне навчання та підвищення кваліфікації персоналу підприємства, відповідального за роботу обладнання та основні технологічні процеси підприємства;



**Рис. 1.** Етапи контролю та вибору очисного обладнання на підприємстві

– другий – ступінь очистки викидів до 90 % – передбачає, що обладнання, наявне на підприємстві перебуває у незадовільному стані та не забезпечує належної очистки повітря. У випадку реалізації даного сценарію, алгоритм дій керівництва та головних спеціалістів підприємства має включати такі управлінсько-організаційні дії:

- вивчення та оцінка наукових розробок та наявного на ринку сучасного очисного обладнання;
- порівняння технологічних характеристик альтернативних моделей обладнання та вибір найкращого варіанту з урахуванням нормативних вимог і виробничо-технологічних обмежень;
- прийняття рішення на основі результатів SWOT-аналізу.

## 6. Результати досліджень

Розроблена методика є універсальною та може стати дієвим інструментом для підприємств різних сфер діяльності. Наприклад, розглянемо діяльність підприємства м'ясопереробної галузі. На першому етапі проаналізуємо викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря, що здійснюється підприємством при мийці та дезінфекції обладнання та інвентарю, приміщень, виробництві ковбасних виробів, роботі котельні, акумуляторної, дільниці деревообробки,

поста зварки, металообробних верстатів. Основні забруднюючі речовини наведено у табл. 1.

**Таблиця 1**

Потужність викидів у атмосферу підприємством м'ясопереробної галузі

Найменування речовини	Клас небезпеки	Порогові значення (т/рік)	Потужність викиду забруднюючих речовин, (т/рік)	
			2018 р.	2019 р.
Карбон (IV) оксид	2	500	647,559	648,644
Нітроген (II) оксид	3	0,1	0,001	0,002
Ртуть металева	1	0,0003	0,0000018	0,0000019
Нітроген (IV) оксид	3	1,0	1,767	1,978
Аміак	4	1,5	1,845	1,868
Сульфур (IV) оксид	3	1,5	0,004	0,008
Хлор	2	0,1	0,028	0,033
Фенол	2	0,01	0,071	0,092
Пил деревини	4	1,0	0,007	0,008
Суспендовані частинки	3	0,5	0,515	0,534
Карбон (II) оксид	4	1,5	3,678	3,807
<b>Всього</b>	–	–	<b>655,475</b>	<b>656,974</b>

Встановлено, що порогові значення перевищують такі речовини: карбон (IV) оксид (у 1,3 рази), суспендовані частинки (у 1,1 рази), нітроген (IV) оксид (у 1,9 рази), карбон (II) оксид (у 2,5 рази), аміак (у 1,2 рази). Склад викидів забруднюючих речовин на 60 % становлять найбільш поширені забруднюючі речовини, а саме діоксид карбону, діоксид нітрогену, ангідрид сірчистий, оксид карбону, пил. Небезпечні забруднюючі речовини становлять 40 % і представлені аміаком, хлором, фенолом, ртуть металева та ін.

На підприємстві є очисні споруди у вигляді установки для вловлювання пилу з повітря, а саме циклон К-18 (Україна). Встановлено, що при роботі очисної споруди коефіцієнт ефективності очищення становить 76,13 %.

Якщо ступінь очистки складає менше 90 %, то необхідно вивчати можливості виробників сучасного обладнання на ринку, а також наукові розробки. Запахи навколо м'ясопереробних підприємств викликані виділенням аміаку, амінів, жирних кислот, гетероциклічних сполук основного характеру. Ці запахи завдають великої шкоди здоров'ю персоналу та мешканців навколишніх територій, погіршують здоров'я сільськогосподарських тварин і, як наслідок, якість сільськогосподарської продукції.

Досить важливими на сьогоднішній день є питання, що стосуються розробки заходів, спрямованих на зниження викидів в атмосферу та усунення неприємних запахів від м'ясопереробних комплексів, які мають як екологічне, так і санітарно-гігієнічне значення. Тому повітряно-очисні іонообмінні фільтри:

фільтр контакторний (ФК), рамний іонообмінний фільтр (РІФ) та комбінований РІФ-ФК з успіхом використовуються для очищення повітря на свинофермах, птахофабриках, м'ясокомбінатах та інших подібних підприємств в Німеччині, Польщі, Швеції, Республіці Білорусь та в інших країнах світу. В Україні також є офіційний представник провідної компанії-виробника цих фільтрів.

Отже, вивчаємо технологічні характеристики цих фільтрів, основними перевагами яких є висока ступінь очищення (90–99 %); низькі експлуатаційні витрати забезпечуються за рахунок:

- низького аеродинамічного опору;
- низького споживання води;
- мінімального споживання електроенергії;
- автоматизація роботи фільтра;
- малі габаритні розміри та вага фільтра;
- мінімальна шумова навантаження;
- мінімальні роботи по монтажу та введенню в експлуатацію.

Проаналізувавши інформацію про м'ясопереробний завод, фільтри, а також знайшовши дані про ефективність очищення атмосферного повітря від забруднюючих речовин за допомогою фільтра РІФ на прикладі іншого підприємства (табл. 2) можна приймати рішення про встановлення аналогів очисного обладнання.

**Таблиця 2**

Ефективність очищення забруднюючих речовин  
на прикладі встановлення фільтра РІФ

Назва забруднюючих речовини	Потужність викиду (т/рік)	Ефективність очищення (%)
Аміак	9,987	95
Нітроген (II) оксид	0,679	96
Хлор	0,198	97
Фенол	0,876	95
Карбон (IV) оксид	4678,875	98
Сульфур (IV) оксид	0,345	95

За результатами дослідження визначено, що ефективність очищення повітря від забруднюючих речовин коливається в межах 95–98 %. І це свідчить про те, що встановлення фільтра РІФ є доцільним для зменшення впливу підприємства на атмосферне повітря.

## 7. SWOT-аналіз результатів досліджень

*Strengths.* Очисне обладнання, що використовується на підприємствах, очищує викиди забруднюючих речовин від пилу, проте інші газоподібні політанти надалі продовжують забруднювати атмосферне повітря, сприяючи процесам змін клімату, а також впливаючи на здоров'я населення. Тому

використання розробленої в роботі методики на підприємстві дозволить ефективно здійснити вибір сучасного очисного обладнання та його встановлення.

*Weaknesses.* У розробленій методиці вказано, що при ступені очистки викидів менше 90 % необхідно запроваджувати ефективне очисне обладнання. Проте на підприємствах різної галузі використовують очисне обладнання, яке в основному забезпечує 70–90 % ступінь очищення викидів в атмосферне повітря. Відповідно, варто уточнити організаційно-управлінські дії для керівництва таких підприємств, де очисне обладнання забезпечує ступінь очищення 80–90 %.

*Opportunities.* На світовому ринку є сучасні системи очищення, які забезпечують вловлювання багатьох забруднюючих речовин, зі ступенем очищення понад 95 %. Розроблені фільтри, їх технологічні характеристики, задовольняють потреби підприємств різної галузі.

*Threats.* Будь-яка система очищення вимагає належного обслуговування, тому контроль за її ефективністю дозволить зменшити як еколого-виробничі, так і фінансові ризики для підприємств.

## **8. Висновки**

1. Використовуючи інструменти системного аналізу розроблено методику контролю та вибору очисного обладнання на підприємстві. Ця методика містить послідовні етапи організаційно-управлінських дій за умов: якщо ступінь очищення викидів менше 90 %; якщо ступінь очищення більше 90 %.

2. Визначено, що за умов наявного очисного обладнання на підприємстві, яке забезпечує ефективність ступеня очистки викидів понад 90 %, необхідно дотримуватися заходів постійного контролю за його станом. До таких заходів відносять технічне обслуговування, моніторинг викидів забруднюючих речовин до та після систем очищення, навчання персоналу.

3. Встановлено ефективність розробленої методики на прикладі підприємства м'ясопереробної галузі: від екологічної оцінки діяльності підприємства та аналізу наявного очисного обладнання, вивчення виробників систем очищення та їх технологічних характеристик до прийняття рішення щодо їх встановлення на підприємстві.

## **Література**

1. Chen, F., Chen, Z. (2021). Cost of economic growth: Air pollution and health expenditure. *Science of The Total Environment*, 755, 142543. doi: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142543>

2. Bordiug, N. S. (2016). Educational, scientific and administrative aspects of environmental monitoring system analysis. *ScienceRise*, 1 (5 (18)), 4–8. doi: <http://doi.org/10.15587/2313-8416.2016.59068>

3. Nekos, A. N., Medvedeva, Y. V., Cherkashyna, N. I. (2019). Assessment of environmental risks from atmospheric air pollution in industrially developed regions of Ukraine. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 28 (3), 511–518. doi: <http://doi.org/10.15421/111947>



4. Hertig, E. (2020). Health-relevant ground-level ozone and temperature events under future climate change using the example of Bavaria, Southern Germany. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 13 (4), 435–446. doi: <http://doi.org/10.1007/s11869-020-00811-z>
5. De Sario, M., Katsouyanni, K., Michelozzi, P. (2013). Climate change, extreme weather events, air pollution and respiratory health in Europe. *European Respiratory Journal*, 42 (3), 826–843.
6. *Clean Air Programme*. Available at: [https://ec.europa.eu/environment/air/clean\\_air/index.htm](https://ec.europa.eu/environment/air/clean_air/index.htm)
7. *Cleaner industry* (2018). Available at: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/2a754add-32fb-11e8-b5fe-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-72304101>
8. Hurets, L. L. (2015). Systemnyi pidkhid do upravlinnia ekolohichnoiu bezpekoiu. *Problemy ekolohichnoi bezpeky*. Kremenchuk, 60.
9. Pliatsuk, L. D., Hurets, L. L., Polozhii, O. A. (2006). Znyzhennia rivniv ekolohichnykh ryzykiv – umova ratsionalnoho pryrodokorystuvannia. *Visnyk Kremenchutskoho derzhavnogo politekhnichnogo universytetu*, 6 (41), 127–129.
10. Les, A., Rashchenko, A. (2019). Resource and energy saving technologies in the activity of small enterprises. *International periodic scientific journal*, 10 (2), 68–71.
11. Les, A. V., Rashchenko, A. V. (2017). Rol menedzhmentu ta marketynhu pry zaprovadzhenni tekhnolohii zakhystu navkolyshnoho seredovyscha. *Visnyk ZhNAEU*, 2 (1 (59)), 165–172.
12. Lin, Y., Huang, R., Yao, X. (2021). Air pollution and environmental information disclosure: An empirical study based on heavy polluting industries. *Journal of Cleaner Production*, 278, 124313. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124313>
13. Terentieva, A. V. (2014) Systemnyi analiz yak metod ukhvalennia i obgruntuvannia rishen u sferi tsyvilnoho zakhystu. *Derzhavne upravlinnia: udoskonalennia ta rozvytok*, 8. Available at: <http://www.dy.nayka.com.ua/?op=1&z=741>