

## ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

---

УДК 004.75

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/03>

**Богдан Г.А.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Глуценко М.О.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### ЗАГАЛЬНІ ТЕНДЕНЦІЇ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

*Забруднення навколишнього середовища є однією з найбільших світових екологічних проблем. Проведені статистичні дослідження показали, що за останні двадцять років кількість смертей, викликана станом повітря, зросла на 66%. Це безпосередньо пов'язано зі значною індустріалізацією та урбанізацією міст, і відповідно зі значно збільшеною кількістю спалюваного викопного палива. Головною причиною забруднення повітря є хімічні компоненти, що присутні у викидах промислових підприємств видобувної, переробної та енергетичної галузей. Таким чином, актуальним питанням є розроблення та впровадження ефективних автоматизованих систем моніторингу якості повітря на промислових підприємствах, які дозволяють своєчасно виявляти та запобігати викидам шкідливих речовин у повітря, а також контролювати дотримання встановлених норм та стандартів. Впровадження таких систем дозволить не тільки знизити кількість шкідливих викидів у атмосферу, шляхом контролю ефективності засобів і методів, що використовують для очищення повітря, а і покращити стан навколишнього середовища і здоров'я людей. До основних задач, які вирішуються шляхом впровадження систем моніторингу шкідливих елементів в повітрі на промислових підприємствах, відносять: автоматичне визначення концентрації шкідливих речовин у повітрі в реальному часі та порівняння їх з нормативними значеннями; виконання заходів для зменшення викидів у випадку їх перевищення нормативних значень; збереження даних та побудова аналітичних залежностей для довгострокового прогнозування стану повітря на промислових підприємствах.*

*У цій статті ми розглянули важливість автоматизованої системи моніторингу якості повітря на промислових об'єктах. Ми визначили основні складові таких систем та загальні сучасні вимоги до їх побудови. Визначили, що використання датчиків для збору даних, надійна та безпечна передача даних до центральної системи збору даних, а також правильне встановлення та обслуговування датчиків та навчання працівників є важливими складовими цієї системи. Також було відзначено, що система моніторингу повітря на промислових об'єктах повинна бути частиною комплексної програми з охорони навколишнього середовища.*

*Були виділені ключові напрямки вдосконалення сучасних автоматизованих систем моніторингу якості повітря на промислових підприємствах: розвиток нових та удосконалення існуючих сенсорних технологій для вимірювання забруднюючих речовин у повітрі; використання технології інтернету речей IoT, що дозволяє підключати сенсори до мережі Інтернет та віддалено контролювати і збирати дані з різних станцій моніторингу; зростання обчислювальної потужності та розвиток аналітичних методів, що дозволяє пришвидшити збір та аналіз даних; впровадження мобільних додатків, які можуть користувачам отримати інформацію про якість повітря в реальному часі на основі даних з автоматизованої системи моніторингу.*

**Ключові слова:** сенсор, системи моніторингу повітря, автоматизація, технології інтернету речей, якість повітря.

**Постановка проблеми.** Забруднення навколишнього середовища є однією з найбільших світових екологічних проблем. Як показали останні дослідження [1] кожна шоста смерть у світі відбувається через забруднення повітря та води токсичними хімікатами. Статистичні дані свідчать про те, що за останні двадцять років кількість смертей, викликана станом повітря, зросла на 66%. Це безпосередньо пов'язано зі значною індустріалізацією та урбанізацією міст, і відповідно зі значно збільшеною кількістю спалюваного викопного палива.

В Україні щороку від захворювань, що виникли під впливом викидів шкідливих речовин в атмосфері, помирає приблизно 57 тисяч українців. Проведені дослідження показали, що не дивлячись на суттєвий спад виробництва, повітря в Україні є одним з найбільш забруднених серед європейських країн. З доповіді Міністерства екології та природних ресурсів України про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році випливає, що на стан забруднення атмосфери впливають стаціонарні джерела (64,9% викидів речовин, що забруднюють повітря від їх загального об'єму) та пересувні джерела (35,1%) [2]. 90% викидів у повітря від стаціонарних джерел припадає на підприємства видобувної та переробної промисловості та постачання електроенергії.

За останні два десятиліття було проведено багато досліджень, щодо визначення взаємозв'язку між станом атмосферного повітря та здоров'ям людей, як вітчизняними так і закордонними дослідниками. Дослідження [3, 4] показали, що погана якість повітря може призвести до серйозних проблем зі здоров'ям, таким як астма, рак та інші захворювання дихальних шляхів.

З публікації [2] випливає, що головною причиною забруднення повітря є хімічні компоненти, що присутні у викидах промислових підприємств видобувної, переробної та енергетичної галузей. Найбільш небезпечні з них оксид вуглецю – (29,6% від загального обсягу забруднюючих речовин), діоксид та інші сполуки сірки – (27,9%), метан – (18,0%), речовини у вигляді суспендованих твердих час (12,6%) та сполуки азоту – (9,6%). Відповідно до чинного законодавства та нормативних документів кількість викидів перерахованих речовин підлягає обов'язковому контролю.

Таким чином, актуальним питанням є розроблення та впровадження ефективних автоматизованих систем моніторингу якості повітря на промислових підприємствах, які дозволяють своєчасно виявляти та запобігати викидам шкідливих речовин у повітря, а також контролювати дотри-

мання встановлених норм та стандартів. Впровадження таких систем дозволить не тільки знизити кількість шкідливих викидів у атмосферу, шляхом контролю ефективності засобів і методів, що використовують для очищення повітря, а і покращити стан навколишнього середовища і здоров'я людей.

У цій статті ми розглянемо загальні тенденції та вимоги до систем моніторингу стану повітря на промислових підприємствах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз сучасних публікацій дозволив виділити ключові напрямки вдосконалення сучасних автоматизованих систем моніторингу якості повітря на промислових підприємствах:

1. Розвиток нових та удосконалення існуючих сенсорних технологій для вимірювання забруднюючих речовин у повітрі [5];

2. Використання технології інтернету речей IoT, що дозволяє підключати сенсори до мережі Інтернет та віддалено контролювати і збирати дані з різних станцій моніторингу [7–9];

3. Зростання обчислювальної потужності та розвиток аналітичних методів, що дозволяє пришвидшити збір та аналіз даних [10];

4. Впровадження мобільних додатків, які можуть користувачам отримати інформацію про якість повітря в реальному часі на основі даних з автоматизованої системи моніторингу [5].

Усі розглянуті публікації пропонують вдосконалення певних складових автоматизованих систем моніторингу повітря, але в них не розглянуто комплексний підхід побудови та модернізації таких систем.

**Мета цієї статті** – розглянути основні тенденції побудови автоматизованих систем моніторингу якості повітря на промислових підприємствах.

**Виклад основного матеріалу.** Автоматизована система моніторингу якості повітря на промислових об'єктах - це важлива складова відповідальної та ефективної діяльності підприємств, які виробляють різноманітні продукти та матеріали, що можуть мати шкідливий вплив на довкілля та здоров'я людей. Основною метою такої системи є забезпечення постійного контролю за якістю повітря в межах промислового об'єкту та в його навколишній зоні. До основних задач, які вирішуються шляхом впровадження систем моніторингу шкідливих елементів в повітрі на промислових підприємствах, відносять:

1. автоматичне визначення концентрації шкідливих речовин у повітрі в реальному часі та порівняння їх з нормативними значеннями;

2. виконання заходів для зменшення викидів у випадку їх перевищення нормативних значень;

3. збереження даних та побудова аналітичних залежностей для довгострокового прогнозування стану повітря на підприємстві.

На основі проведеного аналізу літературних джерел [5–10] було запропоновано узагальнену структуру схеми такої системи (рис. 1).

Охарактеризуємо основні елементи наведеної структурної схеми.

Сенсори відповідають за збір інформації про стан і якість повітря. Вони передають отримані дані до центрального серверу. За рахунок спеціального програмного забезпечення інформація з датчиків обробляється, що дозволяє відстежувати і контролювати якість повітря в режимі реального часу. Зібрані дані можуть бути візуалізовані у вигляді графіка, діаграми або карти, що дозволяє операторам отримувати інформацію про якість повітря в зручному форматі. Дані з сервера поступають до системи керування, яка відповідає за функціонування всіх елементів системи. Якщо концентрація забруднюючих речовин перевищує допустимі норми, система моніторингу може автоматично сповіщати про це за рахунок наявності системи сповіщення у своїй структурі. По сигналу від системи керування автоматично вмикаються засоби, які дозволяють зменшити кількість шкідливих викидів у повітря.

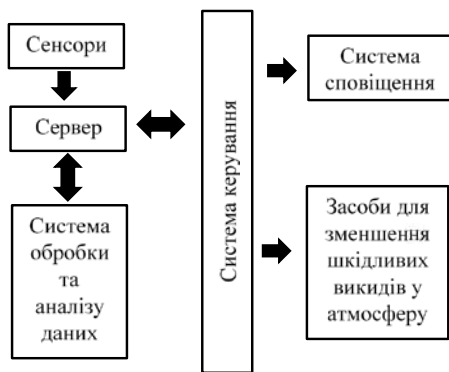


Рис. 1. Узагальнена структурна схема автоматизованої системи моніторингу якості повітря на промислових підприємствах

Така система забезпечує запис і архівування даних про якість повітря на протязі тривалого часу. Крім того вона здатна до оперативного моніторингу в реальному часі за рахунок використання сучасних технологій. На основі даних моніторингу розробляються та впроваджуються заходи для зниження забруднення повітря, такі як впровадження нових технологій, оптимізація виробничих процесів тощо.

Для ефективної роботи автоматизованої системи моніторингу якості повітря на промислових підприємствах необхідно забезпечити її інтеграцію з системою управління підприємством та оперативну обробку даних. Це дозволить швидко реагувати на будь-які зміни у якості повітря та автоматично забезпечувати прийняття вчасних рішень щодо запобігання забрудненню довкілля.

Розглянемо вимоги до основних елементів автоматизованих систем моніторингу якості повітря до можливі шляхи їх вдосконалення.

**Сенсори.** Датчики газів та інших шкідливих речовин є ключовими елементами автоматизованої системи моніторингу якості повітря. Правильний вибір датчиків та їх калібрування забезпечують точність вимірювань та надійність отриманих даних. Перелік шкідливих компонентів, які підлягають обов'язковому контролю прописаний у нормативних документах. Найчастіше використовують сенсори для виявлення озону, твердих частинок, оксидів, оксидів азоту, монооксиду вуглецю і свинцю. В якості газоаналізаторів використовують ІЧ-Фур'є-спектрометри, газові хроматографи, електрохімічні аналізатори, спектрофлуориметри, оптичні сенсори.

Вибір датчиків може бути складним завданням, оскільки різні сенсори можуть мати різну чутливість до різних речовин. Також, важливо враховувати технічні характеристики датчиків, такі як швидкість відповіді та діапазон вимірювань. Наприклад, якщо датчик має повільну швидкість відповіді, то він може не виявити короточасних піків концентрації шкідливих речовин.

Таким чином, вибір та калібрування датчиків є важливим етапом при розробці автоматизованої системи моніторингу якості повітря на промислових об'єктах. Вони дозволяють забезпечувати точність та надійність отриманих даних, що є ключовим моментом для забезпечення якісного моніторингу повітря.

Вимоги до сенсорів автоматизованих систем моніторингу якості повітря:

1. Діапазон вимірювання.
2. Точність. Точність повинна відповідати вимогам, які встановлені для конкретної системи моніторингу.
3. Чутливість. Датчики повинні бути достатньо чутливими, щоб забезпечити вимірювання навіть низьких рівнів шкідливих речовин.
4. Стійкість. Датчики повинні бути стійкими до впливу зовнішніх факторів, таких як вологість, температура, електромагнітні поля, вібрації тощо.

5. Надійність. Датчики повинні бути надійними, щоб забезпечити безперебійну роботу системи моніторингу.

6. Ціна. Датчики повинні мати прийнятну вартість, щоб забезпечити ефективність та економічність системи моніторингу.

На сьогоднішній день, широкого розповсюдження набувають недорогі бездротові датчики, що реалізують оптичні методи контролю для визначення наявності шкідливих речовин у повітрі.

**Збір та передача даних.** Крім датчиків, важливим елементом автоматизованої системи моніторингу якості повітря є система збору та передачі даних. Вона повинна забезпечувати надійну передачу даних в режимі реального часу до системи керування, що дозволяє оперативно реагувати на будь-які відхилення в якості повітря.

Для забезпечення максимальної надійності та швидкості передачі даних, можна використовувати бездротові технології, такі як Wi-Fi, Bluetooth або мережу LoRaWAN. Важливо також забезпечити захист передачі даних від несанкціонованого доступу.

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), що забезпечує передачу даних на відстань до 15 кілометрів з мінімальним споживанням енергії. Це може бути корисно для віддалених датчиків, розташованих на значній відстані від центральної системи збору даних.

Однак, незалежно від технології, важливо забезпечити надійну та безпечну передачу даних. Для цього можна використовувати різні протоколи шифрування та аутентифікації, такі як SSL, WPA2 або AES.

Типові безпроводні мережі збору та передачі даних з використанням IoT технологій мають три рівні [5]:

- 1 рівень – це мережа бездротових датчиків,
- 2 рівень керування,
- 3 рівень мобільних додатків.

На першому рівні відбувається контроль повітря бездротовими датчиками. На другому рівні дані вимірювань відправляються на сервер через бездротову точку доступу до Інтернету. Сервер отримує дані, проводить необхідні розрахунки та відповідає за збереження отриманої інформації. Для зменшення собівартості такої системи доцільно сервер бази даних та веб-сервер об'єднати в одну апаратну платформу. Для зручного доступу користувачів має бути розроблено спеціальне програмне забезпечення, яке дозволить взаємодію з веб-додатком у локальній мережі або через Інтернет.

**Сервер.** Задля забезпечення автоматизованого моніторингу якості повітря на підприємстві необ-

хідно використовувати швидкісний сервер, потужності якого дозволять обробляти інформацію з датчиків і видавати результати у реальному часі.

Цей сервер буде мати наступні основні функції:

1. Збір даних з датчиків та їх збереження у базі даних;
2. Аналіз даних та визначення рівня забруднення повітря;
3. Візуалізація даних та забезпечення доступу до них за допомогою графіків та таблиць;
4. Повідомлення про аварійні ситуації через електронну пошту або SMS.

Для забезпечення надійності та безпеки даних, сервер має мати декілька резервних копій, а також механізм захисту від несанкціонованого доступу до інформації.

Окрім цього, можна розглянути використання хмарних сервісів для зберігання та обробки даних. Це може забезпечити більшу масштабованість та доступність до інформації, а також зменшити витрати на обладнання та його підтримку.

При виборі сервера необхідно враховувати також вимоги до програмного забезпечення, яке буде використовуватися для обробки даних. Наприклад, для аналізу та обробки даних може бути використана спеціалізована програмна апаратура, така як Apache Hadoop або Apache Spark.

Крім того, важливо враховувати можливості інтеграції з іншими системами, які будуть використовуватися в процесі дослідження. Наприклад, можна розглянути можливість інтеграції з системами збору даних або з системами управління базами даних.

**Система сповіщення.** Система сповіщення забезпечує оперативний інформування користувачів про зміни рівня забруднення повітря і може бути налаштована на різні типи сповіщень, такі як SMS, електронна пошта, голосове повідомлення або повідомлення в мобільних додатках.

Система сповіщення буде забезпечувати оперативну інформацію про зміну якості повітря в приміщеннях підприємства. Це дозволить оперативно реагувати на проблеми та запобігати їх поширенню. Крім того, така система допоможе зменшити ризик забруднення повітря та покращити умови праці для працівників підприємства.

Сповіщення в додатку на телефон можуть бути дуже корисними для користувачів, які хочуть отримувати оперативну інформацію про якість повітря в їхньому регіоні. Для цього можна розробити спеціальний додаток для мобільних пристроїв, який буде підключатись до сервера і отримувати актуальну інформацію про забруднення повітря.

**Системи керування.** Частина системи, що посередньо впливає на якість повітря, це система вентиляції та кондиціонування повітря. Вона складається з ряду компонентів, таких як вентилятори, фільтри, рекуператори тепла, кондиціонери та інші.

Завданням цієї системи є забезпечення оптимальних параметрів повітря всередині приміщення, таких як температура, вологість та чистота повітря. Для цього вона виконує ряд функцій:

1. Подача свіжого повітря в приміщення. Це важливо для того, щоб забезпечити достатню концентрацію кисню та вивести з приміщення вуглекислий газ, який виділяється при диханні та інших процесах.

2. Видалення забрудненого повітря з приміщення. Це може бути вуглекислий газ, аміак, водяна пара та інші шкідливі речовини, що накопичуються в повітрі протягом дня.

3. Очищення повітря від шкідливих речовин. Для цього використовуються спеціальні фільтри, які затримують пил, дим, бактерії та інші забруднення.

4. Регулювання температури та вологості повітря. Це важливо для забезпечення комфортних умов перебування людей в приміщенні.

5. Аерозольні генератори, які будуть покращувати загальний фон повітря.

**Висновки.** У цій статті ми розглянули важливість автоматизованої системи моніторингу якості

повітря на промислових об'єктах. Ми визначили основні складові таких систем та загальні сучасні вимоги до їх побудови. Визначили, що використання датчиків для збору даних, надійна та безпечна передача даних до центральної системи збору даних, а також правильне встановлення та обслуговування датчиків та навчання працівників є важливими складовими цієї системи. Також було відзначено, що система моніторингу повітря на промислових об'єктах повинна бути частиною комплексної програми з охорони навколишнього середовища.

В цілому, автоматизована система моніторингу якості повітря є важливим інструментом для забезпечення здоров'я та безпеки працівників та навколишнього середовища. Вона дозволяє оперативнотримувати дані про рівень забруднення повітря та вчасно реагувати на небезпечні ситуації. Використання такої системи дозволяє покращити якість повітря та зменшити негативний вплив на довкілля.

У майбутньому автоматизовані системи моніторингу якості повітря можуть бути ще більш розвинені та точніші. Застосування нових технологій, таких як штучний інтелект та машинне навчання, використання технології інтернету речей може дозволити зменшити кількість помилок та забезпечити ще більш точне вимірювання параметрів повітря.

#### Список літератури:

1. Fuller R, Landrigan PJ, Balakrishnan K, et al. Pollution and health: a progress update. *Lancet Planetary Health*. 2022. № 6. P. 535–547. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00090-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00090-0)
2. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf>
3. Raju S, Siddharthan T, McCormack MC. Indoor Air Pollution and Respiratory Health. *Clin Chest Med*. 2020. № 41(4). P. 825–843. doi: 10.1016/j.ccm.2020.08.014. PMID: 33153698; PMCID: PMC7665158.
4. Marios P, et al. Indoor Air Pollutants and the Impact on Human Health. *Chemistry, Emission Control, Radioactive Pollution and Indoor Air Quality, InTech*, 2011. Crossref, doi:10.5772/18806.
5. Huynh T., Fakprapai S., Nguyen T. Air Quality Monitoring with Focus on Wireless Sensor Application and Data Management. *Dominique Laffly*. 2020. № 3. P. 5–27.
6. JunHo Jo, ByungWan Jo, JungHoon Kim, SungJun Kim, WoonYong Han. Development of an IoT-Based Indoor Air Quality Monitoring Platform. *Journal of Sensors*. 2020, Article ID 8749764, 14 pages. URL: <https://doi.org/10.1155/2020/8749764>
7. Okokpujie K., Noma-Osaghae E., Modupe O., John S., Oluwatosin O. A smart air pollution monitoring system. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018. № 9. P. 799–809.
8. Parmar G., Lakhani S., Chattopadhyay M. An IoT based low cost air pollution monitoring system. *Recent Innovations in Signal Processing and Embedded Systems (RISE-2017)*, Maulana Azad National Institute of Technology, BhopalAt: Bhopal, India, October 2017.
9. Живага В.В., Малахова М.О., Шевченко Д.О. Система моніторингу якості повітря на базі IoT. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління»*. 2021. № 49. С. 49–57.
10. Путренко В.В., Назаренко С.Ю. Визначення якості повітря на основі інтелектуального аналізу даних дистанційного зондування. *Математичне моделювання в економіці*. 2016. № 3–4(7). С. 176–187.

**Bohdan H.A., Hlushchenko M.O. GENERAL TENDENCIES IN CONSTRUCTING AUTOMATED AIR QUALITY MONITORING SYSTEMS AT INDUSTRIAL ENTERPRISES**

*Environmental pollution is one of the world's biggest environmental problems. Statistical studies have shown that over the past twenty years, the number of deaths caused by air quality has increased by 66%. This factor is directly related to the significant industrialization and urbanization of cities and the considerably increased amount of burned fossil fuels. The leading cause of air pollution is chemical components present in the emissions of industrial enterprises in the mining, processing and energy industries. Thus, the article addresses issues in developing and implementing effective automated air quality monitoring systems at industrial enterprises. The monitoring systems allow timely detection and prevention of emissions of harmful substances into the air, as well as monitoring compliance with established standards. Implementing such systems will not only allow to reduce the number of harmful emissions into the atmosphere (by controlling the effectiveness of means used to clean the air) but also improve the environment and people's health. The main tasks solved by implementing monitoring systems for harmful elements in the air at industrial enterprises include real-time automatic determination of harmful substances concentration in the air and their comparison with normative values, implementation of measures to reduce emissions once they exceed normative values, data storage, and analytical dependencies for long-term forecasting of air quality at enterprises.*

*In this article, we consider the importance of the automated air quality monitoring system in industrial enterprises, identify the main components of such systems and modern general requirements for their construction. The use of sensors for gathering data, their reliable and secure transmission to a central data collection system, proper installation and maintenance of the sensors, as well as employee training were identified as crucial components of the monitoring system. It was also noted that the air monitoring system at industrial facilities should be part of a comprehensive environmental protection program.*

*We highlighted the fundamental areas of improvement of modern automated air quality monitoring systems at industrial enterprises. That includes the development of new sensor technologies and improvement of existing ones for measuring pollutants in the air; the use of IoT (Internet of Things) technology, which allows to connect sensors to the Internet and remotely monitor and collect data from various monitoring stations; the growth in computing power and the development of analytical methods, which enables to speed up the data collection and analysis; implementation of mobile applications that provide users with air quality information in real-time based on the automated monitoring system data.*

**Key words:** *sensor, air monitoring systems, automation, Internet of Things technologies, air quality.*