

ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Л. Монастирський, В. Гура

*Факультет електроніки та комп'ютерних технологій,
Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Драгоманова, 50, 79005 Львів, Україна
volodymyr.gura@lnu.edu.ua*

Розроблена інформаційно-аналітична система для моніторингу атмосферного повітря в місті Львів. Ця система має на меті збирати та аналізувати дані про якість повітря з різних джерел і надавати користувачам цінну інформацію та аналітику. Процес розробки почався з проектування загальної архітектури системи, де було визначено компоненти, модулі та їх взаємозв'язки. Після цього розроблено програмну реалізацію системи, що включає розробку необхідних модулів та функціональностей. Було також забезпечено заповнення системи даними, які були зібрані з різних джерел, таких як сенсори моніторингу повітря, метеорологічні станції та інші. Після завершення розробки системи проведено апробацію, де система була випробувана під час розв'язання реальних прикладних задач з аналізу даних. Зокрема, система використовувалась при розробці розділів програми державного моніторингу атмосферного повітря для агломерації у Львові. Це дозволило оцінити ефективність та корисність системи у контексті вирішення конкретних проблем охорони якості повітря. Завдяки цим крокам, була створена інформаційно-аналітична система моніторингу атмосферного повітря, яка сприяє збору, аналізу та використанню важливої інформації щодо якості повітря в місті Львів для покращення екологічної ситуації та прийняття обґрунтованих рішень у галузі охорони довкілля.

Ключові слова: передбачення, аналіз, якість повітря, атмосферне повітря, кросплатформна розробка, структура програмного забезпечення, моніторинг повітря.

1. Вступ

В умовах швидкого зростання антропогенного впливу на природне середовище агломерацій та зон є необхідністю розглядати їх як ключові просторові одиниці для моніторингу стану атмосферного повітря. Багато зон в Україні стикаються з проблемою погіршення якості атмосферного повітря, що підкреслює важливість поліпшення та модернізації системи державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря.

Одним із пріоритетних напрямків для вирішення цих проблем є оптимізація системи моніторингу стану атмосферного повітря агломерацій та зон. Одним з основних напрямків досліджень, необхідних для обґрунтованої розробки програми, є аналіз даних про забруднення атмосферного повітря міста Львів на підставі даних державного моніторингу за попередні роки. Для автоматизації цього аналізу необхідно розробити інформаційну аналітичну систему моніторингу атмосферного повітря міста Львів.

З метою впровадження цілеспрямованого моніторингу та контролю якості повітря, розроблена інформаційна аналітична система буде забезпечувати збір та аналіз даних

про стан атмосферного повітря. Це дозволить вчасно виявляти та оцінювати рівень забруднення, визначати його джерела та розробляти ефективні заходи для поліпшення якості повітря. Результати аналізу даних з моніторингу атмосферного повітря стануть важливим джерелом інформації для розробки та впровадження заходів з охорони атмосферного повітря в агломерації Львова.

Отже, розробка і впровадження інформаційно-аналітичної системи моніторингу атмосферного повітря є важливим кроком у покращенні стану довкілля та забезпеченні екологічної безпеки в агломерації Львова, а для цього важливою частиною програми є прогнозування якості повітря.

Прогнозування якості повітря є важливим завданням в галузі охорони довкілля та здоров'я людей. Для прогнозування якості повітря можна використовувати різні методи машинного навчання, зокрема нейронні мережі, дерева рішень, метод опорних векторів та інші. Нейронні мережі можуть бути використані для прогнозування рівня забруднення повітря на основі даних про погоду, вітер, температуру та вологість. Ці дані можуть бути зібрані з різних джерел, наприклад, з датчиків, які встановлені в різних точках міста. Надалі, ці дані можуть бути оброблені та проаналізовані з використанням машинного навчання. Машинне навчання використовується для створення моделей, які можуть прогнозувати якість повітря на основі зібраних даних. Для цього можуть використовуватися різні методи машинного навчання, такі як нейронні мережі, дерева рішень та інші.

Наприклад, можна використати нейронні мережі для прогнозування рівня забруднення повітря на основі даних про погоду, вітер, температуру та вологість. Дерева рішень можуть використовуватися для прогнозування ризику виникнення певних захворювань у залежності від рівня забруднення повітря. Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки, тому вибір конкретного методу залежить від конкретної задачі та даних, які використовуються.

Застосування машинного навчання для прогнозування якості повітря може допомогти в розробці більш точних та ефективних стратегій управління якістю повітря та підвищенні рівня здоров'я населення.

Для використання машинного навчання в прогнозуванні якості повітря необхідні якісні та достовірні дані. З цією метою можуть бути використані різні джерела даних, такі як супутникові знімки, метеорологічні станції, датчики забруднення повітря, соціальні медіа та інші. Крім того, важливо мати достатню кількість даних для навчання моделей машинного навчання, щоб забезпечити їх ефективність та точність.

2. Методи та засоби реалізації

Дослідницький аналіз даних (EDA) та індекс якості повітря (AQI) є важливим кроком у аналізі та розумінні даних про забруднення повітря. EDA передбачає аналіз і візуалізацію даних для виявлення закономірностей і тенденцій у даних [1-2]. Це також допомагає виявити будь-які шуми або аномалії в даних.

Етапи AQI EDA:

- Збір даних: Першим кроком є збір даних про забруднення повітря з різних джерел, таких як державні установи, метеостанції та монітори якості повітря.
- Очищення даних: зібрані дані можуть містити відсутні значення, викиди або невідповідності. Тому необхідно очистити дані, видаливши всі помилки, дублікати та неповні дані.

- Дослідження даних: на цьому кроці для дослідження даних використовуються різні статистичні методи та техніки візуалізації. Це передбачає аналіз розподілу даних, виявлення будь-яких закономірностей і виявлення будь-яких викидів або аномалій.
- Візуалізація даних: Візуалізація даних є важливим аспектом EDA. Це допомагає представити дані у змістовний і зрозумілий спосіб. Для візуалізації даних про забруднення повітря можна використовувати різні графіки, діаграми та карти.
- Кореляційний аналіз: кореляційний аналіз використовується для визначення зв'язку між різними змінними. У даних про забруднення повітря можна проаналізувати співвідношення між такими забруднювачами, як PM_{2,5}, PM₁₀, NO₂ і SO₂, щоб визначити будь-які можливі джерела забруднення.
- Аналіз часових рядів. Аналіз часових рядів використовується для аналізу тенденцій і сезонності в даних забруднення повітря за певний період часу. Це допомагає визначити будь-які довгострокові закономірності чи тенденції в даних.
- Моделювання даних: нарешті, такі методи моделювання даних, як лінійна регресія, дерева рішень і нейронні мережі, можна використовувати для прогнозування рівнів забруднення повітря на основі історичних даних.

Іншим параметром, який досліджується у роботі, є категорія якості повітря. На основі серії вимірювань з допомогою додатку eco-city було визначено вісім рівнів якості повітря, який наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Категоризація забруднення повітря

Категорія	Значення	Для уразливих та чутливих груп
Категорія якості повітря I	Добра якість повітря	Вміст у повітрі забруднюючих речовин у межах норми та не становить небезпеки. Плануйте діяльність, відпочинок або інші активності на відкритому повітрі без додаткових обмежень, застережень або рекомендацій.
Категорія якості повітря II	Задовільна якість повітря	Вміст у повітрі забруднюючих речовин у межах норми та не становить небезпеки. Плануйте діяльність, відпочинок або інші активності на відкритому повітрі без додаткових обмежень, застережень або рекомендацій. У рідких випадках дуже невеликої кількості населення, які надзвичайно чутливі до забруднення повітря, можуть виникнути дискомфорт та рефлекторні реакції – кашель, задишка тощо. Надзвичайно чутливим до забруднення повітря людям рекомендуємо зменшити тривалі або важкі фізичні навантаження на відкритому повітрі.
Категорія якості повітря III	Якість повітря несприятлива	Вміст у повітрі забруднюючих речовин у межах норми, проте уразливі та чутливі до забруднення категорії населення можуть мати наслідки для стану здоров'я при довготривалому впливі. Враховуйте спеціальні обмеження, застереження та рекомендації під час планування діяльності, відпочинку або інших активностей на відкритому повітрі. Рекомендуємо

		<p>уразливим та чутливим до забруднення категоріям населення зменшити тривалі або важкі фізичні навантаження на відкритому повітрі. Якщо ви відчуваєте дискомфорт під час дихання та прояви інших рефлекторних реакцій – рекомендуємо дотримуватися звичайних порад та плану лікування від вашого лікаря. Люди хворі на астму, ХОЗЛ та респіраторі захворювання можуть відчувати посилення звичних симптомів та рефлекторних реакцій. Рекомендуємо сумлінно дотримуватися свого плану терапії хронічних захворювань та прийому ліків, які призначив ваш лікар. Люди із хронічними захворюваннями серцево-судинної системи можуть відчувати додаткові та посилені рефлекторні реакції – підвищене серцебиття, задишка або незвичайна втома. У випадку довготривалого прояву цих реакцій рекомендуємо звернутися за консультацією до вашого лікаря та сумлінно виконувати його настанови.</p>
Категорія якості повітря IV	Погана якість повітря	<p>Вміст у повітрі забруднюючих речовин становить небезпеку при довготривалому впливі. Усі категорії населення можуть відчувати загострення рефлекторних реакцій та мати наслідки для здоров'я при довготривалому впливі. Діють спеціальні обмеження, застереження та рекомендації для тривалості діяльності, відпочинку або інших активностей на відкритому повітрі. Усім уразливим та чутливим до забруднення категоріям населення рекомендуємо виключити та перенести на інших час тривалі або важкі фізичні навантаження на відкритому повітрі. Чутливі до забруднення категорії населення, які мають хронічні захворювання, можуть відчувати значне посилення звичних симптомів та рефлекторних реакцій. Рекомендуємо сумлінно дотримуватися свого плану терапії хронічних захворювань та прийому ліків, які призначив ваш лікар. У випадку довготривалого прояву рефлекторних реакцій рекомендуємо звернутися за консультацією до вашого лікаря та сумлінно виконувати його настанови.</p>
Категорія якості повітря V	Дуже погана якість повітря	<p>Для уразливих та чутливих до забруднення категорій населення вміст у повітрі забруднюючих речовин становить небезпеку навіть при короткостроковому впливі. Усі категорії населення можуть відчувати сильне загострення рефлекторних реакцій та мати наслідки для здоров'я навіть при короткостроковому впливі. Для уразливих та чутливих до забруднення категорій населення діють спеціальні обмеження,</p>

		застереження та рекомендації для перебування на відкритому повітря для будь-якої діяльності. Рекомендуємо виключити або перенести на інший час будь-яку діяльність на відкритому повітрі. Якщо у вас виникає рефлекторна реакція на забруднене повітря – кашель, задишка, подразнення слизових оболонок носоглотки, біль в очах тощо – рекомендуємо використовувати засоби індивідуального захисту органів дихання. У випадку довготривалого прояву рефлекторних реакцій або інших відчутних наслідків для вашого здоров'я рекомендуємо звернутися за консультацією до вашого лікаря та сумлінно виконувати його настанови.
Категорія якості повітря VI	Надзвичайно погана якість повітря	Вміст у повітрі забруднюючих речовин становить небезпеку навіть при короткостроковому впливі. Усі категорії населення можуть відчувати сильне загострення рефлекторних реакцій та мати наслідки для здоров'я небезпеку навіть при короткостроковому впливі. Для всіх категорій населення діють спеціальні обмеження, застереження та рекомендації для перебування на відкритому повітря для будь-якої діяльності. Рекомендуємо виключити або перенести на інший час будь-яку діяльність на відкритому повітрі. Якщо у вас виникає рефлекторна реакція на забруднене повітря – кашель, задишка, подразнення слизових оболонок носоглотки, біль в очах тощо – рекомендуємо використовувати засоби індивідуального захисту органів дихання. У випадку довготривалого прояву рефлекторних реакцій або інших відчутних наслідків для вашого здоров'я рекомендуємо звернутися за консультацією до вашого лікаря та сумлінно виконувати його настанови.
Категорія якості повітря VII	Якість повітря тимчасово невідома, причини технічного характеру	Через різні технічні причини станції моніторингу якості повітря на території, яка вас цікавить, не передають результати спостережень за цим параметром. Якщо під час дихання ви відчуваєте дискомфорт або маєте виражені рефлекторні реакції - рекомендуємо обмежити або перенести на інший час будь-яку діяльність на відкритому повітрі або використовувати засоби індивідуального захисту органів дихання. У випадку довготривалого прояву рефлекторних реакцій або інших відчутних наслідків для вашого здоров'я рекомендуємо звернутися за консультацією до вашого лікаря та сумлінно виконувати його настанови.
Категорія якості	Якість повітря невідома,	На території, яка вас цікавить, не здійснюється моніторинг якості повітря за цим параметром. Якщо під

повітря VIII	моніторинг не здійснюється	час дихання ви відчуваєте дискомфорт або маєте виражені рефлекторні реакції - рекомендуємо обмежити або перенести на інший час будь-яку діяльність на відкритому повітрі або використовувати засоби індивідуального захисту органів дихання. У випадку довготривалого прояву рефлекторних реакцій або інших відчутних наслідків для вашого здоров'я рекомендуємо звернутися за консультацією до вашого лікаря та сумлінно виконувати його настанов.
--------------	----------------------------	---

3. Результати та їх аналіз

Один із активних проєктів моніторингу якості атмосферного повітря, що реалізується громадськими організаціями в Україні, - це проєкт SaveEcoBot [6]. Основною метою цього проєкту є інформування громадськості про стан якості повітря у місцезнаходженні користувача сайту. Моніторингова станція SaveEcoSensor дозволяє вимірювати вміст пилу у повітрі фракціями 2,5 та 10 мікронів (PM2.5 і PM10). Інтегрований сенсор температури-вологості-тиску автоматично коригує отриману інформацію залежно від погодних умов, а модуль підігріву мінімізує вплив під час туману, опадів та негативних температур. Наприклад, підключений до мережі сенсор, проводить вимірювання кожні 90 секунд і передає дані безпосередньо до наступних онлайн-ресурсів:

- система SaveEcoBot, що включає інтерактивну мапу та чат-бота в Telegram, Facebook або Viber;
- aqicn.org - глобальна карта забруднення повітря, що охоплює весь світ.

Загальний вигляд представлення даних про рівень забруднення атмосферного повітря у системі SaveEco на прикладі міста Львова показано на рис. 1.

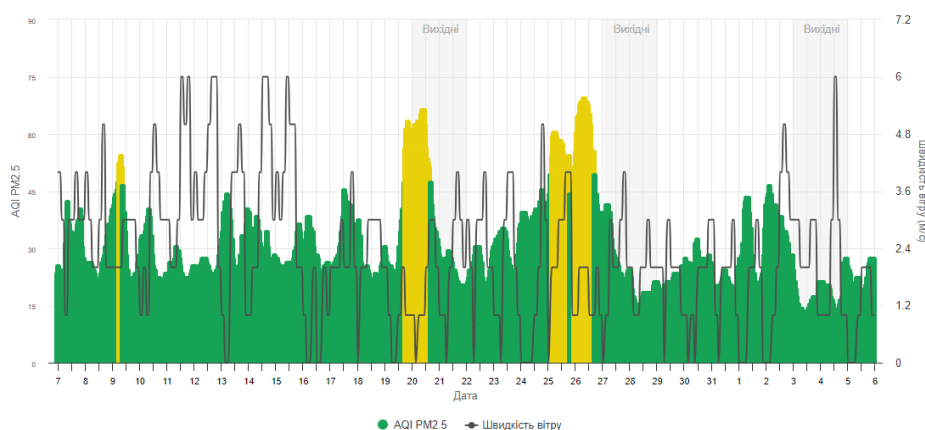


Рис. 1. Середній індекс якості повітря у м. Львів за даними SaveEcoBot

Система є дуже простою у використанні та дозволяє проаналізувати рівень забруднення у різні періоди часу. Однак, система має і ряд недоліків. Зокрема,

нестабільність її роботи, а також те, що на даний час станції моніторингу стану атмосферного повітря, які встановлені в м. Львові не працюють.

Ще одним з перших громадських проєктів моніторингу якості повітря є EcoCity - за кордоном їх називають "Citizens Science". Хоча аналогічні проєкти існують вже доволі давно у розвинених країнах - ЄС, Китаї та США, проте, у порівнянні з EcoCity, аналіз рівня забруднення повітря проводиться за меншою кількістю параметрів [7].

Отримані дані про якість повітря в Україні передаються до всесвітнього сайту моніторингу World's Air Pollution: Real-time Air Quality Index, де вони відображаються на карті. Мережа станцій EcoCity дозволяє аналізувати забрудненість повітря в містах України та інформувати населення на нашій мапі. Інформування про забруднення дає можливість попередити населення про рівень шкідливого впливу забрудненого повітря на здоров'я. Загальний вигляд представлення даних про рівень забруднення атмосферного повітря у системі EcoCity на прикладі Львова показано на рисунку 2.

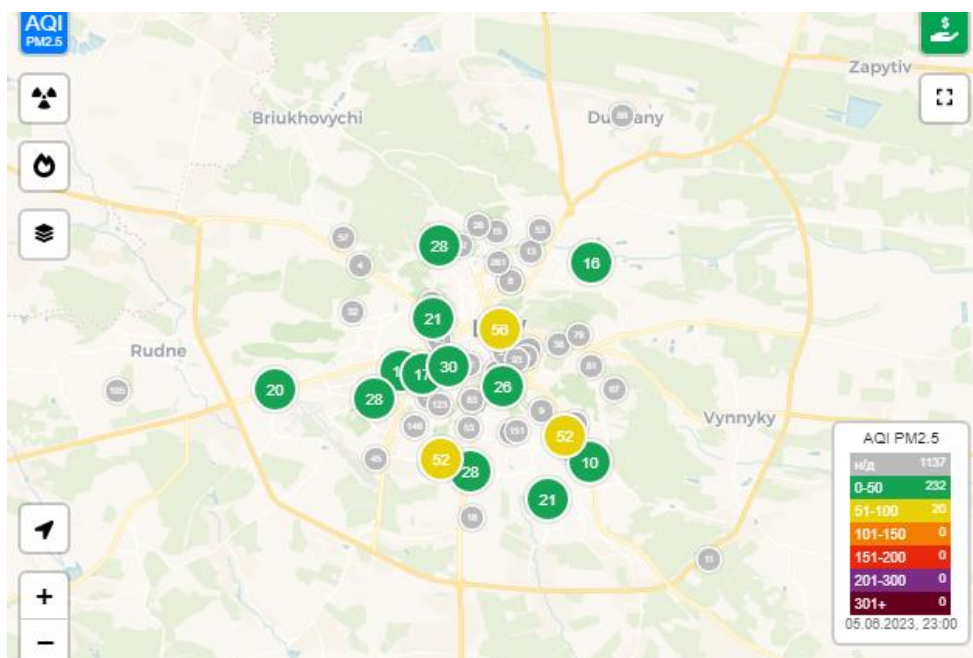


Рис. 2. Рівень забруднення атмосферного повітря у місті Львів

На сьогоднішній день все більшої популярності набуває моніторинг та оцінювання стану атмосферного повітря, зокрема, за допомогою обробки даних з метеорологічних супутників. Супутники стали основними інструментами для відстеження погодних явищ, таких як грози, торнадо та урагани, а також для покращення щоденних прогнозів погоди.

Зараз супутники все частіше використовуються для моніторингу якості повітря та переміщення забруднень у повітрі, яким ми дихаємо. Це надає певні переваги, такі як здійснення моніторингу стану повітря у будь-якому місці землі, низька вартість

виконання, можливість оцінки на великих територіях [5]. Використання доступної метеорологічної станції даних додатково покращує точність прогнозування.

Для проведення дослідження забруднення атмосферного повітря використовуються дані з геопорталу Ventusky. Обраний геопортал використовує метеорологічні супутники, які можуть легко відстежувати кількість аерозолів, що викидаються в атмосферу внаслідок пилових бурь і великих лісових пожеж, а також аерозолі, що утворилися газоподібними забруднювачами, такими як діоксид азоту, діоксид сірки та формальдегід. Можливості моніторингу, зі застосуванням таких технологій, можуть змінити прогнози якості повітря.

Ці вимірювання дозволяють дослідникам спостерігати за викидами забруднюючих речовин і бачити, як забруднення змінюється протягом годин, днів і тижнів, взаємодіючи з погодними умовами.

Перевагами сучасних програм моніторингу за станом атмосферного повітря є доступність та зручність у використанні, швидка обробка показників. Всі інформаційні дані надано безкоштовно і без обмежень. Такі переваги даних методів дозволяють підвищити рівень обізнаності про стан навколишнього атмосферного середовища серед населення. Однозначною перевагою та здобутком таких систем моніторингу є використання великої кількості вимірювального обладнання з високою щільністю на міській території.

Головною перспективою використання сучасних інформаційних систем для моніторингу якості атмосферного повітря є якісний перехід до управління якістю повітря через оцінку результатів та планування заходів з підвищення якості повітря.

Загалом, впровадження сучасних систем моніторингу якості повітря, таких як EсоCity та використання метеорологічних супутників, дозволяє отримувати більш точні дані про рівень забруднення атмосфери та сприяє підвищенню обізнаності громадськості про стан довкілля. Це може вплинути на прийняття ефективних заходів для покращення якості повітря та збереження здоров'я людей.

На основі аналізу зібраних вхідних даних, необхідних для розробки програми державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря агломерації "Львів", була розроблена узагальнена структура інформаційної аналітичної системи моніторингу якості атмосферного повітря міста [3]. Ця система має на меті збирати та аналізувати дані щодо забруднення повітря та його компонентів у Львові з метою забезпечення ефективного контролю над якістю повітря та прийняття необхідних заходів для його покращення.

Узагальнена структура інформаційної аналітичної системи моніторингу атмосферного повітря міста Львова передбачає наявність декількох ключових компонентів. Система включає в себе мережу станцій моніторингу, які розташовані по різних районах міста та здатні здійснювати постійний збір даних про рівень забруднення повітря. Ці дані передаються до центральної бази даних, де проводиться їх обробка та аналіз.

До складу інформаційної аналітичної системи входить також веб-інтерфейс, який надає можливість користувачам отримувати інформацію про якість повітря в реальному часі. Завдяки цьому, мешканці Львова можуть бути поінформовані про рівень забруднення та приймати необхідні заходи для збереження свого здоров'я.

Крім того, система передбачає можливість відображення даних про якість повітря на інтерактивній мапі, що дозволяє візуально оцінювати рівень забруднення в окремих

районах міста. Це допомагає владі та відповідним органам контролювати ситуацію з якістю повітря та приймати необхідні рішення для його покращення.

Узагальнена структура інформаційної аналітичної системи моніторингу атмосферного повітря міста Львова є важливим інструментом для забезпечення контролю та покращення якості повітря в місті. Вона дозволяє ефективно збирати та аналізувати дані, інформувати мешканців та владу про стан довкілля та сприяти прийняттю рішень для збереження чистого повітря у Львові. Графічне представлення розробленої архітектури приведено на рисунку 3.



Рис. 3. Базова структура інформаційної аналітичної системи моніторингу атмосферного повітря

Система моніторингу якості атмосферного повітря є надзвичайно важливою для забезпечення необхідного рівня життєвої якості та здоров'я населення. Для ефективного контролю стану атмосфери та виявлення джерел забруднення необхідна наявність інформації про рівень концентрації шкідливих речовин у повітрі та їх тенденції зміни.

Традиційні системи контролю якості атмосфери вже не відповідають сучасним вимогам щодо оперативності збору, обробки, передачі та застосування результатів спостережень. У цьому контексті, розробка сучасних систем моніторингу атмосфери, які працюють в режимі реального часу, є дуже перспективною.

Основними компонентами запропонованої системи моніторингу атмосферного повітря є:

- База даних: Цей компонент забезпечує накопичення, зберігання та структурування даних про рівень концентрації шкідливих речовин у повітрі. Вона також має можливість швидкого автоматизованого формування вибірок даних і застосування агрегуючих (групових) функцій для узагальнення даних за певний період або певні пости спостереження.

- Геоінформаційна система (ГІС) для побудови прогнозувань: Цей компонент забезпечує просторову прив'язку даних, інтеграцію з базою даних та побудову аналітичних тематичних карт. Використання методів просторового аналізу та сучасних методів візуалізації даних дозволяє отримувати більш деталізовану інформацію про розподіл забруднюючих речовин у просторі.

- Модуль аналізу даних: Цей компонент виконує аналіз інформації, збереженої в базі даних системи. Він може порівнювати дані з діючими нормативами, виконувати статистичний аналіз та графічно відображати результати. Цей модуль може бути реалізований за допомогою сучасних математичних обчислювальних пакетів або як окрема прикладна програма.

На основі запропонованої структури розроблена інформаційна аналітична система моніторингу якості атмосферного повітря у місті Львові. Дана система пройшла тестування та апробацію за даними з 2010 по 2023 роки. Результати спостережень були використані для побудови карт просторового розподілу концентрацій оксиду вуглецю, отриманих за допомогою методу середньозважених відстаней та просторової інтерполяції.

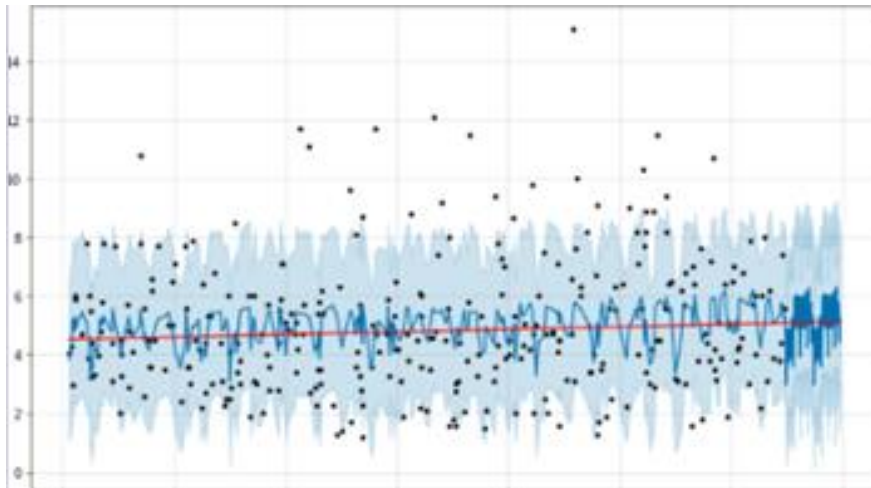


Рис. 4. Графік для тренду зростання забруднення

4. Висновки

Аналіз та моніторинг якості атмосферного повітря є важливими завданнями в галузі охорони навколишнього середовища. Інформація про рівень забруднення та тенденції

його зміни дозволяє приймати ефективні рішення щодо зниження впливу шкідливих речовин на здоров'я людей та екологію.

Таким чином, AQI EDA є важливим кроком в аналізі даних про забруднення повітря. Це допомагає визначити закономірності, тенденції та аномалії в даних, а також дає уявлення про фактори, які сприяють забрудненню повітря. Цю інформацію можна використати для розробки ефективних стратегій управління якістю повітря та покращення здоров'я населення.

Загалом методи машинного навчання можуть допомогти прогнозувати якість повітря та розробляти ефективні стратегії управління якістю повітря, що може мати значний вплив на здоров'я населення та навколишнє середовище.

Традиційні системи моніторингу атмосферного повітря часто не задовольняють вимог сучасності, особливо щодо оперативності збору, обробки, передачі та використання даних. Однак, розвиток сучасних систем екологічного моніторингу, заснованих на принципі обробки даних в режимі реального часу, відкриває нові перспективи в цій сфері. Використання таких систем дозволить значно поліпшити якість моніторингу та оперативно реагувати на зміни стану атмосфери.

Однією з головних переваг сучасних систем моніторингу є їх здатність передбачати потенційно небезпечні ситуації та генерувати попереджувальні повідомлення. Це особливо актуально у регіонах, де спостерігаються високі рівні забруднення повітря. Завдяки таким системам, можна раніше виявляти критичні ситуації та приймати необхідні заходи для запобігання негативним наслідкам для здоров'я та довкілля.

Додатково, системи моніторингу якості повітря відіграють важливу роль у формуванні свідомого ставлення до екологічних проблем серед населення. Надання доступної та зрозумілої інформації про рівень забруднення повітря може спонукати громадян до прийняття екологічно відповідальних рішень та зміни своїх повсякденних звичок у напрямку збереження навколишнього середовища.

Отже, розвиток і впровадження сучасних систем моніторингу атмосферного повітря є важливим кроком у напрямку поліпшення якості повітря, охорони здоров'я та збереження навколишнього середовища. Ці системи не тільки надають оперативну інформацію про стан атмосфери, але й сприяють попередженню можливих небезпек та активному залученню громадськості до збереження чистоти повітря.

Список використаних джерел

- [1] Ночвай В. Використання ГІС у задачах управління якістю повітря / Ночвай В., Криваковська Р., Ішук О. // Електроніка та інформаційні технології. 2012. Вип. 2. С. 154–163.
- [2] Посудін Ю. І. Моніторинг довкілля з основами метрології: підручник – К.: 2012. – 426
- [3] Wang, S., Ma, Y., Wang, Z., Wang, L., Chi, X., Ding, A., Yao, M., Li, Y., Li, Q., Wu, M., Zhang, L., Xiao, Y., and Zhang, Y.: Mobile monitoring of urban air quality at high spatial resolution by low-cost sensors: impacts of COVID-19 pandemic lockdown, *Atmos. Chem. Phys.*, 21, 7199–7215, <https://doi.org/10.5194/acp-21-7199-2021>, 2021Beб-додаток Ventusky.
- [4] Запорожець А. О. Аналіз засобів моніторингу забруднення повітря навколишнього середовища. *Science-Based Technologies*. № 35 (3). 2017. С. 242–252.

- [5] Електронний ресурс: URL: <https://www.ventusky.com/>
- [6] Забруднення повітря в Україні SaveEcoBotmaps. Електронний ресурс: URL: <https://www.saveecobot.com/>
- [7] Карта моніторингу якості повітря. Електронний ресурс: URL: <https://eco-city.org.ua/>

AIR QUALITY FORECASTING WITH THE SUPPORT OF MACHINE LEARNING

L. Monastyrskiy, V. Hura

*Ivan Franko National University of Lviv,
50 Drahomanov St., UA-79005 Lviv, Ukraine
volodymyr.gura@lnu.edu.ua*

An information-analytical system for monitoring the atmospheric air of the city of Lviv has been developed. The system's overall architecture has been designed and implemented with software development. The system has been populated with data and successfully tested during data analysis to develop sections of the state monitoring program for air pollution control in the Lviv agglomeration.

The development process involved designing the overall architecture, including the components, modules, and their interconnections. Subsequently, the system was programmatically implemented, encompassing the development of necessary modules and functionalities. Data was collected from various sources such as air monitoring sensors and meteorological stations to populate the system.

Following the completion of system development, the system underwent testing and validation while addressing real-world analytical tasks. Specifically, the system was utilized in the development of sections of the state monitoring program for air pollution control in the Lviv agglomeration. This allowed for assessing the system's effectiveness and usefulness in addressing specific air quality management challenges.

Through these efforts, an information-analytical system for monitoring the atmospheric air of Lviv has been created, facilitating the collection, analysis, and utilization of vital information on air quality to improve the environmental situation and make informed decisions regarding air pollution control. Overall, the successful development and deployment of this information-analytical system for atmospheric air monitoring pave the way for a more sustainable and eco-friendly urban environment in Lviv and beyond.

Key words: prediction, analysis, air quality, ambient air, cross-platform development, software framework, air monitoring.

Стаття надійшла до редакції 12.06.2023

Прийнята до друку 14.06.2023