

ПОБУДОВА НИЗЬКОБЮДЖЕТНОЇ ПОРТАТИВНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЗАПИЛЕНОСТІ ПОВІТРЯ НА БАЗІ СМАРТФОНА

П. В. Калінский, А. М. Міщенко

Анотація. Наявність у повітрі часточок пилу в концентраціях, що перевищують норму, можуть мати значний негативний вплив на здоров'я людини. Задача моніторингу якості повітря є надзвичайно важливою в умовах урбаністичного середовища. У статті представлені результати розробки недорогої портативної бездротової системи для вимірювання щільності пилу в повітрі. Пристрій побудовано на основі оптичного аналогового датчика щільності часточок пилу Sharp GP2Y1010AU0F. Збір даних, прив'язка їх до поточних GPS-координат та керування системою моніторингу здійснюється за допомогою смартфона. Оцифровування сигналу датчика пилу, їх первинна обробка та безпроводний зв'язок між смартфоном і системою моніторингу здійснюється мікроконтролером ESP32-S. Продемонстровано результати випробовування системи для створення карт забруднення у м. Вінниці.

Ключові слова: пил, оптичний пиломір, аерозолі, ESP32-S, моніторинг повітря.

Світові дослідження наукового співтовариства постійно звертають увагу на вплив часток пилу на здоров'я людини, оскільки цей вплив має серйозні наслідки. Зокрема, частки PM10 (розміром до 10 мікрметрів), що переважно виявляються у пилу в повітрі, а також менші частки PM2,5 (розміром до 2,5 мікрметрів), притаманні диму та туману, є основними предметами уваги. Ці мікрочастки можуть проникати глибоко в дихальні шляхи та легені, сприяючи виникненню хронічного бронхіту, погіршенню симптомів захворювань дихальних шляхів та інших негативних наслідків для органів дихання. У світі наукових спільнот наведені дані, що підтверджують вплив часток на здоров'я людини та нагальність і важливість проблеми, яка потребує безперервного контролю навколишнього середовища.

Встановлено, що середньорічна допустима концентрація PM10 становить 28 мікрограм на кубічний метр повітря, водночас для PM2,5 це значення становить 17 мікрограм на кубічний метр. Існує широкий вибір приладів для вимірювання щільності пилу, проте багато з них мають високу вартість або не зовсім зручні для портативного використання чи мають визначені сфери застосування. Через це виникає необхідність розробки доступних та ефективних систем вимірювання, які базуються на використанні простих і недорогих компонентів. Такі системи можуть використовуватися в різних сферах застосування, незважаючи на меншу точність, порівняно з комерційно використовуваними дорогими і громіздкими аналогами. Впровадження бездротового зв'язку дасть змогу використовувати ці системи в якості бездротових сенсорних мереж.

Серед кількох методів вимірювання щільності пилу найкращим є оптичний принцип. Датчики, що працюють за цим принципом, випромінюють світловий промінь, який за наявності пилу розсіюється на сенсори та перетворюється на імпульсний сигнал, пропорційний концентрації частинок.

У сучасному світі моніторинг якості повітря здійснюється за допомогою стаціонарних вимірювальних станцій, що контролюються державними органами. Однак великі витрати на їх придбання та обслуговування обмежують їх кількість і призводять до обмеженої просторової роздільної здатності опублікованих карт забруднення. Рішенням цієї проблеми є розробка індивідуальної вимірювальної системи з використанням недорогих готових компонентів, подібних до систем, представлених у статтях [1–5]. Для отримання детальної інформації про забруднення повітря можна залучити мобільні пристрої, як-от смартфони зі вбудованим GPS. Це відкриває можливість створення широкомасштабної сенсорної мережі для спільного моніторингу забруднення повітря.

Проте виникають певні виклики, як-от забезпечення для використання недорогого та потужного вимірювального обладнання, розробки програмного забезпечення для отримання і подальшої обробки даних, способів отримання високоякісних даних та надання інформаційного зворотного зв'язку з користувачами. Для розв'язання цих проблем розроблено прототип системи вимірювання якості повітря «Dust Monitor». Ця система базується на малогабаритному датчику концентрації пилу в повітрі, який підключається до смартфонів на базі ОС Android.

У цій роботі представлені результати розробки та тестування системи моніторингу щільності пилу, що вирізняється низькою вартістю та простотою використання. Далі використання інфраструктури громадського зондування може стати ефективним засобом отримання детальних просторових даних про забруднення повітря, враховуючи розповсюдження персональних смартфонів зі вбудованими GPS-датчиками. Такий підхід сприяє залученню громадськості до процесу моніторингу та підвищенню її обізнаності щодо якості повітря, що сприяє сталому розвитку суспільства.

У межах апаратної архітектури нашої мобільної системи моніторингу пилу застосовується вмонтований оптичний датчик Sharp GP2Y1010AU0F. Вбудований датчик GP2Y1010AU0F має здатність виявляти дрібні частинки, що мають розмір більше 0,8 мкм у діаметрі, зокрема сигаретний дим. Характеристикою цього датчика є низьке енергоспоживання, аналоговий вихід напруги та лінійний рівень вихідного сигналу, який корелює зі щільністю пилу. Для підтримки різноманітних джерел живлення передбачено вбудовану схему посилення напруги. Технічні параметри цього сенсора включають чутливість на рівні 0,5 В/(100 мкг/м³), діапазон вимірювання до 500 мкг/м³, живлення від 2,5 до 5,5 В та робочий струм не більше 20 мА.

З метою отримання інформації щодо щільності пилу вихідний сигнал аналогового датчика GP2Y1010AU0F піддається оцифруванню. Для цього використовується мікроконтролер ESP32S, обладнаний модулями WiFi та Bluetooth, а також 12-розрядним аналого-цифровим перетворювачем. Оцифровані дані передаються на мобільний телефон для подальшого аналізу.

Приклад підключення наведено на рис. 1.

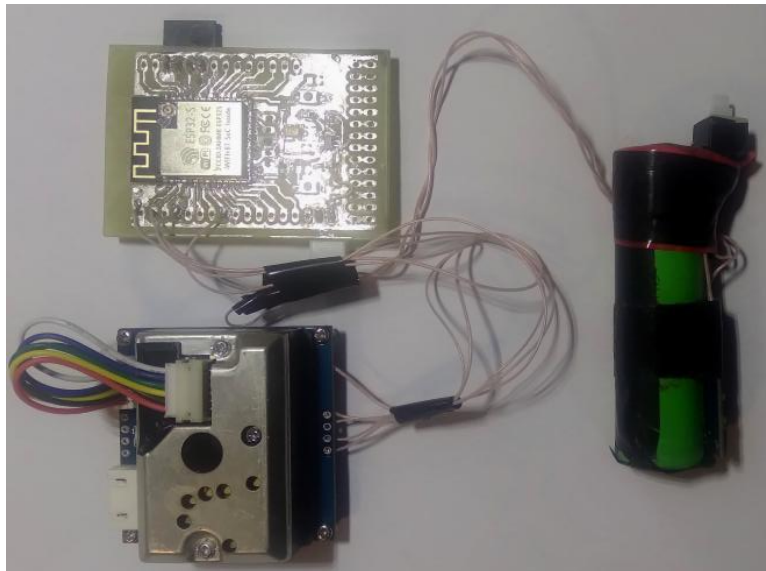


Рис. 1. Датчик для моніторингу якості повітря Sharp GP2Y1010AU0F, підключений до мікроконтролера ESP32-S.

Працюємо з газовим датчиком за допомогою одного акумулятора типу 18650 з номінальною ємністю 1 500 мАг за напруги 3,7 В. Враховуючи найвищий виміряний струм, що споживає 50 мА, приблизно оцінюємо термін служби однієї зарядки акумулятора в 30 годин. Ця тривалість життя дає змогу контролювати концентрацію пилу в повітрі протягом приблизно одного дня.

Прошивка для мікроконтролера ESP32 запускає його в режимі WiFi, до точки доступу до якої підключається смартфон. Обмін даними між смартфоном та мікроконтролером здійснюється за протоколом WebSocket. Мікроконтролер виступає в ролі WebSocket-сервера. WebSocket-клієнт на смартфоні передає команди для зміни конфігурації системи моніторингу, зміни параметрів реєстрації, запуску та зупинки процесу моніторингу. У зворотному напрямі передаються зареєстровані дані. Одне вимірювання триває мінімум 10 мс, але тривалість циклу вимірювань може бути збільшена для покращення точності вимірювань [6]. Перед передачею на смартфон мікроконтролер усереднює результати вимірювань; розмір вибірки, що усереднюється, також можна міняти.

Мобільний додаток, призначений для платформи Android, виконує регулювання параметрів та управління функціоналом системи моніторингу (рис. 2).

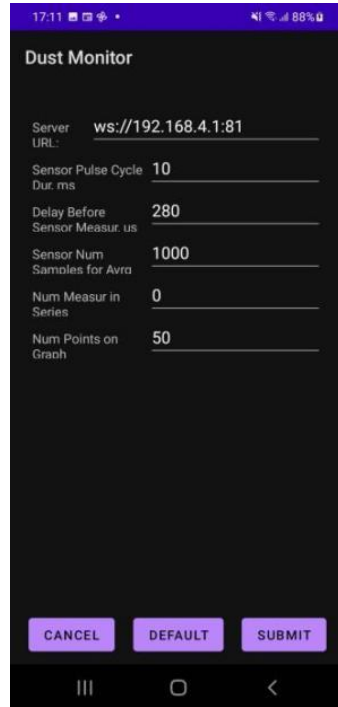


Рис. 2. Панель для налаштування параметрів у мобільному додатку «Dust Monitor»

Він реалізує збір зареєстрованих даних, вимірює поточні GPS-координати та здійснює їх прив'язку до поточних даних, а отримані результати зберігає у текстовому форматі. До того ж додаток виводить поточні результати на екран у вигляді текстової інформації та динамічних графіків. WebSocket-клієнт був імплементований за допомогою бібліотеки OkHttp [7]. Задачі збору даних, а також визначення GPS-координат були реалізовані у вигляді фоновому сервісу для можливості їх виконання у фоновому режимі роботи смартфона чи мобільного додатка. Для реалізації динамічних графіків використовується бібліотека GraphView [8] (рис. 3).

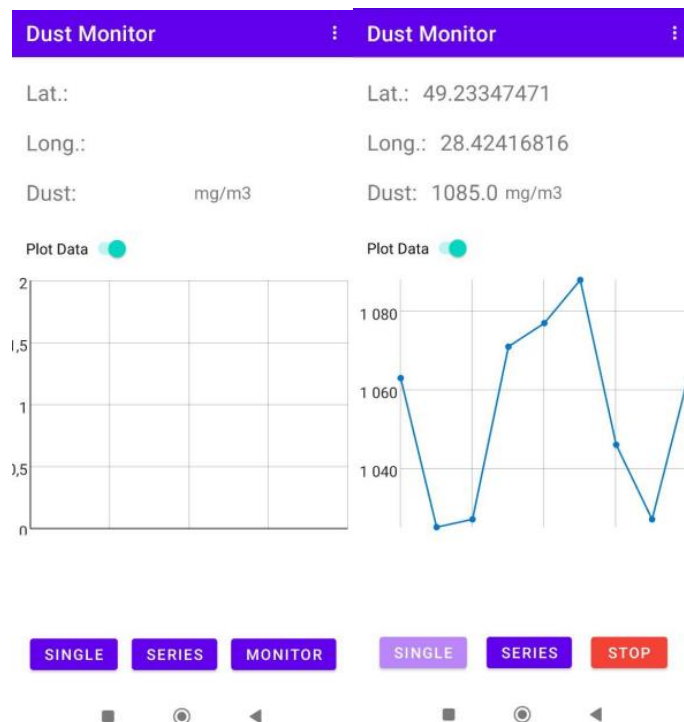


Рис. 3. Панель для виведення результату виміру в мобільному додатку «Dust Monitor»

За допомогою оптичного датчика Sharp GP2Y1010AU0F був проведений моніторинг за різними маршрутами пішки в різні часи доби.

Був проведений моніторинг у місті, а також в екологічно чистих місцях, як-от ліс.

За отриманими результатами можна спостерігати збільшення щільності пилу біля доріг (рис. 4).

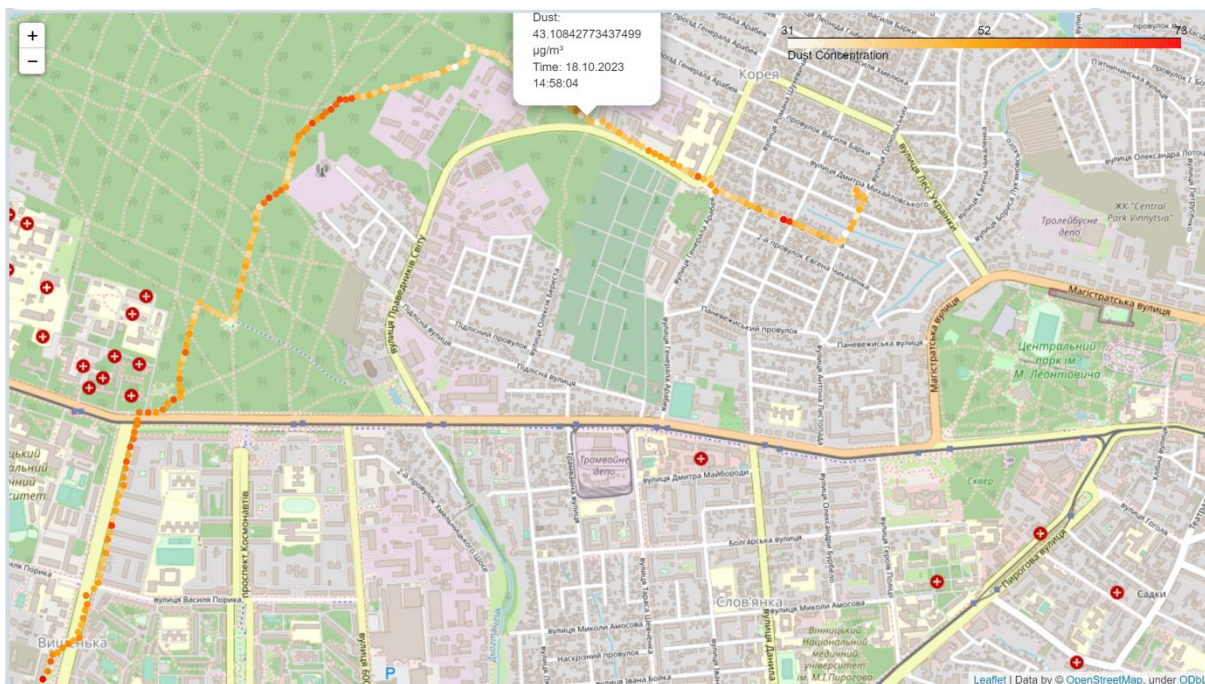


Рис. 4. Концентрація забруднення повітря біля дороги з інтенсивним рухом

У лісі щільність забруднення не виходить за межі норми (рис. 5). Однак у деяких місцях спостерігається підвищення щільності пилу, що може бути пов'язано зі спорами грибів, які розповсюджуються в повітрі.

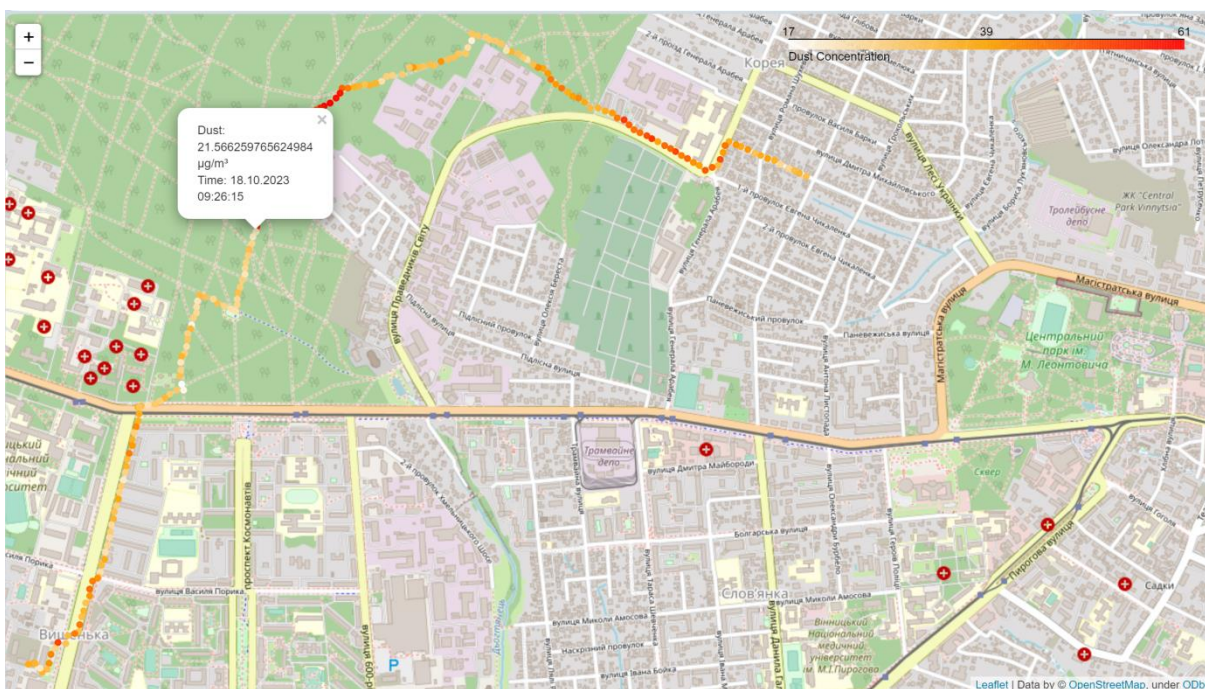


Рис. 5. Концентрація забруднення повітря в лісопарку

Вимірювання за однаковим маршрутом проводились декілька разів впродовж дня. Щільність пилу біля доріг підвищується зранку, коли трафік автотранспорту є більшим (рис. 6).

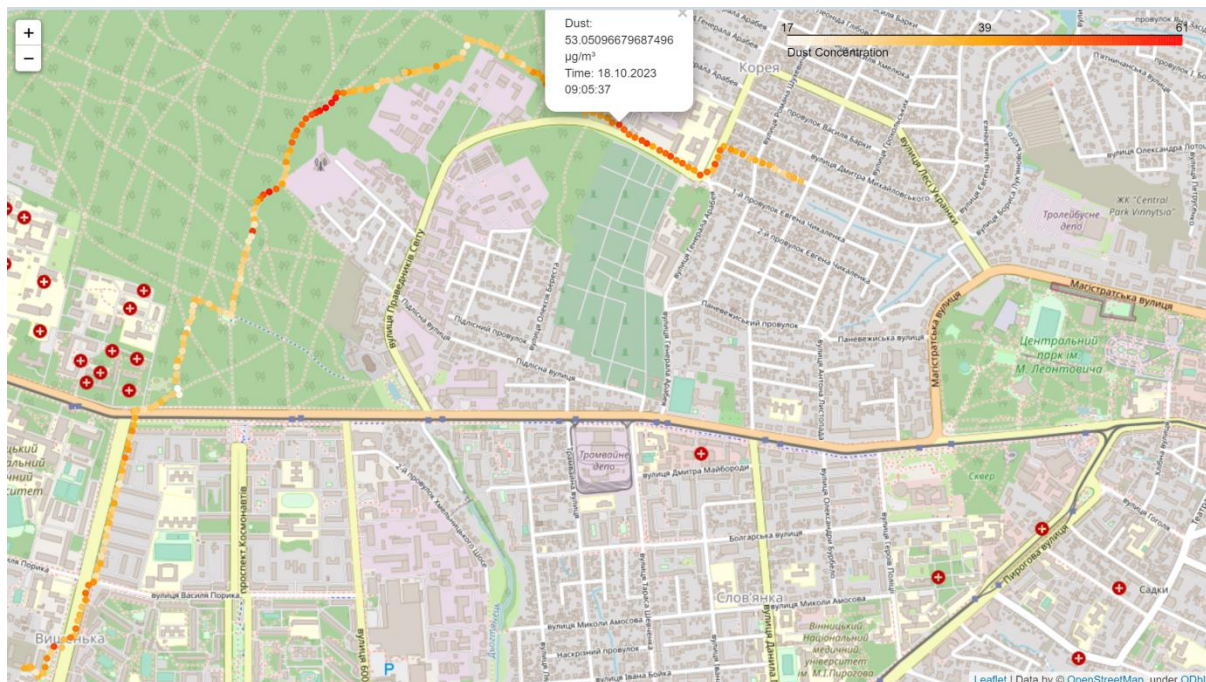


Рис. 6. Концентрація забруднення повітря біля дороги з інтенсивним рухом зранку

Також за результатами моніторингу треба зазначити, що за відсутності вітру та засушливої погоди виміряна концентрація забруднення в повітрі вища.

Висновки. Було створено портативну бездротову систему для вимірювання щільності пилу в повітрі на основі оптичного аналогового датчика щільності часточок пилу GP2Y1010AU0F. Для збереження, візуалізації, а також прив'язки вимірних даних до поточних GPS-координат використовується смартфон. Оцифровування сигналів датчика пилу, їх первинна обробка та безпроводний зв'язок між смартфоном та системою моніторингу реалізовані з використанням недорогого мікроконтролера ESP32-S. Загалом пристрій є дешевим, простим у використанні. Система моніторингу була успішно випробувана для створення карт забруднення у м. Вінниці.

Abstract. The presence of dust particles in the air in concentrations exceeding the norm can have a significant negative impact on human health. The task of air quality monitoring is extremely important in the urban environment. The article presents the results of the development of an inexpensive portable wireless system for measuring the density of dust in the air. The device is built on the basis of an optical analog sensor of the density of dust particles Sharp GP2Y1010AU0F. Data collection, linking to current GPS coordinates and control of the monitoring system is carried out using a smartphone. Digitization of the dust sensor signal, their primary processing and wireless communication between the smartphone and the monitoring system is carried out by the ESP32-S microcontroller. The results of testing the system for creating pollution maps in the city of Vinnytsia are demonstrated.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Measurement of pm 2.5 Concentrations in indoor air using low-cost sensors and arduino platforms / V. Tasić, M. Jovašević-Stojanović, D. Topalović, M. Davidović. Academy of Sciences, Prague, Czech Republic: COST Association, Avenue Louise 149, 1050 Brussels, Belgium, 2016.
2. Rumantri R., Khakim M. Y. N., Iskandar I. Design and characterization of low-cost sensors for air quality Monitoring System / *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*. 2018. Vol. 7, № 3. P. 347–354.
3. Environmental particulate matter (pm) exposure assessment of construction activities using low-cost pm sensor and latin hypercubic technique / M. Khan, N. Khan, M. J. Skibniewski, C. Park. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, № 14. P. 77–97.
4. Hyperlocal environmental data with a mobile platform in urban environments / A. Wang, S. Mora, Y. Machida et al. *Scientific Data*. 2023. Vol. 10, № 1. P. 524.
5. Agrawaal H., Jones C., Thompson J. E. Personal exposure estimates via portable and wireless sensing and reporting of particulate pollution. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17, № 3. P. 843.
6. Thompson J. E. Improved measurement performance for the sharp gp2y1010 dust sensor: reduction of noise. *Atmosphere*. 2021. Vol. 12, № 6. P. 775.
7. OkHttp. URL: <https://square.github.io/okhttp/> (дата звернення: 29.11.2023).
8. GraphView. URL: <https://github.com/jjoe64/GraphView> (дата звернення: 29.11.2023).