
ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ І ПЕРЕТВОРЮВАЧІ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

УДК 512.2

М.П. ДИВАК, В.І. МАНЖУЛА, А.М. МЕЛЬНИК, В.С. ТИМЧИШИН

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ АВТОТРАНСПОРТОМ НА БАЗІ АВТОНОМНОГО АЕРОМОБІЛЬНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ

Західноукраїнський національний університет, [e-mail: mdy@wunu.edu.ua](mailto:mdy@wunu.edu.ua)

Анотація. У статті запропоновано підхід до побудови системи комплексний та безперебійного моніторингу шкідливих викидів автотранспорту у повітря. Наведено архітектуру системи екологічного моніторингу для вимірювання та прогнозування поширення концентрацій забруднюючих речовин, які є у вихлопних газах автотранспорту, серед яких переважно CO, SO₂, NO₂ і CO₂. В якості апаратного забезпечення використовується мобільний інформаційно-вимірювальний комплекс Sniffer4D Hyper-local Air Quality Analyzer та зарядна станція на основі сонячних батарей. Для моделювання та прогнозування поширення концентрацій шкідливих викидів, запропоновано математичні моделі динаміки поширення концентрацій забруднень внаслідок шкідливих викидів у вихлопних газах автотранспорту у вигляді різницевого рівнянь, що є аналогами диференціальних рівнянь в частинних похідних, як моделей турбулентної дифузії та інтервальні моделі поширення фонових рівня концентрації забруднення у вигляді нелінійних алгебраїчних рівнянь. Реалізовано програмне забезпечення для збору, обробки (навчання моделей та прогнозування) та візуалізації даних.

Ключові слова: автотранспорт, викиди від автотранспорту, сонячна батарея, система моніторингу, інтервальна модель, прогнозування поширення забруднень.

Abstract. The article proposes an approach to constructing a system of complex and uninterrupted monitoring of harmful emissions of motor vehicles into the air. The architecture of the environmental monitoring system for measuring and forecasting the distribution of pollutant concentrations in motor vehicle exhaust gases, among which mainly CO, SO₂, NO₂, and CO₂, is presented. The mobile information and measurement complex Sniffer4D Hyper-local Air Quality Analyzer and a charging station based on solar batteries are used as the hardware. For modeling and forecasting the distribution of concentrations of harmful emissions, mathematical models of the dynamics of the distribution of concentrations of pollutants due to harmful emissions in the exhaust gases of motor vehicles are proposed in the form of differential equations that are analogs of differential equations in partial derivatives, as models of turbulent diffusion and interval models of the distribution of the background level of pollution concentration in the form of nonlinear algebraic equations. Implemented software for data collection, processing (model learning and prediction), and visualization.

Keywords: motor vehicle, emissions from motor vehicles, solar battery, monitoring system, interval model, prediction of pollution spread.

DOI:10.31649/1681-7893-2021-42-2-73-83

ВСТУП

Забруднення довкілля внаслідок антропогенної діяльності людини є одним із найбільших викликів перед людством. Забруднюючі речовини призводять до негативних змін у флорі та фауні, а також безпосередньо чи опосередковано спонукають до погіршення здоров'я людини, спричинюючи різноманітні захворювання та патології. Природа джерел шкідливих забруднень є різною, відповідно є різною їх комплексний вплив на атмосферне повітря, ґрунти та водні ресурси. З метою зменшення негативного впливу на довкілля, на сьогоднішній день існує різноманіття систем для його моніторингу. Найкращих результатів досягнуто в моніторингу атмосферного повітря, якість якого має безпосередній вплив на дихальну систему людини і при погіршенні якості призводить до миттєвих наслідків щодо захворюваності. Автотранспорт є одним із найбільш значущих джерел забруднення повітря в містах, і зростання його використання призвело до різкого погіршення санітарних умов життя у великих містах. Автомобілі викидають у повітря шкідливі компоненти, такі як вихлопні гази, пари палива, продукти зносу шин, а також генерують шум і вібрацію. Викиди автотранспорту негативно впливають на здоров'я

¹ © М.П. ДИВАК, В.І. МАНЖУЛА, А.М. МЕЛЬНИК, В.С. ТИМЧИШИН

ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ І ПЕРЕТВОРЮВАЧІ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

людей і тварин, забруднюють воду, деградують ґрунти, рослини, архітектурні та скульптурні пам'ятки, спричиняють корозію металів [1,2]. За даними Міністерства енергетики України, дорожні транспортні засоби щорічно викидають в атмосферу приблизно 1,7 мільярда тон (1,5 мільярда метричних тон) парникових газів (ПГ), переважно у формі вуглекислого газу (CO₂), що сприяє глобальній зміні клімату. Кожен спожитий галон палива викидає в атмосферу 9 кілограмів парникових газів. Це дорівнює від 6 до 9 тон (5-8 метричних тон) ПГ на рік для типового автомобіля.

Забруднювальні іони утворюються, коли автомобілі споживають паливо. Навіть при заправці бензобаків бензином, викиди потрапляють в атмосферу. Розрізняють первинне і вторинне забруднення від автомобілів, вантажівок і автобусів. Вторинне забруднення є результатом хімічних реакцій між забруднювачами повітря [3-5]. Первинні забруднення викидаються безпосередньо в атмосферу; вторинне забруднення є наслідком хімічних реакцій між забруднювачами повітря. Забруднення повітря особливо небезпечне для новонароджених і людей з хронічними захворюваннями. Для великих міст такі забруднення є критичними у порівнянні із іншими видами, оскільки для них забруднення такого типу складають понад 50%. Саме тому проблема моніторингу якості повітря є однією з основних проблем сьогодення.

Також стоїть питання моделювання та прогнозування наслідків забруднення повітря через шкідливі викиди автотранспорту. Для цих цілей використовують математичні моделі у вигляді диференціальних рівнянь в частинних похідних, або їх різнищеві аналоги, ідентифікація та навчання яких реалізується алгоритмами структурної та параметричної ідентифікації. Проте тут виникає проблема задання початкових умов у вигляді вимірювань концентрацій забруднюючих речовин у атмосфері. Для цих цілей необхідно використовувати систему моніторингу забруднень атмосфери автотранспортом. В даній статті наведено підхід до вибору та побудови апаратно-програмного забезпечення системи моніторингу забруднення шкідливими речовинами від викидів автотранспорту.

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ

На даний момент в сфері моніторингу та прогнозування якості повітря існує не так багато комерційних систем які можуть передбачати рух шкідливих речовин в атмосфері. Однією з таких систем є модуль Clarity Ozone Module, який базується на технології від 2B Technologies і забезпечує відносно точні вимірювання забруднення в повітрі в широкому динамічному діапазоні від кількох часток на мільярд за об'ємом (ppb) до верхньої межі 100 часток на мільйон (ppm) на основі добре встановленої методики поглинання ультрафіолетового світла. В основі даного модуля лежить датчик повітря Clarity Node-S з автономним живленням який вимірює NO₂ – і служить платформою для всіх інших модулів Clarity. Коли Node-S проводить перші вимірювання якості повітря, дані завантажуються через 3G/4G LTE у хмару Clarity Cloud, у якій здійснюється опрацювання та зберігання даних. Отримати доступ до даних про забруднювачі можна через веб-програми Clarity Dashboard або за допомогою REST API від Clarity.

Ще одним рішенням є розумні зонди Direct Sense II. Вони вміщують від двох до восьми розумних датчиків в одному портативному пристрої. Можна вибрати 5 різних аспектів якості повітря, TVOCs (загальний вміст летких органічних сполук), вуглекислий газ (недисперсійні інфрачервоні датчики – NDIR – NO₂ датчики), чадний газ, озон, діоксид азоту(NO₂), вологість (%RH), температура (°C) та інших. Зонди Direct Sense II підключають до вимірювачів Advanced Sense від Gray Wolf, які дозволяють вимірювати додаткові параметри, такі як тверді частинки, перепад тиску, швидкість повітря та формальдегід. Незважаючи на свої переваги (доволі висока точність вимірювання, кількість газів які можна вимірювати) дані системи мають ряд недоліків, основним з яких є те, що вони портативні. Це означає, щоб покрити велику площу вимірювання людині потрібно подолати чималий шлях, що в свою чергу може позначитись на релевантності даних.

Також, розглянемо інструменти для вимірювання концентрації забруднення транспортними засобами – автономні дрони у поєднанні з портативними системи вимірювання. Це безпілотні літальні апарати (БПЛА), які працюють за допомогою обчислювальної навігації та операційного програмного забезпечення [6]. Автономний мобільний робот може бути системою, яка працює в не повністю відкритому середовищі. Це означає, що робот повинен мати гнучкість для безперервної навігації та можливість уникати будь-яких перешкод під час руху. Автономний мобільний робот (AMR) має зрозумілі перешкоди для руху, і він сконструйований таким чином, що він може рухатися заздалегідь визначеним чином, будь то в приміщенні чи на вулиці.

ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ І ПЕРЕТВОРЮВАЧІ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Портативна система вимірювання викидів (ПСВВ) – це крихітний і легкий пристрій для вимірювання викидів транспортного засобу, який можна перевозити всередині або транспортувати на автомобілі чи безпілотнику [7]. Аналізатори можуть виводити концентрацію сирого газу, а також коефіцієнти викидів на основі маси, наприклад г/км або г/кВт-год. Простіше кажучи, значно збільшивши кількість тестів, що проводяться за певний період часу, більше тестів можна завершити швидше та за нижчою ціною. У результаті «вартість тесту» значно зменшується, хоча загальна точність, необхідна в «реальній» ситуації, підвищується. Хорошим прикладом є система PowerPad WiBotic. Її бортова система заряджання складається з невеликої антени та міні-плати, яку можна легко встановити на різноманітних дронах або роботах для роботи з PowerPad. Незважаючи на те, що планшет працює бездротовим способом, його можна під'єднати до мережі за допомогою кабелю, щоб користувачі могли змінювати спосіб заряджання на льоту [8].

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Проаналізувавши аналоги систем моніторингу шкідливих викидів, варто відзначити, що забезпечення релевантності результатів вимірювань концентрацій шкідливих викидів від автотранспорту вимагає поєднання автономних систем переміщення (дронів, мобільних роботів) та портативних пристроїв вимірювань. Однак, для забезпечення комплексного та безперервного моніторингу шкідливих викидів автотранспорту, необхідно вирішити питання автономної підзарядки систем переміщення. Саме завдання розробки апаратного, математичного та програмного забезпечення такої системи моніторингу забруднення шкідливими речовинами від викидів автотранспорту розв'язується у даній статті.

АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

В основу системи моніторингу забруднення шкідливими речовинами від викидів автотранспорту покладено апаратно-програмне забезпечення, яке уможливує в автономному режимі здійснювати вимірювання концентрації шкідливих викидів для заданої території та зберігання і обробку даних з метою ідентифікації та навчання математичних інтервальных моделей поширення концентрацій шкідливих викидів. На рисунку 1 зображено архітектуру системи моніторингу.

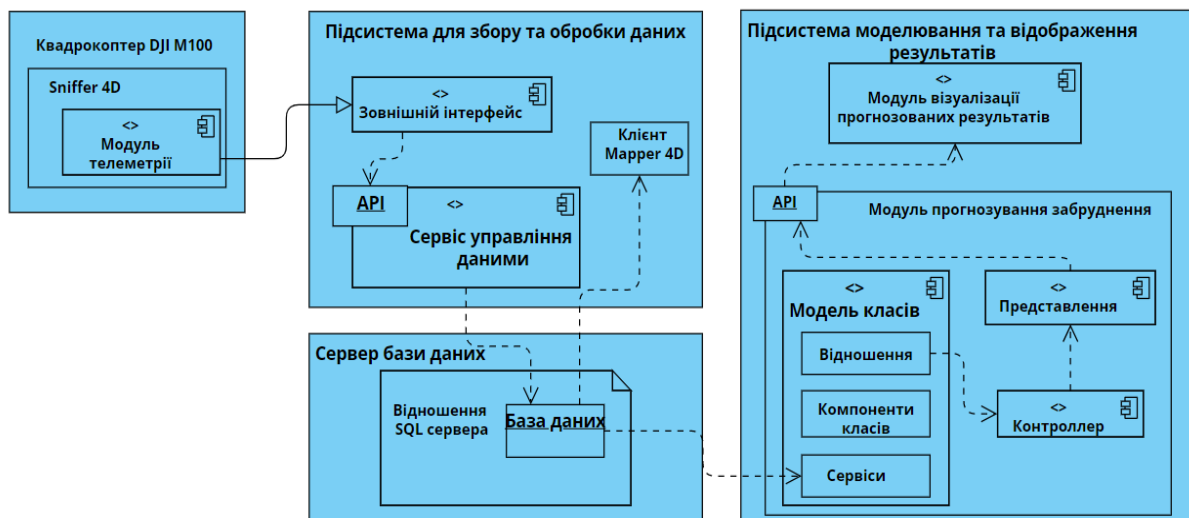


Рисунок 1 – Архітектура системи моніторингу

АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Відповідно, апаратне забезпечення системи це – вимірювальний модуль (в складі Sniffer4D, який встановлений на квадрокоптері, станції підзарядки квадрокоптера та підмодуля телеметрії для передачі даних) і робоча станція, побудована на основі комп'ютера до якого підключено адаптер телеметрії для

ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ І ПЕРЕТВОРЮВАЧІ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

отримання по радіоканалу даних з вимірювального модуля. Дані між модулями передаються по протоколу TCP/IP, який забезпечує швидкий обмін великих об'ємів інформації (рисунк 2).

У Західноукраїнському національному університеті в рамках науково-дослідного проекту кафедри комп'ютерних наук створено міні-сонячну електростанцію потужністю 570 Вт. Розроблена установка використовується як інтелектуальний модуль для перезарядки квадрокоптера DJI Matrix на базі аеромобільного комплексу для моніторингу забруднення навколишнього середовища в м. Тернополі.

Відповідно, апаратне забезпечення системи це – вимірювальний модуль (в складі Sniffer4D, який встановлений на квадрокоптері, станції підзарядки квадрокоптера та підмодуля телеметрії для передачі даних) і робоча станція, побудована на основі комп'ютера до якого підключено адаптер телеметрії для отримання по радіоканалу даних з вимірювального модуля. Дані між модулями передаються по протоколу TCP/IP, який забезпечує достатню швидкість обміну великих об'ємів інформації.

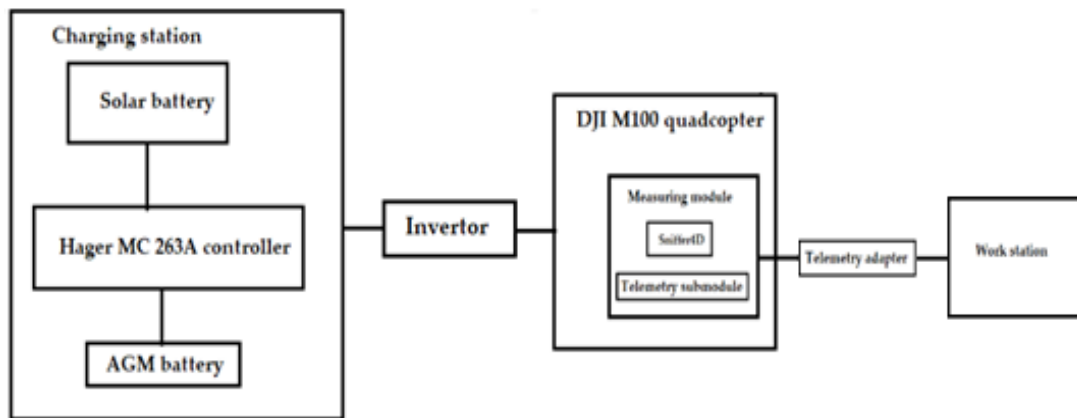


Рисунок 2 – Структура апаратного забезпечення системи моніторингу

Сонячна електростанція, встановлена в 6 навчальному корпусі, складається з 2 фотомодулів максимальною потужністю 285 Вт кожен. Фотоелектричні модулі під'єднано через перемикач Hager MC 263A до контролера (рисунк 3), який виконує функції управління процесами заряду та розряду батареї [9, 10].



Рисунок 3 – Загальний вигляд контролера

Сама батарея типу AGM (рисунк 4) ємністю 100Ah також через комутатор Hager MC 263A під'єднана до зазначеного контролера.

ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ І ПЕРЕТВОРЮВАЧІ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ



Рисунок 4 – Акумулятор AGM

Для перетворення електроенергії від акумулятора, підключеного до паралельного інвертора (рисунок 5) з наступними характеристиками:

- віддача – 1000Вт;
- вхідна напруга – 12В;
- вихідна напруга – 220В.



Рисунок 5 – Загальний вигляд інвертора

Таким чином, описана система містить усі необхідні компоненти для отримання електроенергії від сонячних батарей та використання як джерело автономного живлення для аеромобільного вимірювального комплексу.

Слід зазначити, що попередні дослідження показали, що кількість виробленої електроенергії істотно залежить від освітлення сонячних панелей. Зокрема, у випадку високої хмарності кількість виробленої енергії зменшується до 5% від загальної потужності сонячної електростанції [11,12]. У разі високої інсоляції було досягнуто до 200 Вт генерованої електроенергії. Це дозволяє автономно заряджати батарею ТВ48D для аеромобільного вимірювального комплексу у вигляді квадрокоптера DJI M100 та блоку давачів Sniffer4D Hyper-local Air Quality Analyzer (рисунок 6).

ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ І ПЕРЕТВОРЮВАЧІ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ



Рисунок 6 – Інтеграція блоку Sniffer4D з квадрокоптером DJI M100

Наявність системи автоматичного калібрування є однією з ключових переваг цього сенсорного блоку, який також має інші переваги, такі як висока точність вимірювання, широкий діапазон робочих температур, швидкий час реакції та тривалий термін роботи [13]. Для організації передачі даних між мобільною системою та базовою станцією, де зберігаються результати вимірювань, необхідно виконати деякі налаштування блоку Sniffer4D. Перш за все, необхідно підключити модуль GPS до головного блоку за допомогою роз'єму micro USB і телеметричну антену до антенного порту пристрою за допомогою подовжувача [14].

Результат встановлення блоку Sniffer4D на квадрокоптер показано на рисунку 7. Зокрема, фіксація блоку, підключення блоку живлення через порт XT30U до основного джерела живлення квадрокоптера.



Рисунок 7 – Встановлений блок Sniffer4D на квадрокоптер

Програмне забезпечення Sniffer4D Mapper встановлено на персональному комп'ютері цієї станції для передачі даних між блоком Sniffer4D Hyper-local Air Quality Analyzer і базовою станцією. Це дозволяє користувачам не тільки попередньо обробляти телеметричні дані та зберігати їх у базі даних, а й візуалізувати та оцінювати результати вимірювань у реальному часі. На рисунку 8 зображено телеметричний модуль (приймач), пов'язаний із пристроєм який підключено до комп'ютера.



Рисунок 8 – Підключений модуль телеметрії

Телеметричний модуль передає через радіоканал дані від датчика Sniffer4D Hyper-local Air Quality Analyzer на базову станцію в режимі реального часу, які потім опрацьовуються програмним комплексом Sniffer4D Mapper.

ПІДСИСТЕМА ДЛЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ

Для зберігання та обробки даних з метою ідентифікації інтервальних моделей поширення концентрації забруднень, їх навчання та прогнозування реалізована підсистема для моделювання. Згідно наведеної архітектури, результати вимірювань в режимі реального часу передаються в підсистему для моделювання, де приводяться до інтервального вигляду та зберігаються в БД. Дані вимірювань концентрації забруднення повітря представлені у вигляді наборів, отриманих у інтервальному вигляді, за рахунок наявності похибок вимірювань :

$$x_{k1} \cdots x_{kn} \rightarrow [z_k^-; z_k^+], k = 0, \dots, K, \quad (1)$$

де z_k^-, z_k^+ – відповідно, нижня та верхня межі інтервалу можливих значень концентрації шкідливих викидів, встановлених за результатами вимірювань, у часових дискретах $k = 0, \dots, K$, що відповідають частоті вимірювань, $x_{k1} \cdots x_{kn}$ – значення зовнішніх факторів впливу на вимірювання (погодні умови, геолокація, тощо), n – кількість факторів. Отримані дані зберігаються .xls файлі, за що відповідає модуль збереження даних.

Щоб краще зрозуміти несприятливі наслідки забруднення повітря для здоров'я, важлива точна оцінка впливу. Епідеміологічні дослідження надали значну кількість доказів, які зв'язують добову концентрацію забруднення зовнішнього повітря з негативним впливом на здоров'я. Дослідження, як правило, зосереджуються на масових концентраціях шкідливих часток і вибраних газоподібних забруднювачів. Основою модуля прогнозування системи моніторингу є математичні моделі динаміки поширення концентрацій забруднень внаслідок шкідливих викидів у вихлопних газах автотранспорту у вигляді різницевих рівнянь, що є аналогами диференціальних рівнянь в частинних похідних - як моделей турбулентної дифузії. Особливістю таких моделей є можливість урахування інтенсивності джерел концентрацій для такого розподіленого об'єкта, яким є автотранспорт [15].

Математичні моделі динаміки поширення концентрацій забруднень на основі різницевих рівнянь, що використовуються у модулі, мають такий вигляд:

$$[\hat{v}_k] = [\hat{v}_k^-; \hat{v}_k^+] = \vec{f}^T([\hat{v}_{k-d}], \dots, [\hat{v}_{k-1}], \vec{u}_0, \dots, \vec{u}_{d-1}, \vec{u}_k) \cdot \vec{\varphi}(\vec{g}), k = d, \dots, K, \quad (2)$$

за умови

$$[\hat{v}_k] \subset [z_k^-; z_k^+], k = 0, \dots, K, \quad (3)$$

де $[\hat{v}_i]$, $[\hat{v}_i^-; \hat{v}_i^+]$ – інтервальний вигляд модельованої концентрації шкідливих викидів на часовій дискреті k , \hat{v}_i^-, \hat{v}_i^+ – відповідно, нижня та верхня межі інтервалу можливих значень концентрації шкідливих викидів, $\vec{u}_0, \dots, \vec{u}_k$ – вектори вхідних змінних (управління), d – порядок дискретної динамічної моделі (ДДМ), \vec{g} – вектор параметрів моделі, $\vec{f}^T(\bullet)$ – вектор базисних функцій, $\vec{\varphi}(\bullet)$ – вектор базисних функцій для параметрів.

ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ І ПЕРЕТВОРЮВАЧІ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Основою для ідентифікації та навчання моделей є результатами вимірювань (1). Після навчання моделі використовуються для прогнозування динаміки поширення концентрацій забруднень. Підхід до моделювання динаміки поширення концентрацій забруднень внаслідок шкідливих викидів у вихлопних газах автотранспорту у вигляді різницевих рівнянь забезпечує гарантовану точність та прогностичні властивості одержаних моделей. Крім того такі моделі придатні для налаштування в залежності від умов середовища їх застосування.

Другий вид моделей, які використовуються у модулі, – це моделі фонових рівнів поширення концентрацій забруднення навколишнього середовища автотранспортом. Фонова концентрація – це рівень забруднення навколишнього середовища, на який не впливають локальні джерела, і яка формується протягом довготривалого періоду часу. Дослідження фонового рівня поширення концентрацій забруднення, як репрезентативної постійної концентрації забруднення атмосферного повітря автотранспортом, дає змогу оцінити шкідливий вплив, якому постійно піддається населення.

Інтервальні моделі поширення фонового (найнижчого) рівня концентрації забруднення внаслідок шкідливих викидів у вихлопних газах автотранспорту використовуються у вигляді нелінійних алгебраїчних рівнянь:

$$[\hat{z}^-(\vec{x}_i); \hat{z}^+(\vec{x}_i)] = \varphi_{m+1}([\vec{g}^-; \vec{g}^+])\varphi_1(\vec{x}_i) + \dots + \varphi_{2m}([\vec{g}^-; \vec{g}^+])\varphi_m(\vec{x}_i). \quad (4)$$

за умови

$$[\hat{z}^-(\vec{x}_i); \hat{z}^+(\vec{x}_i)] \subset [z_i^-; z_i^+], i = 1, \dots, K. \quad (5)$$

де $[\hat{z}^-(\vec{x}_i); \hat{z}^+(\vec{x}_i)]$ – модельований фоновий рівень поширення концентрації забруднення у інтервальному вигляді, \vec{g} – вектор параметрів моделі, $\vec{\varphi}(\bullet) = (\varphi_1(\bullet), \dots, \varphi_{2m}(\bullet))$ – вектор базисних функцій, \vec{x} – вектор зовнішніх факторів, які впливають на фоновий рівень поширення забруднень (погодні умови, інтенсивність руху, тощо), m – кількість параметрів моделі.

Для ідентифікації та навчання інтервальних математичних моделей поширення концентрацій забруднень внаслідок шкідливих викидів у вихлопних газах автотранспорту використовуються методи поведінкових моделей бджолоїної колонії [16]. Застосування розробленого модуля обробки даних забезпечує можливість реалізації комплексу математичних моделей для розв'язування задач екологічного моніторингу забруднень атмосфери автотранспортом м. Тернопіль.

Ідентифікація та навчання інтервальних математичних моделей реалізовано в модулі прогнозування забруднення, який побудований на основі MVC патерну. На рисунку 9 зображено загальну діаграму класів, яка відповідає за логіку навчання моделей на основі отриманих даних вимірювань.

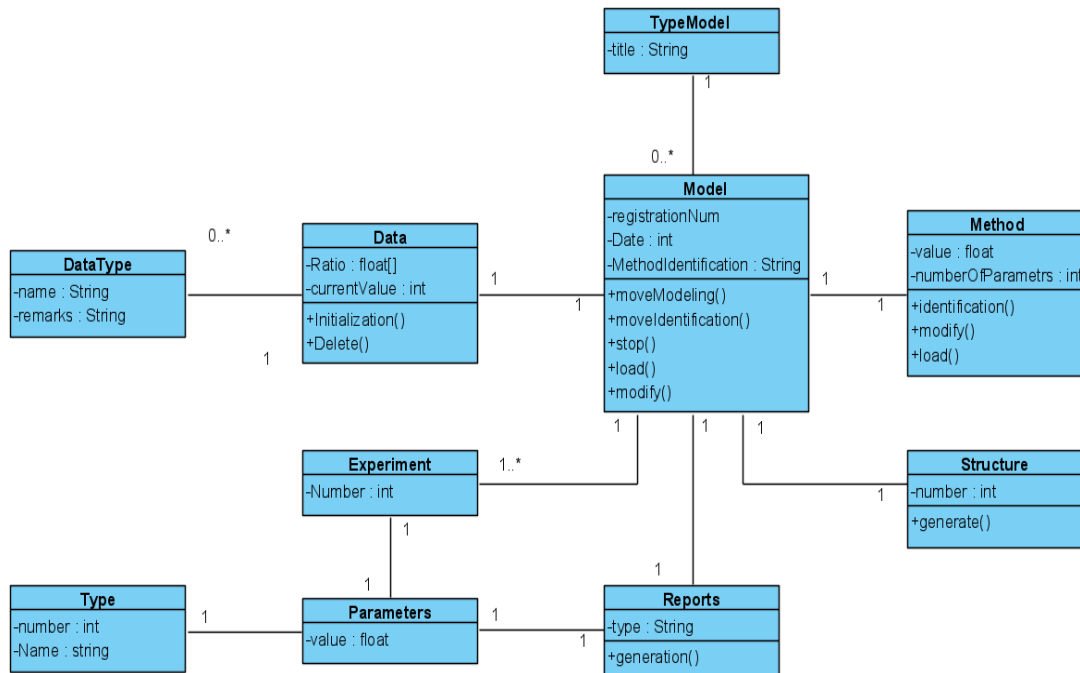


Рисунок 9 – Діаграма класів модуля обробки даних для ідентифікації та навчання моделей

ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ І ПЕРЕТВОРЮВАЧІ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Модуль візуалізації забезпечує відображення прогнозованих на основі моделей та вимірних концентрацій шкідливих викидів для дослідження прогностичних властивостей отриманих моделей (рисунок 10).

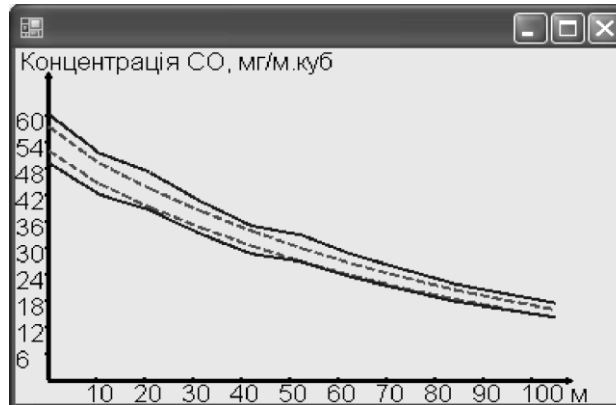


Рисунок 10 – Вікно візуалізації прогнозу інтервальної моделі динаміки поширення концентрації шкідливих викидів (умова (3))

Результати прогнозування на основі одержаних моделей візуалізуються на фоні карти місцевості, де проводиться моніторинг. Логіка цього процесу реалізована у модулі візуалізації (рисунок 11).



Рисунок 11 – Вигляд програмного інтерфейсу для візуалізації даних

ВИСНОВКИ

Запропонована система моніторингу забруднення повітря шкідливими викидами автотранспорту на базі автономного аеромобільного вимірювального комплексу Sniffer4D Hyper-local Air Quality Analyzer, може бути прототипом для проектування подібних систем з метою зниження негативного впливу функціонування автотранспорту на здоров'я жителів міста. Важливою компонентою цієї системи є відновлювальне джерело електроенергії у вигляді фотоелектричних панелей, як а забезпечує неперервне функціонування аеромобільного вимірювального комплексу. Вперше запропоновано архітектуру системи моніторингу, в якій наявних блок, як для ідентифікації двох типів математичних моделей динаміки концентрацій та фонового рівня концентрацій шкідливих викидів в атмосферу, так і для прогнозування концентрацій на основі цих моделей. Для моделювання та прогнозування поширення концентрацій шкідливих викидів застосовано математичні моделі динаміки поширення концентрацій забруднень внаслідок шкідливих викидів у вихлопних газах автотранспорту у вигляді різницевого рівнянь, що є аналогами диференціальних рівнянь в частинних похідних, – як моделей турбулентної дифузії та інтервальні моделі поширення фонового рівня концентрації забруднення у вигляді нелінійних алгебраїчних рівнянь.

ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ І ПЕРЕТВОРЮВАЧІ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. M. Dyvak, N. Porplytsya, I. Borovets, and M. Shynkaryk, "Improving the computational implementation of the parametric identification method for interval discrete dynamic models," - 2017 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Lviv, 2017, p. 533-536
2. Ocheretnyuk, N., Voytyuk, I., Dyvak, M., Martsenyuk, Ye. Features of structure identification of the macro models for nonstationary fields of air pollution from vehicles. Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science - Proceedings of the 11th International Conference, TCSET - 2012, 2012, p. 444.
3. Hoghooghi, N., Radcliffe, D.E., Habteselassie, M.Y., Clarke, J.S. Confirmation of the Impact of Onsite Wastewater Treatment Systems on Stream Base-Flow Nitrogen Concentrations in Urban Watersheds of Metropolitan Atlanta, GA. J. Environ. Qual - 2016, 45, 1740–1748.
4. Smit, R., Kingston, P. Measuring On-Road Vehicle Emissions with Multiple Instruments Including Remote Sensing. Atmosphere 2020, 10(9), p. 566;
5. Dyvak, M.; Rot, A.; Pasichnyk, R.; Tymchyshyn, V.; Huliiev, N.; Maslyiak, Y. Monitoring and Mathematical Modeling of Soil and Groundwater Contamination by Harmful Emissions of Nitrogen Dioxide from Motor Vehicles. Sustainability 2021, 13, 2768.
6. P. J. Bottomley; J. S. Angle; R.W. Weaver. Part 3: Microbiological and Biochemical Properties. In Methods of Soil Analysis, Soil Science Society of America, USA, 2016.
7. Li Zhao, Yue-Ming Hu, Wu Zhou, Zhen-Hua Liu, Yu-Chun Pan, Zhou Shi, Lu Wang; Guang-Xing Wang. Estimation Methods for Soil Mercury Content Using Hyperspectral Remote Sensing. Sustainability 2019, 11(7).
8. De Corato, U. Towards. New Soil Management Strategies for Improving Soil Quality and Ecosystem Services in Sustainable Agriculture - Editorial Overview. Sustainability 2021, 11.
9. N. Nawrota, E. Wojciechowska, Sh. Rezaniac, J. Walkus-Miotkb, K. Pazdrob. The effects of urban vehicle traffic on heavy metal contamination in road sweeping waste and bottom sediments of retention tanks. Science of The Total Environment - 2020, Volume 749, 141511.
10. Koda, E., Osinski, P., Siczka, A., Wychowaniak, D. Areal Distribution of Ammonium Contamination of Soil-Water Environment in the Vicinity of Old Municipal Landfill Site with Vertical Barrier. Water - 2017, 8, 2656-2672.
11. S. Baliuk, V. Medvedev, M. Miroshnichenko, Ye. Skrylnik, D. Timchenko, A. Fatieev, A. Khristenko, Yu. Tapco. The environmental state of soils in Ukraine. National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research", 2015, Kharkiv, p. 38-42.
12. Matviychuk, V.K., Khar, I.O. Monograph. In *Atmospheric Air Pollution*; National Academy of Management: Kyiv, Ukraine, 2015; p.272.
13. Yurchenko, V.A., Mikhailova, L.S., Bepalova, M.V. Investigation of the influence of the road on the ecosystems of the roadside space. In *Bulletin of the Kharkiv National Automobile University: A Collection of Scientific Pa* Kharkiv National Automobile and Road University: Kharkiv, Ukraine - 2018; p. 29–32.
14. Dyvak, M.P.; Maslyiak, Y.B.; Pukas, A.V.; Porplytsya, N.P.; Voitiuk, I.F.; Tymchyshyn, V.S. Architecture of the ecological monitoring system and an example of its application for modeling concentrations of harmful emissions from motor transport. *Ind. Model. Complex Syst.* 2017, Vol. 9, p. 69–84.
15. Zakharov, I.I., Lishchyshyna, T.P., Zakharova, O.I. Ecologically pure technology for nitric acid reproduction. *Visnyk East. Ukr. Natl. Univ. Volodymyr Dahl* 2017, vol. 9, p. 7-14.
16. Dyvak M. Modified artificial bee colony algorithm for structure identification of models of objects with distributed parameters and control / M. Dyvak, N. Porplytsya, Y. Maslyiak, N. Kasatkina // The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM'2017): Proc. of the XIVth Intern. Conf. – Lviv, 2017. – P. 50-54.

REFERENCES

1. M. Dyvak, N. Porplytsya, I. Borovets, and M. Shynkaryk, "Improving the computational implementation of the parametric identification method for interval discrete dynamic models," - 2017 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Lviv, 2017, p. 533-536

ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ І ПЕРЕТВОРЮВАЧІ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

2. Ocheretnyuk, N., Voytyuk, I., Dyvak, M., Martsenyuk, Ye. Features of structure identification of the macro models for nonstationary fields of air pollution from vehicles. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science - Proceedings of the 11th International Conference, TCSET - 2012*, 2012, p. 444.
3. Hoghooghi, N., Radcliffe, D.E., Habteselassie, M.Y., Clarke, J.S. Confirmation of the Impact of Onsite Wastewater Treatment Systems on Stream Base-Flow Nitrogen Concentrations in Urban Watersheds of Metropolitan Atlanta, GA. *J. Environ. Qual* - 2016, 45, 1740–1748.
4. Smit, R., Kingston, P. Measuring On-Road Vehicle Emissions with Multiple Instruments Including Remote Sensing. *Atmosphere* 2020, 10(9), p. 566;
5. Dyvak, M.; Rot, A.; Pasichnyk, R.; Tymchyshyn, V.; Huliiev, N.; Maslyiak, Y. Monitoring and Mathematical Modeling of Soil and Groundwater Contamination by Harmful Emissions of Nitrogen Dioxide from Motor Vehicles. *Sustainability* 2021, 13, 2768.
6. P. J. Bottomley; J. S. Angle; R.W. Weaver. Part 3: Microbiological and Biochemical Properties. In *Methods of Soil Analysis*, Soil Science Society of America, USA, 2016.
7. Li Zhao, Yue-Ming Hu, Wu Zhou, Zhen-Hua Liu, Yu-Chun Pan, Zhou Shi, Lu Wang; Guang-Xing Wang. Estimation Methods for Soil Mercury Content Using Hyperspectral Remote Sensing. *Sustainability* 2019, 11(7).
8. De Corato, U. Towards. New Soil Management Strategies for Improving Soil Quality and Ecosystem Services in Sustainable Agriculture - Editorial Overview. *Sustainability* 2021, 11.
9. N. Nawrota, E. Wojciechowska, Sh. Rezaniac, J. Walkus-Miotkb, K. Pazdrob. The effects of urban vehicle traffic on heavy metal contamination in road sweeping waste and bottom sediments of retention tanks. *Science of The Total Environment* - 2020, Volume 749, 141511.
10. Koda, E., Osinski, P., Siczka, A., Wychowaniak, D. Areal Distribution of Ammonium Contamination of Soil-Water Environment in the Vicinity of Old Municipal Landfill Site with Vertical Barrier. *Water* - 2017, 8, 2656-2672.
11. S. Baliuk, V. Medvedev, M. Miroshnichenko, Ye. Skrylnik, D. Timchenko, A. Fatieev, A. Khristenko, Yu. Tapco. The environmental state of soils in Ukraine. National Scientific Center “Institute for Soil Science and Agrochemistry Research”, 2015, Kharkiv, p. 38-42.
12. Matviychuk, V.K., Khar, I.O. Monograph. In *Atmospheric Air Pollution*; National Academy of Management: Kyiv, Ukraine, 2015; p.272.
13. Yurchenko, V.A., Mikhailova, L.S., Bepalova, M.V. Investigation of the influence of the road on the ecosystems of the roadside space. In *Bulletin of the Kharkiv National Automobile University: A Collection of Scientific Pa* Kharkiv National Automobile and Road University: Kharkiv, Ukraine - 2018; p. 29–32.
14. Dyvak, M.P.; Maslyiak, Y.B.; Pukas, A.V.; Porplytsya, N.P.; Voitiuk, I.F.; Tymchyshyn, V.S. Architecture of the ecological monitoring system and an example of its application for modeling concentrations of harmful emissions from motor transport. *Ind. Model. Complex Syst.* 2017, Vol. 9, p. 69–84.
15. Zakharov, I.I., Lishchyshyna, T.P., Zakharova, O.I. Ecologically pure technology for nitric acid reproduction. *Visnyk East. Ukr. Natl. Univ. Volodymyr Dahl* 2017, vol. 9, p. 7-14.
16. Dyvak M. Modified artificial bee colony algorithm for structure identification of models of objects with distributed parameters and control / M. Dyvak, N. Porplytsya, Y. Maslyiak, N. Kasatkina // *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM'2017): Proc. of the XIVth Intern. Conf. – Lviv, 2017. – P. 50-54.*

ДИВАК МИКОЛА ПЕТРОВИЧ – д.т.н., професор, Західноукраїнський національний університет,
[e-mail: mdy@wunu.edu.ua](mailto:mdy@wunu.edu.ua)

МАНЖУЛА ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ – к.т.н., доцент, Західноукраїнський національний університет, e-mail: v.manzhula@tneu.edu.ua

МЕЛЬНИК АНДРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ – к.т.н., доцент, Західноукраїнський національний університет, [e-mail: a.m.melnyk@tneu.edu.ua](mailto:a.m.melnyk@tneu.edu.ua)

ТИМЧИШИН ВАСИЛЬ СТЕПАНОВИЧ – аспірант, Західноукраїнський національний університет,
[e-mail: tymchyshyn@tneu.edu.ua](mailto:tymchyshyn@tneu.edu.ua)