

В. Б. Мокін¹
Б. Ю. Собко¹
М. В. Дратований¹
Є. М. Крижановський¹
Г. В. Горячев¹

СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТА НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ «ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ»

¹Вінницький національний технічний університет

Розглянуто задачу створення інформаційної системи моніторингу забруднення атмосферного повітря міста шляхом організації автоматичної взаємодії різних інформаційно-вимірювальних пристроїв за технологією «Інтернет речей» («IoT»). Здійснено системний аналіз та обґрунтування вибору програмно-технічних рішень, необхідних для створення такої системи та для реалізації усіх етапів інформаційної технології на її основі (збирання, передавання, збереження, оброблення і візуалізація даних). В роботі використано практичний досвід авторів у створенні подібних систем та їх компонентів.

Ключові слова: інтернет речей, інформаційна технологія, системний аналіз, веб-сервіс, геоінформаційна система, метеорологічний моніторинг міста.

Вступ та вихідні передумови

Існуюча в Україні та й в цілому світі система метеомоніторингу має достатньо щільну систему стаціонарних постів, яка дозволяє з достатньою ймовірністю прогнозувати погоду у масштабі планети, країни, області, району. Однак, вона не дозволяє достатньо точно визначати та прогнозувати метеопказники у конкретному кварталі міста та біля заданих будинків. Набагато складніша ситуація, особливо в Україні, з моніторингом забруднення атмосферного повітря у містах. В Україні такі спостереження здійснюються державними установами або в дуже малій кількості місць, або не регулярно і не частіше, ніж раз на місяць, а то й на квартал, у різний час дня та у різних місцях. Водночас, є чимало задач, де необхідно знати поточні і прогнозні значення таких показників саме точною до будинку чи хоча б кварталу міста. І це стосується як показників забруднення атмосферного повітря, так і метеопказників.

У центрі м. Вінниця розташований стаціонарний пост вимірювання вмісту пилку алергенних рослин та спор грибів в атмосферному повітрі, який є частиною Європейської мережі аеробіологічного моніторингу [1]. Для прогнозування таких даних потрібні якнайточніші метеодані, але не завжди напрям вітру, вологість та температура повітря збігається з такими ж значеннями на Вінницькому аеродромі, де розташований найближчий стаціонарний метеопост, що є елементом Всесвітньої метеорологічної мережі. Фактично, у самому місті Вінниця взагалі немає валідних (достовірних), даних про метеорологічні показники. Між постом Європейської мережі аеробіологічного моніторингу та цим метеопостом відстань приблизно 12 кілометрів місцями досить щільної забудови і річка Південний Буг, яка теж вносить суттєві корективи у значення метеопказників. Інші приклади — будівництво дитячого майданчику, планування рекреаційних ділянок міста, висаджування примхливих до сили вітру рослин, планування розташування нових промислових об'єктів із значними викидами тощо — все це вимагає досить точних даних про пріоритетну розу вітрів у заданому місці з точністю до будинку. Наприклад, будівництво двох поряд розташованих хмарочосів може спричинити постійний потік повітря між ними, який буде спрямований на дитячі майданчики, дитсадки, парки, а діяльність якогось виробничого підприємства неподалік від них може

викликати постійне забруднення цього потоку вітру та погіршити здоров'я дітей та іншого населення у навітряній частині. Для недопущення виникнення такої ситуації треба мати значно більше метеопостів у середині міста.

Зазвичай, у містах проводиться чимало вимірювань метеопараметрів та стану забруднення атмосферного повітря обласними центрами з гідрометеорології, органами Держпродспоживслужби (у склад якої увійшла лабораторія колишньої СЕС), органами Держекоінспекції [2]. Активно підключаються університетські та шкільні колективи, громадськість [3, 4]. Окремі громадяни, за власної ініціативи купляють готові пристрої метеомоніторингу, наприклад, один з мешканців Вінниці придбав такий пристрій і став елементом Всесвітньої мережі грозового моніторингу у реальному часі (<http://blitzortung.org>) та ін.

У таких джерел цих спостережень є спільні властивості (є географічна прив'язка з точністю до будинків з конкретними адресами) та багато відмінностей (використання різних апаратних і програмних рішень, різні мережеві канали та протоколи обміну даними, різні методики виконання та обробки даних вимірювань, різні алгоритми аналізу даних, різна періодичність, точність та достовірність таких спостережень).

Зазначені проблеми як щодо розширення моніторингової мережі, так і з узгодженням та підвищенням достовірності даних спостережень у цій мережі, вдалось би розв'язати, якщо органи державної системи моніторингу доквілля, громадські активісти та студенти і учні для спостереження за станом повітря і використовували б певною мірою уніфіковане програмно-апаратне забезпечення, що дозволило б його об'єднати в єдину інформаційну систему моніторингу забруднення атмосферного повітря міста. В наш час таке об'єднання є реальним на основі так званої технології «Інтернет речей» (англійською скорочено — «IoT») [5, 6].

Метою роботи є вибір та обґрунтування програмно-технічних рішень, необхідних для створення інформаційної системи моніторингу забруднення атмосферного повітря (ІСМЗАП) міста на основі різних інформаційно-вимірювальних пристроїв, об'єднаних за технологією «Інтернет речей».

Ідея розв'язання задачі

Основна ідея розв'язання задачі полягає в тому, що інформаційну систему моніторингу забруднення атмосферного повітря міста (ІСМЗАП) пропонується створювати за результатами аналізу та вибору оптимальних рішень складових технологій «Інтернет речей» за типовою структурою подібних систем [5, 6], показаною на рис. 1, з використанням веб- та ГІС-технологій.

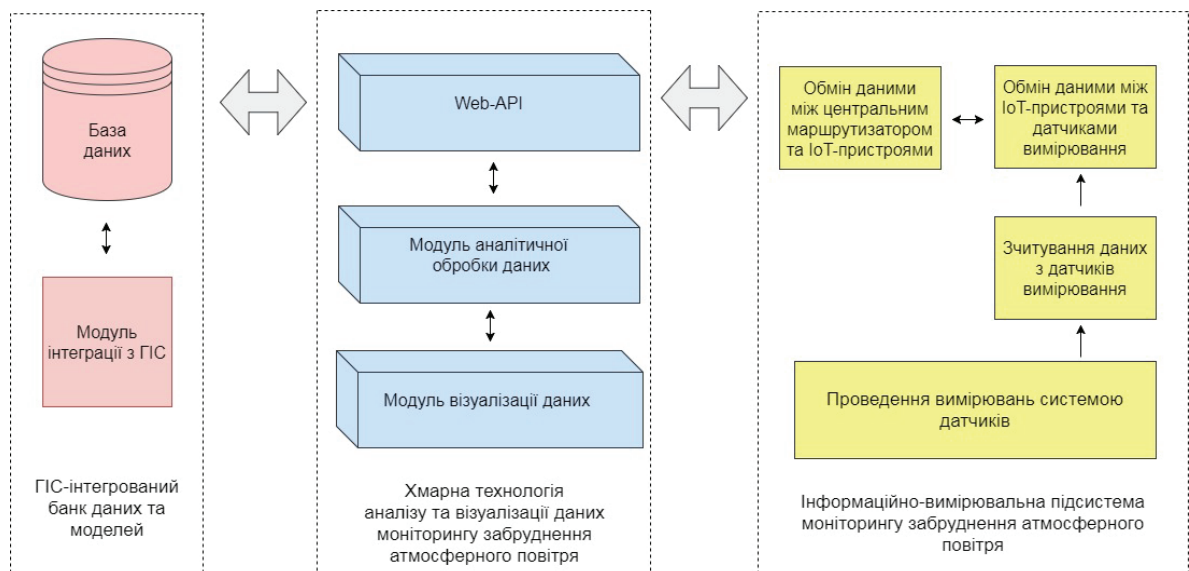


Рис. 1. Структура інформаційної системи моніторингу забруднення атмосферного повітря міста на основі технології «Інтернет речей»

Як випливає з рис. 1, ІСМЗАП складається з таких елементів:

– ГІС-інтегрований банк даних та моделей, що зберігатиме у серверній частині системи систематизовану інформацію щодо міста, яка пройде мінімальну перевірку на валідність, систематизовані методи та алгоритми обробки цієї інформації (прогнозування, урахування змін клімату тощо),

у т.ч. дані Всесвітньої метеорологічної мережі з найближчих метеостанцій; цифрову модель рельєфу міста та картографічні дані про його забудову; ретроспективні дані про стаціонарні та пересувні джерела викидів; дані про кліматичні закономірності регіону та їх прогнози зміни з урахуванням глобальних змін клімату; шар місць розташування усіх зареєстрованих у системі джерел моніторингу, різні алгоритми автоматизованої обробки даних вимірювань та моделі розсіювання забруднювальних речовин у повітря тощо;

– модуль аналітичної обробки даних, наприклад, на основі системи ArcGIS чи спеціалізованих рішень, наприклад «UrbanSim»;

– модуль візуалізації даних як елемент веб-сайту, мобільного додатку чи веб-ГІС;

– веб-API (Web-API) — модуль, який обробляє веб-запити та створює веб-відповіді елементам системи;

– інформаційно-вимірювальні підсистеми з датчиками вимірювання, інтегровані з системами обміну даними між компонентами інформаційної системи моніторингу забруднення атмосферного повітря міста на основі технології «Інтернет речей».

Серверну частину ІСМЗАП варто реалізовувати на основі технології ASP.NET Core MVC з використанням асинхронних сокетів. Дана технологія має вбудовану підтримку створення Web-API. Асинхронні сокети забезпечать швидкий та надійний механізм обміну інформацією між центральним маршрутизатором системи та її серверною частиною. Об'єднання двох платформ спрощує створення додатків, що включають як призначений для користувача інтерфейс (HTML), так і API, оскільки в цьому випадку у них буде спільний код і конвеєр.

Клієнтом є програмне забезпечення (ПЗ), яке використовує веб-API (браузер, мобільний додаток та інше). Клієнт взаємодіє з серверною частиною за допомогою HTTP-запитів та відповідей.

Здійснимо вибір та обґрунтування програмно-технічних рішень, необхідних для організації взаємодії програмно-апаратних компонентів ІСМЗАП міста за технологією «Інтернет речей».

Вибір та обґрунтування програмно-технічних вимог складових ІСМЗАП на основі технології «Інтернет речей»

Спочатку виберемо мережеві технології реалізації ІСМЗАП. Вочевидь, це має бути бездротова технологія, яка дозволить з'єднувати пристрої за відсутності прямої видимості між ними, в протилежному випадку, вона буде надто обмеженою для використання на практиці.

Як відомо, Bluetooth і BLE (з англ. — Bluetooth Low Energy) (стандарт IEEE 802.15) — це технологія, яка дозволяє організувати бездротову персональну мережу передачі даних (англ. WPAN — Wireless Personal Area Network). Вона дозволяє здійснювати передачу даних по радіоканалу на невеликі відстані (10...100 м) в неліцензованому діапазоні частот 2,4 ГГц і з'єднувати пристрої за відсутності прямої видимості [7]. Для розробки IoT-системи BLE є хорошим варіантом, оскільки ця технологія вже «вміє» маршрутизувати мережевий трафік, визначати координати в приміщеннях, підключати промислові програмовані логічні контролери, підтримувати веб-сервери, підключати різні види вимірювальних пристроїв і датчиків та ін.

Але, враховуючи особливості передавання даних за технологією Bluetooth, можна зробити висновок, що ця мережа не розрахована для передачі великих масивів даних на великі відстані, що робить її непридатною для використання в інформаційній системі моніторингу забруднення атмосферного повітря міста на основі технології «Інтернет речей».

Іншим варіантом є технологія бездротової передачі даних ZigBee — бездротовий стандарт передачі даних. Мережі ZigBee є мережами із самоорганізуванням та самовідновленням, оскільки ZigBee-пристрої після вмикання живлення, завдяки вбудованому програмному забезпеченню, «вміють» самі знаходити один одного й формувати мережу, а у разі виходу з ладу якогось з вузлів, можуть встановлювати нові маршрути для передачі повідомлень. Мережа ZigBee з комірчастою топологією (mesh-мережа) має свій стек комунікаційних протоколів IEEE 802.15.4 / ZigBee, який не підтримує міжмережевий протокол IP. Обчислювальна мережа предметів на основі стека ZigBee для взаємодії із зовнішніми пристроями, розташованими в IP-мережі, підключена до мережі Інтернет через спеціалізований IP-шлюз Gateway ZigBee [8].

Проаналізувавши апаратні та програмні особливості технології бездротової передачі даних ZigBee та врахувавши концепцію виконання апаратної частини, можна зробити висновок, що ця технологія не буде ефективною у разі її використання в інформаційній системі моніторингу забруднення атмосферного повітря міста на основі технології «Інтернет речей», оскільки кінцеві при-

строї (датчики) можуть бути розташовані на великій відстані один від одного, що приведе до втрати надійних зв'язків між ними і, відповідно, до значних похибок у процесі передачі даних.

Технологія бездротової передачі даних Wi-Fi — це сімейство протоколів бездротової передачі даних IEEE 802.11x (802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n тощо) [9, 10]. Встановлення Wireless LAN доцільне для побудови мереж, де розгортання кабельної системи є неможливим або економічно недоцільним. Поточні реалізації Wi-Fi дозволяють отримати швидкість передачі даних понад 100 Мбіт/с, при цьому користувачі можуть пересуватися між точками доступу на території покриття мережі Wi-Fi, використовуючи мобільні пристрої (смартфони, ноутбуки, інші пристрої), оснащені клієнтськими приймально-передавальними пристроями Wi-Fi та отримувати доступ в Інтернет. Зазвичай, схема Wi-Fi-мережі містить не менше однієї точки доступу та може легко масштабуватися [10].

Недоліком використання Wi-Fi-мережі в IoT-рішенні є те, що багато точок доступу працюють на одних каналах, особливо у разі першого запуску. Кількість Wi-Fi-підключень може стати проблемою в районах із високою щільністю великих житлових комплексів або офісних будівель із багатьма точками доступу Wi-Fi. Але за умови правильного конфігурування цієї мережі, більшості проблем можна уникнути. Крім того, ці проблеми вирішить спеціальний стандарт 802.11ax (англ. HEW — High-Efficiency Wireless) для Wi-Fi, робота над яким незабаром буде завершена.

Іншим недоліком Wi-Fi є порівняно висока енергоємність цієї технології — вона є оптимальною для пристроїв, які «живляться від розетки» або які хтось регулярно підзаряджає (як от, смартфони громадян). Хоча є рішення і для цього недоліку: Wi-Fi HaLow — стандарт 802.11ah, який розроблений спеціально для IoT і ратифікований у 2016 році.

Враховуючи масштабне поширення у світі, гарантовану сумісність з більшістю пристроїв, високу швидкість передачі даних та високу надійність мережі, технологія Wi-Fi є гарним вибором для використання її в якості мережі передачі даних в IoT-системах.

Основні відомості робіт [7—12] та практичний досвід авторів узагальнені у таблиці.

Порівняльна характеристика основних мережевих технологій

Технологія (Стандарт)	ZigBee (IEEE 802.15.4)	Wi-Fi (IEEE 802.11b)	Bluetooth (BLE) (IEEE 802.15.1)
Частотний діапазон, ГГц	2,4—2,483	2,4—2,483	2,4—2,483
Пропускна здатність, Кбіт/сек	250	11000	723,1
Розмір стеку протоколу, Кбайт	32—64	Більше 1000	Більше 250
Час неперервної автономної роботи від акумулятора, дні	100—1000	0,5—5	1—10
Максимальна кількість вузлів у мережі	65536	10	7
Діапазон дії, м (середнє значення)	10—100	20—300	10—100

Проаналізувавши та порівнявши з табл. 1 найвідоміші та доступні в Україні мережі для бездротової передачі даних, можемо зробити висновок — для розробки інформаційної системи моніторингу забруднення атмосферного повітря міста на основі технології «Інтернет речей» найбільш доцільним вибором мережі буде вибір Wi-Fi — за критеріями надійності, швидкості та обсягами передавання інформації. Наприклад, у м. Вінниця, датчики вимірювання можна буде розташувати, наприклад, на державних та комунальних спорудах, міських трамваях та тролейбусах та інших об'єктах, обладнаних доступом до Wi-Fi, в яких немає проблем із постійним доступом до джерел електроенергії.

Далі необхідно визначитись з платформою IoT.

Готові платформи. Tizen швидко стає однією з найпопулярніших платформ для мобільних пристроїв та носіїв. Tizen SDK поставляється з портативним емулятором, що полегшує розробку носіїв рішень для платформи Tizen. Смарт-годинники стають популярними щодня. Додатки Android Wear можуть бути розроблені та протестовані в Eclipse. Salesforce — це ще одна платформа, що складається з ефективних середовищ розробки та API-інтерфейсів. Їх рішення розширено від Pebble до Google Glass.

Вбудовані платформи. Arduino, ймовірно, є найкращим вибором для вбудованого IoT [5, 12]. Базові плати Android не обладнані Ethernet і для того, щоб платформа Arduino могла працювати як пристрій IoT, потрібно використовувати плату Android з Ethernet (наприклад, Arduino Uno).

Ще одна ефективна плата для IoT — це Intel Edison, яка інтегрувала BLE, Wi-Fi та багато різ-

них функцій. Вона підтримує широкий спектр апаратних засобів промислового стандарту. Важливим є те, що вона підтримує широкий спектр платформ, включаючи Arduino і Node.js.

Intel Galileo — ще одна гарна пропозиція від Intel, яка підтримує такий самий захист, що і Arduino Uno. Фактично, це — перший підрозділ на базі Intel, сумісний з Arduino. Galileo виділяється тим, що включає в себе USB-контролер та вбудований брандмауер.

Аналіз показав, що ІСМЗАП міста на основі технології «Інтернет речей» доцільно створювати на базі платформи Arduino Uno, враховуючи її доступність, широкі можливості для модернізації, гарну документацію та велику кількість безкоштовних бібліотек із відкритим кодом.

Визначившись з платформою та мережею передачі даних, з урахуванням практичного досвіду авторів статті, пропонується схема взаємодії всіх елементів ІСМЗП, показана на рис. 2.

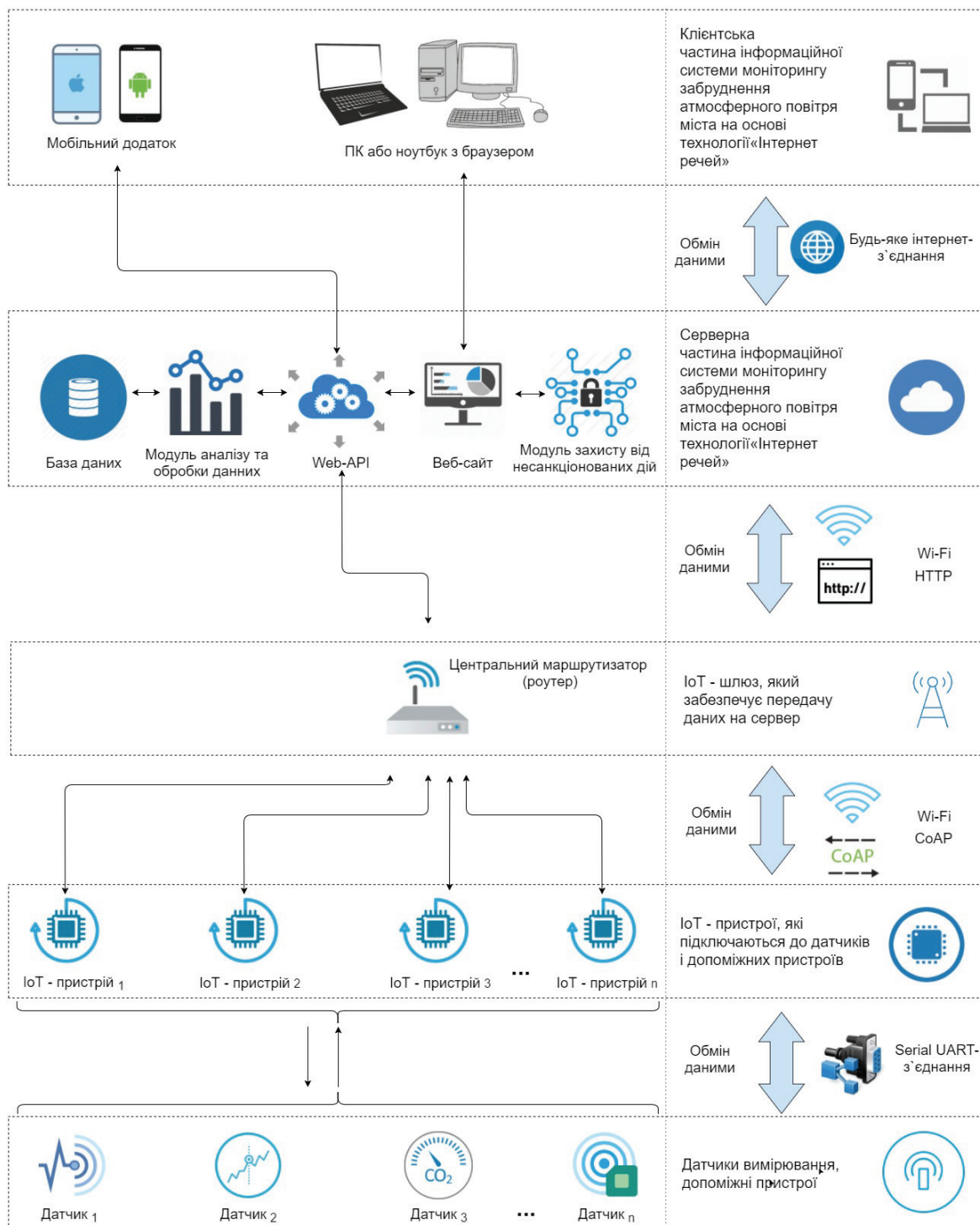


Рис. 2. Схема взаємодії елементів інформаційної системи моніторингу забруднення атмосферного повітря міста на основі технології «Інтернет речей»

Схема складається з таких елементів:

1. Датчики вимірювання, допоміжні пристрої — це елементи, які відповідають за збирання інформації про навколишнє середовище та, насамперед, перетворення їх у цифрові дані і, тим самим, наповнюють обчислювальне середовище важливою інформацією. В рамках концепції «Інтернет речей» принциповим є об'єднання засобів вимірювання в мережі (такі, як бездротові датчикові мережі, вимірювальні комплекси), за рахунок чого можлива побудова систем міжмашинної взаємодії. Наприклад, для отримання значення температури навколишнього середовища варто використати датчик DHT22/AM2302 (SHT11, HT15 Arduino), для визначення концентрації CO₂ рекомендується застосовувати датчик SKU: SEN0159, для вимірювання вологості — датчик DHT11/22, показник атмосферного тиску варто отримувати з датчика BMP180 тощо. Допоміжними елементами будуть, наприклад, Wi-Fi-модуль NodeMcu (V0.9 або V1.0) для можливості підключення плати Arduino до мережі Інтернет, USB 2A блок живлення для забезпечення пристроїв електроенергією. Передачу даних з датчиків на IoT-пристрій доцільно здійснювати через Serial-UART-канал зв'язку.

2. IoT-пристрої — це елементи, які автоматизують процес збирання інформації з датчиків вимірювання та надають можливість управління ними (наприклад, через оновлення драйверів). Залучення в «Інтернеті речей» предметів фізичного світу вимагає застосування технологій ідентифікації цих предметів («речей»). В якості таких технологій можуть використовуватися всі засоби, що застосовуються для автоматичної ідентифікації: оптично розпізнавані ідентифікатори (штрих-коди, Data Matrix, QR-коди), засоби визначення місцезнаходження в режимі реального часу. Поширюючи «Інтернет речей», принципово забезпечити унікальність ідентифікаторів об'єктів, що, в свою чергу, вимагає стандартизації. Для об'єктів, безпосередньо підключених до Інтернет-мереж, традиційний ідентифікатор — MAC-адреса мережевого адаптера, що дозволяє ідентифікувати пристрій на каналному рівні, при цьому діапазон доступних адрес складає 2⁴⁸ адрес у просторі MAC-48, але використання ідентифікатора каналного рівня іноді не дуже зручно для додатків. Ширші можливості щодо ідентифікації для таких пристроїв дає протокол IPv6, що забезпечує унікальними адресами мережевого рівня не менше 300 трильйонів пристроїв на одного жителя Землі. Але, зважаючи на технічну складність реалізації цього підходу, доцільно буде використовувати в якості ідентифікатора IoT-пристрою саме MAC-адресу мережевого адаптера. В ІСМЗАП IoT-пристрої пропонується робити на базі плати Arduino Uno з підключеними датчиками вимірювання та налагодженою автоматизованою системою збирання, аналізу та обміну цими даними (драйвером). Передача отриманих із датчиків даних спостережень на центральний маршрутизатор (роутер) пропонується здійснювати через мережу Wi-Fi з використанням протоколу CoAP.

3. Центральний маршрутизатор (роутер). Створюючи складні апаратні конструкції для «Інтернету речей», доцільно скористатися існуючими серверними технологіями, і, що дуже важливо, хмарними службами. Однак, якщо придивитися, наприклад, до процедури відправлення показників якогось датчика з плати, що відрізняється низьким енергоспоживанням, стає очевидною необхідність включення в схему взаємодії «пристрою-сервера» додаткового апаратного елемента, що забезпечує надійний й економічно обґрунтований зв'язок IoT-пристроїв із зовнішнім світом — так званого IoT-шлюзу. Одна з основних переваг використання IoT-шлюзів — це можливість агрегації даних, що надходять від інших пристроїв. Пристрої малого форм-фактора (IoT-пристрої) можуть вирішувати багато завдань самостійно, але, якщо навантажити їх надмірно, обмеження щодо обсягу пам'яті і обчислювальної потужності можуть уповільнити весь проект, довести його до майже неробочого стану. Об'єднання безлічі таких пристроїв за допомогою IoT-шлюзу дає можливість організувати ефективне збирання їх даних, дозволяє їм вирішувати виключно ті завдання, на які вони розраховані. При цьому неважливо, пристрої яких саме форм-факторів задіяні. Шлюз в будь-якому випадку здатний значно поліпшити роботу.

Доцільно розміщувати малопотужні пристрої ближче до датчиків. Використання шлюзу як агрегатора дозволяє групувати безліч таких пристроїв і пересилати їх дані шлюзу з використанням спеціалізованої мережі. При цьому, неважливо, пристрої яких саме форм-факторів задіяні в проекті. Шлюз, в будь-якому випадку, здатний значно поліпшити роботу. І, нарешті, потрібно звернути увагу на дані спостереження. Хоча цілком можливий варіант відправлення на сервер показів датчиків одразу після їх зчитування, існують й інші підходи, використання яких допомагає захистити дані, забезпечити високу швидкість їх передавання і виключити затримки. Необ-

роблений потік спостережень від датчика до сервера може здатися простим і зручним рішенням, але групування, пакетна передача інформації, або навіть збирання розрізнених по заданому параметру показників у файли і відправлення на сервер у такому вигляді, дозволяють домогтися вищої якості передавання даних. Для інформаційної системи моніторингу забруднення атмосферного повітря міста на основі технології «Інтернет речей» пропонується використовувати шлюзи виробництва Intel. Шлюзи Intel для IoT оснащують процесорами Quark, Atom і Core. Процесори Intel Quark і Intel Core існують у варіантах з одним, двома або чотирма ядрами. Шлюзи оснащують сховищами даних і оперативною пам'яттю, які відповідають вимогам процесора і призначенням пристроїв. Шлюзи на базі Intel Quark, наприклад, засновані на платі Intel Galileo, цілком здатні задовольнити вимоги підсистем ІСМЗАП.

4. Серверна частина ІСМЗАП призначена для отримання, зберігання, валідації, захисту, аналітичної обробки, прогнозування та візуалізації систематизованої інформації щодо міста усієї зібраної інформації. Веб-API та веб-сайт (HTML + CSS) пропонується реалізовувати на технології ASP.NET Core MVC, базу даних — використовуючи MS SQL. Для розміщення всієї серверної частини в хмарному сховищі варто використовувати хмарні сервіси Azure (наприклад, Azure Web Sites, Azure SQL Database, Azure Redis, Azure Table Storage тощо).

5. Клієнтська частина ІСМЗАП. Пропонується створити мобільний додаток, розрахований на платформи Android та iOS, оскільки ці платформи на сьогоднішній день є найпоширенішими у світі [5, 12]. Для реалізації мобільного додатку доцільно буде використати технологію Xamarin (платформа .NET) — це фреймворк від компанії Microsoft, який дозволяє створювати крос-платформні мобільні програмні продукти. Мобільний додаток пропонується створити, використовуючи типову модель клієнт-серверної архітектури (запит на веб-API, отримання відповіді, візуалізація результатів). Також одним із варіантів використання клієнтської частини є застосування веб-сайту, який розміщений у серверній частині, з будь-якого ПК чи ноутбука/нетбука, в якого є доступ в Інтернет.

Вибір рішень для аналітичної частини ІСМЗАП

Як зазначено вище, для аналітичної обробки даних спостережень доцільно використовувати комплекс програм ArcGIS, Urban Sim, спеціальні веб-сервіси, у тому числі на основі моделі Гауса та ін. [11—13].

Обробку даних щодо концентрації забруднення атмосферного повітря або метеоданих пропонуємо здійснювати або одразу у вигляді тривимірної моделі, з урахуванням висоти, на якій розташований кожен датчик ІСМЗАП, або у вигляді горизонтальних зрізів (полів концентрації на однаковій висоті над поверхнею землі) (рис. 3).

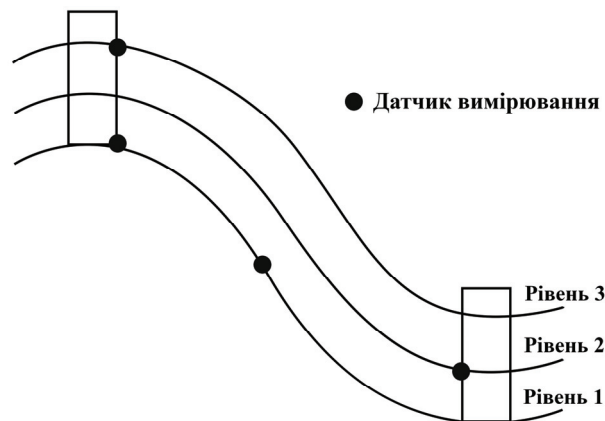


Рис. 3. Приклад схеми, за якою вибираються датчики для обробки полів забруднення атмосферного повітря

Наприклад, пакет програм ArcGIS 3D Analyst дозволяє створити повноцінну модель міста з усіма забудовами та географічними об'єктами, провести інтерполяцію заданих даних та сумістити ці просторові дані у векторному вигляді (рис. 4) [11].

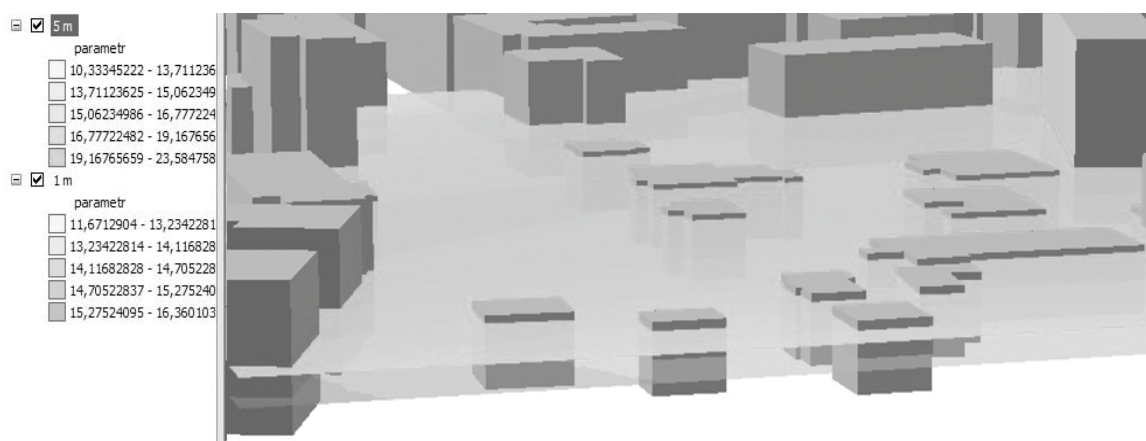


Рис. 4. Приклад моделі міста з побудованими полями значень показника в пакеті ArcGIS 3D Analyst

На рис. 5 запропоновано концепт інтерфейсу веб-сайту ІСМЗАП.

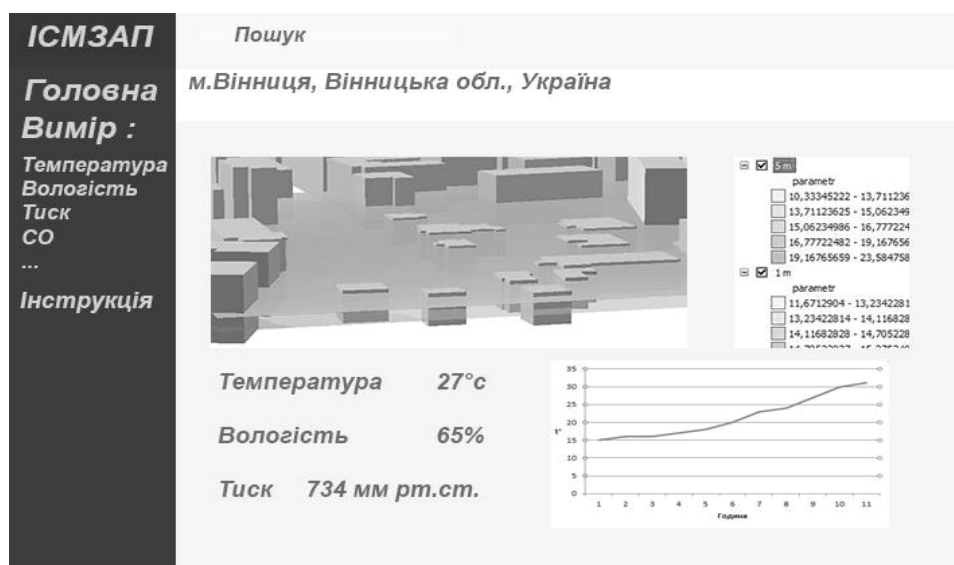


Рис. 5. Концепт веб-сайту для аналізу даних ІСМЗАП

Висновки

Розглянуто задачу створення інформаційної системи моніторингу забруднення атмосферного повітря міста шляхом організації автоматичної взаємодії різних інформаційно-вимірювальних пристроїв за технологією «Інтернет речей» («IoT»). Запропоновано її структуру та підходи до аналітичної обробки і візуалізації даних і результатів обробки з використанням веб- та ГІС-технологій на основі ArcGIS, Urban Sim тощо.

Здійснено системний аналіз та обґрунтування вибору програмно-технічних рішень, необхідних для створення такої системи та для реалізації усіх етапів інформаційної технології на її основі (збирання, передавання, збереження, оброблення і візуалізація даних).

Обґрунтовано, що оптимальним рішенням для передавання даних є технологія Wi-Fi, особливо, коли є можливість постійного підключення вимірювальних пристроїв до джерел живлення або можливе їх постійне підзарядження. Також, є доцільним використання стандарту WiFi HaLow для зниження енерговитрат інформаційно-вимірювальних підсистем. В якості IoT-платформи запропоновано використовувати популярну Arduino Uno. У роботі використано практичний досвід авторів у створенні подібних систем та їх компонентів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. The improvement of the volumetric monitoring system to raise the analysis accuracy for the allergic pollen found in the city atmosphere [Electronic resource] / [Vitalii B. Mokin, Victoria V. Rodinkova, Tatiana Y. Vuzh, Waldemar Wójcik, Saltanat Sailarbek] // Przegląd Elektrotechniczny. — R. 93 NR 5/2017. — ISSN 0033-2097. — doi:10.15199/48.2017.05.17. — Access mode: <http://pe.org.pl/articles/2017/5/17.pdf>.

2. Моніторинг довкілля : підручник / [Боголюбов В. М., Клименко М. О., Мокін В. Б. та ін.] ; під ред. В. М. Боголюбова. [2-е вид., перероб. і доп.]. — Вінниця : ВНТУ, 2010. — 232 с.
3. Сидорук О. О. Розподілена оптоелектронна система екологічного моніторингу в режимі реального часу (апаратна реалізація) [Електронний ресурс] / О. О. Сидорук, А. В. Шевчук, М. І. Урсан // XLVI Регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області : електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 22—23 березня 2017. — Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2017/paper/view/2833/2135>.
4. Горячев Г. В. Идентификация джерел понаднормативних викидів на основі нечітких баз знань за допомогою веб-сервісів / Г. В. Горячев, Д. Ю. Дзюняк // Вісник Житомирського державного технологічного університету. — 2014. — № 2/2014. — С. 98—102.
5. Могильний С. Б. Побудова системи для Інтернету речей / С. Б. Могильний // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». — 2016. — № 65/2016. — С. 73—78.
6. Detecting Abnormalities in IoT Program Executions through Control-Flow-Based Features / Agarwal, A., Dawson, S., McKee, D., Eugster, P., Tancreti, M., & Sundaram, V. // Proceedings of the Second International Conference on Internet-of-Things Design and Implementation. — 2017, April. — Pp. 339—340.
7. Kyung Sup Kwak. An Overview of IEEE 802.15.6 Standard" [Electronic resource] / Kyung Sup Kwak, Sana Ullah, Niamat Ullah // 2010 3rd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL 2010), 7—10 Nov., 2010. — Rome, Italy. — DOI: 10.1109/ISABEL.2010.5702867.
8. Sushabhan Choudhury. ZigBee and Bluetooth Network based Sensory Data Acquisition System [Електронний ресурс] / Sushabhan Choudhury, Piyush Kuchhal, Rajesh Singh. — doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.195 — P. 367—372.
9. IEEE 802.11 ad: directional 60 GHz communication for multi-Gigabit-per-second Wi-Fi / Nitsche, T., Cordeiro, C., Flores, A. B., Knightly, E. W., Perahia, E., & Widmer, J. C. // IEEE Communications Magazine. — 2014. — 52 (12). — Pp. 132—141.
10. IEEE 802.11 ad: A standard for TV white space spectrum sharing / Flores, A. B., Guerra, R. E., Knightly, E. W., Ecclesine, P., & Pandey, S. // IEEE Communications Magazine. — 2013. — 51 (10). — Pp. 92—100.
11. Системний аналіз та проектування ГІС : електронний навч. посіб. [Електронний ресурс] / Є. М. Крижановський, В. Б. Мокін, А. Р. Яшолт, Л. М. Скорина. — Вінниця : ВНТУ, 2015. — 127 с. — Режим доступу: [http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/8960/Posibnik_2015_3%20\(1\).pdf?sequence=1](http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/8960/Posibnik_2015_3%20(1).pdf?sequence=1).
12. Інформаційно-вимірювальна система оперативного екологічного моніторингу з використанням мобільних пристроїв / [В. Б. Мокін, К. О. Бондалетов, Г. В. Горячев, Д. Ю. Дзюняк] // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2015. — № 5 (122). — С. 116—122.
13. Мокін В. Б. Метод оцінювання параметрів стаціонарних джерел викидів на основі моделі Гауса за даними оперативного моніторингу зони розсіювання / В. Б. Мокін, Д. Ю. Дзюняк // Математичне моделювання в економіці. — 2016. — № 3—4 (7). — С. 27—35.

Рекомендовано кафедрою системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 22.06.2017

Мокін Віталій Борисович — д-р. техн. наук, професор., завідувач кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки, e-mail: vbmokin@gmail.com ;

Собко Богдан Юрійович — аспірант кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки, e-mail: bodichsobko@gmail.com ;

Дратованій Михайло Володимирович — аспірант кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки, e-mail: mishadratovany@gmail.com ;

Крижановський Євгеній Миколайович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки, e-mail: kruzhan@gmail.com ;

Горячев Георгій Володимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки, e-mail: gorgeorg78@gmail.com.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

V. B. Mokin¹
B. Yu. Sobko¹
M. V. Dratovanyi¹
Ye. M. Kryzhanovskiy¹
H. V. Horiachev¹

Creation of the Information System of Air Pollution Monitoring of the City on the Basis of Technology “Internet of Things”

¹Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia

The article deals with the task of creating an information system for monitoring the atmospheric air pollution of the city by organizing the automatic interaction of various information-measuring devices with the technology “Internet of Things”

things" ("IoT"). The system analysis and justification of the choice of software and technical solutions necessary for the creation of such a system and for the implementation of all stages of information technology on its basis (collection, transmission, storage, processing and visualization of data) are carried out. In this work the practical experience of authors in the creation of such systems and their components is used.

Keywords: Internet things, information technology, system analysis, web service, geoinformation system, meteorological monitoring of the city.

Mokin. Vitalii B. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Systems Analysis, Computer Monitoring and Engineering Graphic, e-mail: vbmokin@gmail.com ;

Sobko Bohdan Yu. — Post-Graduate Student of the Chair of Systems Analysis, Computer Monitoring and Engineering Graphic; e-mail: bodichsobko@gmail.com ;

Dratovanyi Mykhailo V. — Post-Graduate Student of the Chair of Systems Analysis, Computer Monitoring and Engineering Graphic; e-mail: mishadtratovany@gmail.com ;

Kryzhanovskiy Yevhene M. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Systems Analysis, Computer Monitoring and Engineering Graphics, e-mail: kruzhan@gmail.com ;

Horiachev Heorhii V. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Systems Analysis, Computer Monitoring and Engineering Graphics, e-mail: gorgeorg78@gmail.com

В. Б. Мокин¹
Б. Ю. Собко¹
М. В. Дратованій¹
Е. М. Крижановський¹
Г. В. Горячев¹

Создание информационной системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха города на основе технологии «Интернет вещей»

¹Винницкий национальный технический университет, Винница

Рассмотрена задача создания информационной системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха города путем организации автоматического взаимодействия различных информационно-измерительных устройств по технологии «Интернет вещи» («IoT»). Осуществлен системный анализ и обоснование выбора программно-технических решений, необходимых для создания такой системы и для реализации всех этапов информационной технологии на ее основе (сбор, передача, хранение, обработка и визуализация данных). В работе использованы практический опыт авторов в создании подобных систем и их компонентов.

Ключевые слова: Интернет вещей, информационная технология, системный анализ, веб-сервис, геоинформационная система, метеорологический мониторинг города.

Мокин Виталий Борисович — д-р. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой системного анализа, компьютерного мониторинга и инженерной графики, e-mail: vbmokin@gmail.com ;

Собко Богдан Юрьевич — аспирант кафедры системного анализа, компьютерного мониторинга и инженерной графики; e-mail: bodichsobko@gmail.com ;

Дратованый Михаил Владимирович — аспирант кафедры системного анализа, компьютерного мониторинга и инженерной графики; e-mail: mishadtratovany@gmail.com ;

Крыжановский Евгений Николаевич — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры системного анализа, компьютерного мониторинга и инженерной графики, email: kruzhan@gmail.com ;

Горячев Георгий Владимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры системного анализа, компьютерного мониторинга и инженерной графики, email: gorgeorg78@gmail.com