

УДК 004.94 (072)

DOI <https://doi.org/10.32782/IT/2022-2-5>

### **Іван ЛАКТИОНОВ**

доктор технічних наук, доцент, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, [Laktionov.I.S@nmu.one](mailto:Laktionov.I.S@nmu.one)

ORCID: 0000-0001-7857-6382

Scopus Author ID: 57194557735

### **Олександр ЖАБКО**

магістрант, ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», вул. Софії Ковалевської, 29, м. Луцьк, Україна, 43024, [oleksandr.zhabko.kita@donntu.edu.ua](mailto:oleksandr.zhabko.kita@donntu.edu.ua)

**Бібліографічний опис статті:** Лактіонов, І., Жабко, О. (2022). Обґрунтування вимог до структурно-алгоритмічної організації IoT-технології моніторингу концентрацій парникових газів. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 41–51, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2022-2-5>

## **ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМІЧНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ІОТ-ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ КОНЦЕНТРАЦІЙ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ**

**Актуальність.** У останні десятиліття особливо актуальними стають питання збереження та захисту довколишнього середовища. Одним зі значних викликів є боротьба з явищем парникового ефекту із використанням різних науково-технічних і організаційних прийомів. На сьогоднішній день одним із найбільш ефективних підходів до вирішення проблеми боротьби зі стрімкою динамікою парникового ефекту є отримання інтелектуально інтерпретованих даних щодо динаміки парникових газів у режимі реального часу. Отже, розробка і впровадження технологій Інтернету речей, які призначено для комп'ютеризованого агрегування і предикативного автоматичного аналізу концентрацій парникових газів, є актуальною науково-прикладною задачею. **Метою роботи** є синтез науковообґрунтованих прийомів із розробки структурно-алгоритмічної організації IoT-технології, що спроможна в режимі реального часу реалізовувати комплекс функціональних перетворень вимірюваних даних із комп'ютеризованого моніторингу концентрацій парникових газів. **Об'єктом дослідження** виступають існуючі підходи до організації систем збору, способів передачі та обробки вимірювальних даних із моніторингу концентрацій парникових газів. **Предметом дослідження** є інфокомунікаційні програмно-апаратні рішення в галузі моніторингу концентрацій парникових газів. **Висновки.** Доведено, що розробка і впровадження концептуальних рішень у галузі інформаційних технологій моніторингу концентрацій парникових газів є актуальною науково-прикладною задачею у теперішній час. У статті вирішено науково-прикладне завдання з обґрунтування сукупності вимог до структурно-алгоритмічної організації IoT-моніторингу прикладного екологічного спрямування. Проаналізовано існуючі підходи до побудови та виконано вибір відповідних технічних апаратно-програмних рішень, проведено логічне узагальнення систем збору і аналітики даних, а також синтезовано загальну архітектуру досліджуваної технології. На базі архітектури технології було обґрунтовано її функціональну схему і деталізований алгоритм роботи, описано основні компоненти та сформульовано базові функції системи.

**Ключові слова:** IoT-технологія, моніторинг, mesh-мережа, алгоритм, маршрутизація, парниковий ефект.

### **Ivan LAKTIONOV**

Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Software Engineering, Dnipro University of Technology, av. Dmytra Yavornytskoho, 19, Dnipro, Ukraine, 49005, [Laktionov.I.S@nmu.one](mailto:Laktionov.I.S@nmu.one)

ORCID: 0000-0001-7857-6382

Scopus-Author ID: 57194557735

### **Oleksandr ZHABKO**

Master's student, SHEI 'Donetsk National Technical University', str. Sofia Kovalevska, 29, Lutsk, Ukraine, 43024, [oleksandr.zhabko.kita@donntu.edu.ua](mailto:oleksandr.zhabko.kita@donntu.edu.ua)

**To cite this article:** Laktionov, I., Zhabko, O. (2022). Obgruntuvannya vymoh do strukturno-alhorytmichnoi orhanizatsii IoT-tekhnologii monitorynhu kontsentratsii parnykovykh haziv [Rationale

of the requirements of IoT-technology structural and algorithmic organization on greenhouse gases concentrations monitoring]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 41–51, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2022-2-5>

## RATIONALE OF THE REQUIREMENTS OF IOT-TECHNOLOGY STRUCTURAL AND ALGORITHMIC ORGANIZATION ON GREENHOUSE GASES CONCENTRATIONS MONITORING

**Relevance.** *The issues of environment preservation and protection have become especially relevant in recent decades. One of the significant challenges is the fight against the greenhouse effect phenomenon using various scientific, technical and organizational methods. To date, one of the most effective approaches for solving the problem of combating the greenhouse effect rapid dynamics is to obtain intelligently interpreted data on the dynamics of greenhouse gases in real time. Therefore, the development and implementation of Internet of Things technologies designed for computerized analysis of greenhouse gases concentrations is a relevant scientific and applied task. The main goal is a synthesis of scientifically based methods for the development of IoT-technology structural and algorithmic organization, which is capable of real-time implementation of a complex of measurement data functional transformations on greenhouse gases concentrations computerized monitoring. The research object is the existing approaches to collection systems organization, methods of transmission and processing of measurement data on greenhouse gases concentrations monitoring. The research subject is infocommunication software and hardware solutions in the field of greenhouse gases concentrations monitoring. Conclusions.* It has been proven that the development and implementation of conceptual solutions in the field of information technologies on greenhouse gases concentrations monitoring is a relevant scientific and applied task at the present time. The article solves the scientific and applied task of the requirements set rationale for the structural and algorithmic organization of the applied environmental IoT-monitoring technology. The existing approaches to construction have been analyzed and the selection of appropriate technical hardware and software solutions has been performed, a logical generalization of data collection and analysis systems has been carried out and the general architecture of the researched technology has been synthesized. Based on the architecture of the technology its functional diagram and detailed work-algorithm have been substantiated, the main components have been described and the basic functions have been formulated.

**Key words:** IoT-technology, monitoring, mesh-network, algorithm, routing, greenhouse effect.

**Актуальність науково-прикладної задачі дослідження.** В останні десятиліття особливо актуальними стають питання збереження та захисту довколишнього середовища. Одним зі значних викликів є боротьба з явищем парникового ефекту [1]. Парниковий ефект виникає у результаті накопичення в атмосфері Землі парникових газів: вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ), оксид азоту ( $\text{N}_2\text{O}$ ), озон ( $\text{O}_3$ ) і фторовані гази. До джерел природного походження таких газів відносять: випаровування водяної пари в атмосферу, виділення вуглекислого газу під час дихання, поява метану в результаті розкладання та інше. До джерел штучного походження: спалювання викопного палива різноманітними об'єктами транспортної інфраструктури, вирубування лісів та викиди промислових підприємств. Все це обумовлює підвищення температури на Землі та навіть незначне підвищення середньої глобальної температури має значні наслідки, насамперед, це підвищення рівня моря через танення льодовиків. Також підвищення температури впливає на глобальну зміну клімату планети, що порушує нормальні умови життя для живих істот і руйнує екосистеми. Додатковий негативний ефект включає зміни в рівнях опадів [2].

Боротьба зі зміною клімату вимагатиме постійного контролю й керування викидами парникових газів у атмосферу, що, в свою чергу, потребуватиме вищої точності та оперативності моніторингу, звітності та перевірки. Реалізація технологій вискоелективного інтелектуального моніторингу кліматичних параметрів позитивно впливає на численні критичні для національної безпеки й економіки сектори [3]. На сьогоднішній день одним із найбільш ефективних підходів до вирішення проблеми боротьби зі стрімкою динамікою парникового ефекту є отримання інтелектуально інтерпретованих даних щодо динаміки парникових газів у режимі реального часу. Отже, розробка і впровадження технологій Інтернету речей, які призначено для комп'ютеризованого аналізу концентрацій парникових газів, є актуальною науково-прикладною задачею.

**Мета і задачі статті.** Основною метою роботи є синтез науковообґрунтованих прийомів із розробки структурно-алгоритмічної організації IoT-технології, що спроможна в режимі реального часу реалізовувати комплекс функціональних перетворень вимірюваних даних із комп'ютеризованого моніторингу концентрацій парникових газів. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

– критичний аналіз і логічне узагальнення існуючих підходів щодо моніторингу викидів парникових газів;

– виявлення та вивчення найбільш ефективних сучасних програмно-технічних рішень із побудови інфокомунікаційних мереж кліматичного моніторингу;

– розробка архітектури та алгоритмів функціонування досліджуваної IoT-технології;

– обґрунтування сукупності критеріїв для подальшого проектування, моделювання, розробки та впровадження IoT-технології моніторингу концентрацій парникових газів із використанням mesh-мереж;

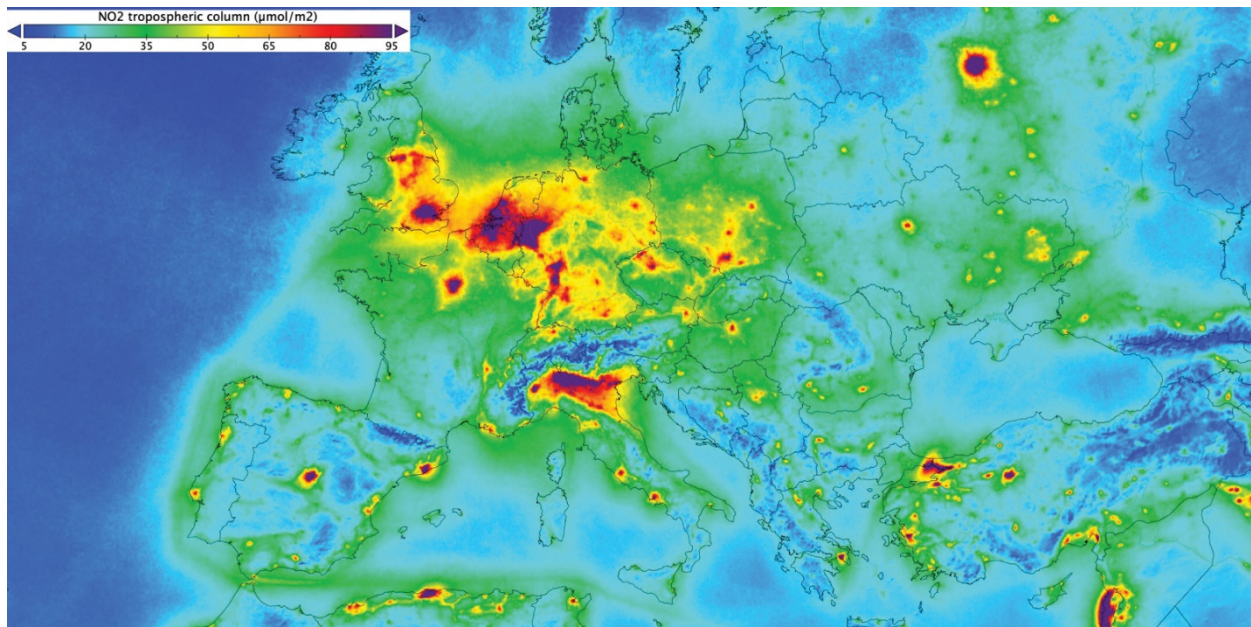
– обґрунтування подальших напрямків пріоритетних досліджень у заявленій предметній області.

**Критичний аналіз та логічне узагальнення останніх досліджень, публікацій і науково-технічних розробок.** Проведений аналіз концепцій щодо моніторингу параметрів довколишнього середовища дозволив виокремити три загальні підходи: за допомогою систем супутникового зв'язку, з використанням атмосферних зондів та розгортання наземних систем збору і передачі даних.

Технології на базі супутникового зв'язку здатні забезпечити покриття в усьому світі

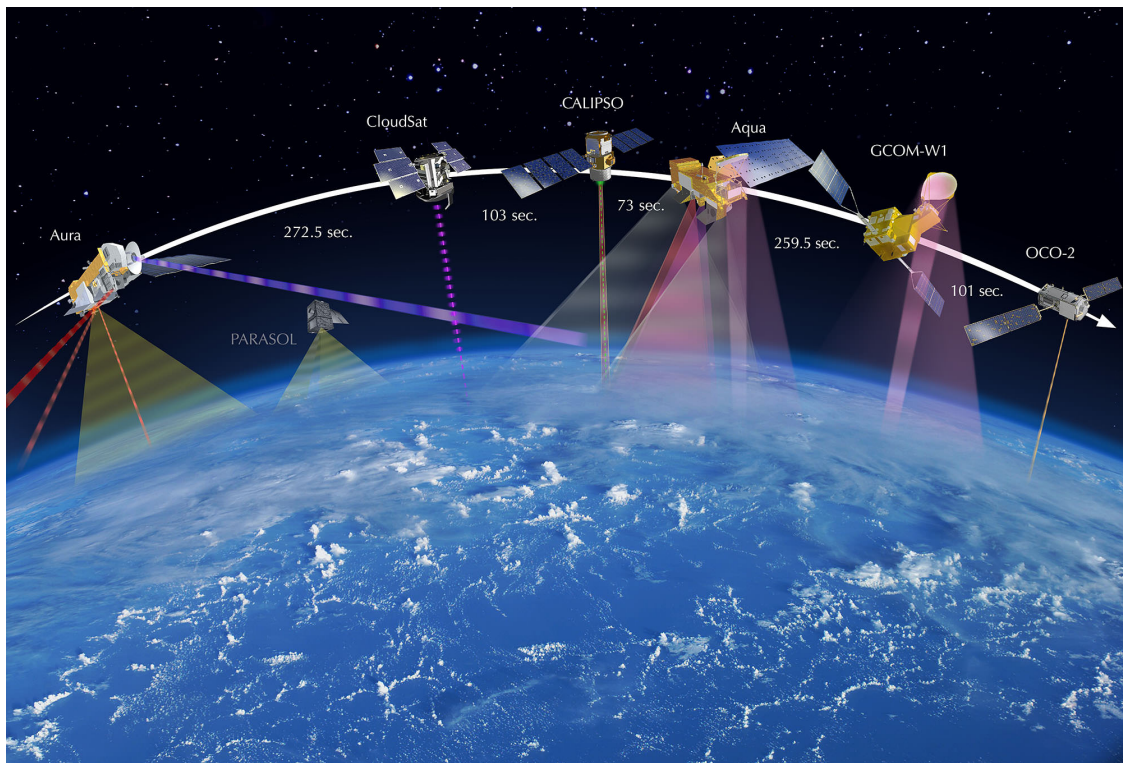
з високою точністю й роздільною здатністю як, наприклад, наведено на рисунку 1.

Як показує аналіз сучасних літературних джерел, супутники, що розміщені на орбіті, містять комплекси давачів, які детектують відбиту або випромінювану енергію та гази від поверхні Землі (див. рис. 2). Уряди та державні установи більшості країн світу підтримали програми реалізації моніторингу викидів парникових газів шляхом запуску супутникових систем для агрегування національних і глобальних баз даних щодо динаміки викидів парникових газів [5]. Завдяки відкритому доступу до цих даних академічні, урядові та комерційні установи отримали змогу надавати важливі функції з оцінки таких даних ширшій спільноті. Прикладами супутникових систем є незалежні та надійні платформи, які можуть опрацьовувати та об'єднувати величезні обсяги даних для створення відповідних баз знань. Ці місії мають потенціал зробити внесок у національні кадастри викидів парникових газів, зосереджуючись на трьох основних газах, перерахованих у Паризької угоді для цілей звітності сторін: вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ) і оксид азоту ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Реалізація такого підходу дозволила згенерувати загальну карту парникових газів у масштабах планети [6].



*According to the Air Quality in Europe report published in 2018 by the European Environment Agency (EEA), 19 EU Member States recorded nitrogen dioxide concentration above the annual permissible limit. Imagery from Sentinel-5P*

**Рис. 1. Приклад результату моніторингу викидів парникових газів на території Європи за допомогою супутників [4]**



**Рис. 2. Приклад організації процесу моніторингу концентрацій парникових газів за допомогою супутників [5]**

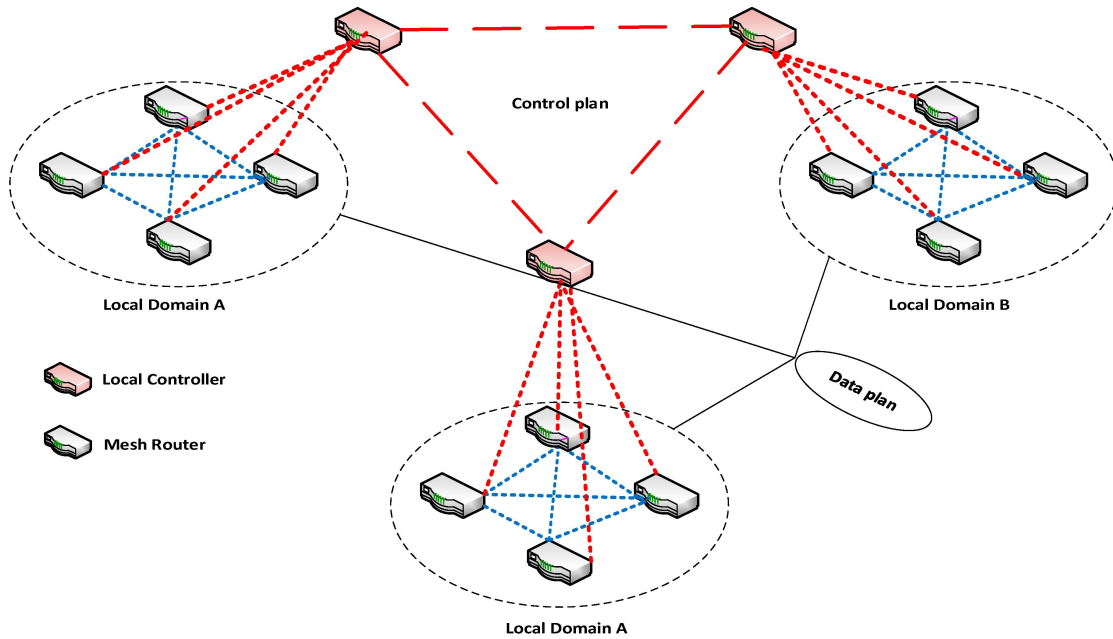
Другим широко апробованим і використовуваним підходом щодо збору інформації відносно динаміки концентрацій парникових газів є застосування безпілотних літальних апаратів із інтегрованими пристроями неруйнівного інструментального моніторингу. Типовим прикладом такого технічного рішення є Fast Response Atmospheric Turbulence (FRAT) [7]. Цей зонд є автономним програмно-апаратним комплексом, який придатний до використання під час проведення атмосферного вимірювального контролю й надання даних, які можуть бути використані для оцінки потоків детектованих газів та / або інших фізико-хімічних параметрів. Основною характерною особливістю конструкції FRAT є її здатність поглинати навколишнє повітря з рівномірною швидкістю без дестабілізуючого впливу турбулентності. Такий підхід має наступні істотні переваги: підвищення точності вимірювань; економія часу та ресурсів на відносно невеликих відстанях; усунення необхідності виконувати додаткові аналізи з урахуванням руху зонду [7].

Третім широко розповсюдженим видом технологій моніторингу кліматичного призначення є використання наземних розподілених

систем датчиків і мережевих пристроїв. Існує велика кількість фірмових стандартів, що розроблені для впровадження під час наземного моніторингу. Узагальнено наземні системи можна представити трьома ключовими складовими: вузол детектування і агрегування даних, мережа передачі даних та система обробки й аналізу отриманої інформації [8] як, наприклад, показано на рисунку 3.

Важливим є зауваження відносно того, що саме якісне обґрунтування компонентної бази і функціонального забезпечення сенсорного і мережевого рівнів у подальшому впливає на якість функціонування всієї технології. Для наземного збору даних необхідним є визначення виду топології мережі, середовища передавання й алгоритму організації взаємодії між вузлами мережі.

Під час проведення порівняльного аналізу технологій комп'ютеризованого моніторингу концентрацій парникових газів, які деталізовано вище, було зроблено проміжні висновки, які наведено в таблиці 1. Якісні градації параметрів «високий», «середній» та «низький» є результатами співставлення технологій одна з одною на якісному рівні.



**Рис. 3. Приклад мережевої організації наземної технології моніторингу кліматичних даних [8]**

Таблиця 1

**Результати порівняння технологій кліматичного моніторингу**

Параметр	Супутники	Зонди	Наземні мережі
Покриття	Високе	Низьке	Високе
Точність	Середня	Середня	Висока
Складність технології	Висока	Середня	Середня
Мобільність	Низька	Висока	Середня
Масштабованість	Висока	Низька	Висока
Вартість	Висока	Середня	Середня

Таким чином, під час аналізу відомих результатів у досліджуваній предметній області було встановлено, що організація системи моніторингу парникових газів із використанням наземних сенсорних і мережевих технологій є на даний момент оптимальним рішенням із точки зору інтегральних техніко-економічних показників. Пояснюється це тим, що супутникові системи загалом використовуються для отримання більш глобальної картини відносно парникових газів та їх впливу на планету, тобто відображають інтегральну тенденцію, що не є таким актуальним під час організації інфо-комунікаційного рішення для локальних завдань моніторингу, а атмосферні зонди наразі мають велику кількість варіантів реалізацій і у багатьох випадках реалізуються не за рахунок утворення стабільної телекомунікаційної мережі. Наземні мережеві рішення мають наступні переваги:

- ергономічність під час упровадження та обслуговування у реальних умовах експлуатації;

- висока точність і дискретність детектування;

- здатність до масштабування під час розширення переліку детектованих фізико-хімічних параметрів.

Також можна зазначити основні обмеження, що притаманні програмно-апаратним рішенням таких систем і обумовлюють необхідність проведення додаткових досліджень:

- облік можливості розгортання та стабільного функціонування у різноманітних кліматичних умовах;

- обмеження, що пов'язані з адаптацією мережевих алгоритмів;

- захист цілісності даних під час передачі;

- потреба у розробці моделей обробки значних об'ємів вимірювальних даних у режимі реального часу.

Наступним реалізованим етапом аналізу була деталізація характеристик розповсюджених наземних мережевих технологій кліматичного моніторингу. При цьому для більш ґрунтовного аналізу, окрім систем моніторингу

концентрацій парникових газів, були розглянуті аналогічні рішення для інших галузей. Це дозволило більш детально сформулювати основні вимоги до мережевого рівня проєктованої технології. Під час аналізу були розглянуті наступні технології: Tevatronic, WoRShIP та Ribbit Network.

Tevatronic використовується в аграрному секторі та базується на бездротових мережах [9]. Tevatronic – це технологія, яка повністю автоматизує процедури зрошення та внесення добрив, що налаштовані для досягнення бажаної глибини кореневої системи, а також прийняття рішень за вимірювальними даними. Бездротові датчики збирають прецизійні дані щодо стану ґрунту в кожній характерній зоні аграрного об'єкту. Мікроконтролерний блок після первинної цифрової обробки відправляє вимірювальну інформацію до хмарного середовища інтелектуального опрацювання даних, що синхронізовано з циклами зрошення / внесення добрив без втручання людини. Таким чином, Tevatronic є повністю автономним мережевим рішенням.

WoRShIP є більш глобальним проєктом із програмно-апаратної реалізації задач моніторингу промислового призначення. Це рішення базується на фотоакустичному принципі дії щодо виявлення газів від фірми-розробника WoePal. Така система спроможна виявляти низку парникових газів і забруднювачів повітря, а також аналізувати потоки та концентрації парникових газів на рівні мікроконцентрацій у режимі онлайн. Ця технологія узгоджена з протоколами зв'язку Bluetooth і Wi-Fi. Програмна компонента такого рішення може бути адаптована під різні сценарії функціонування мереж динамічного моніторингу детектування й аналізу потоків парникових газів.

Одним із альтернативних напрямків є створення некомерційних проєктів на базі концепції Інтернету речей як, наприклад, мережа Ribbit, що являє собою значну мережу бюджетних сенсорів парникових газів із відкритим кодом [10]. Цей науковий проєкт має на меті створити найбільшу в світі базу даних щодо викидів парникових газів, що дасть змогу будь-кому приєднатися до роботи над задачами аналізу змін клімату та надавати обґрунтовані рекомендації з поліпшення глобальної кліматичної ситуації.

Таким чином, на підставі деталізованого аналізу вищенаведених рішень із кліматичного моніторингу було сформовано основні вимоги до IoT-технології, яка розробляється і досліджується в даній статті, а саме:

- автономність і надійність мережевого рішення;
- інтеграція датчиків з існуючими стандартами побудови інфокомунікаційних мереж;
- побудова бездротової мережі сенсорів із доступом до глобальної мережі обміну й трансформації даних;
- розробка алгоритмів адаптивного обміну даними в складних кліматичних умовах;
- використання моделей штучного інтелекту для аналізу даних від розподілених сенсорів.

**Результати досліджень.** З обліком результатів критичного аналізу та логічного узагальнення відомих наукових досліджень і прикладних рішень [11] було розроблено узагальнену структурну схему інфокомунікаційної мережі моніторингу концентрацій парникових газів, яку наведено на рисунку 4.

На рисунку 4 введено такі позначення:

- processing center – інфраструктура для обробки інформації (рівень аналітики);
- node – вузли мережі передачі даних (мережевий рівень);
- sensor – давачі збору вимірювальних даних (польовий рівень).

Інфраструктура для обробки інформації представляє собою серверне середовище для отримання, обробки та зберігання даних, надання доступу до інформації для користувачів із різними правами, оновлення вузлів мережі та датчиків за необхідності.

Основні функції вузлів передачі полягають в маршрутизації трафіку в напрямку до середовища обробки та спеціальної інформації до давачів моніторингу, побудові стабільної топології мережі за допомогою резервних маршрутів та обміні службовою інформацією між собою.

Дачачі представляють собою кінцеві пристрої технології, які під час взаємодії з довколишнім середовищем передають дані до мережі та обмінюються службовою інформацією з вузлами мережі.

Подальше висування вимог до досліджуваної IoT-технології потребує встановлення переліку основних складових елементів парникових газів [12], як це показано на рисунку 5 і деталізовано в таблиці 2.

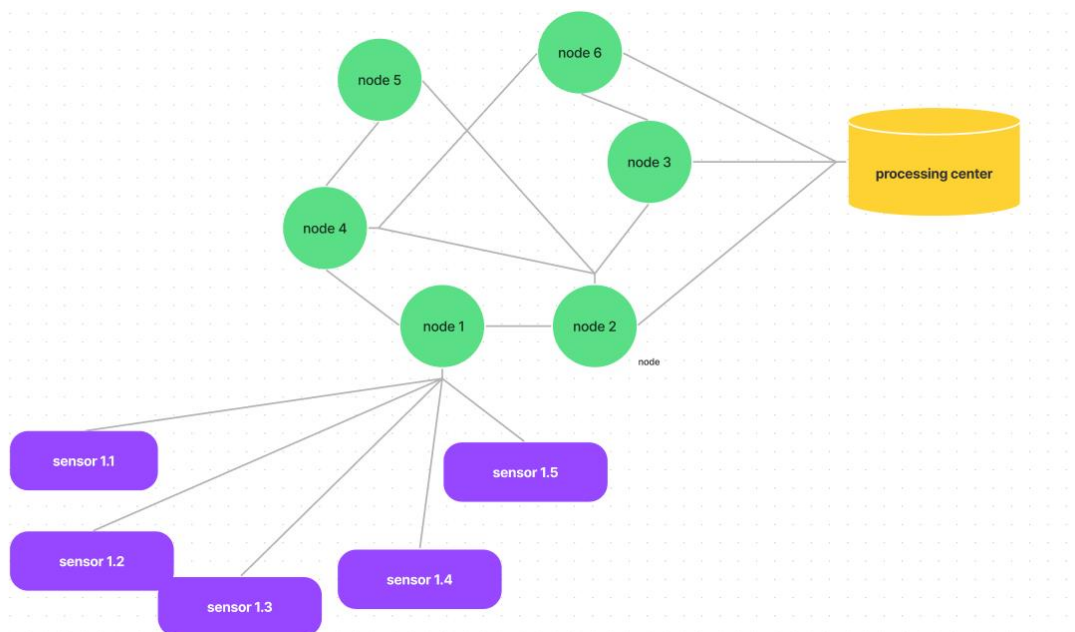


Рис. 4. Структурна схема інфокомунікаційної мережі моніторингу концентрацій парникових газів

Global Greenhouse Gas Emissions by Gas, %

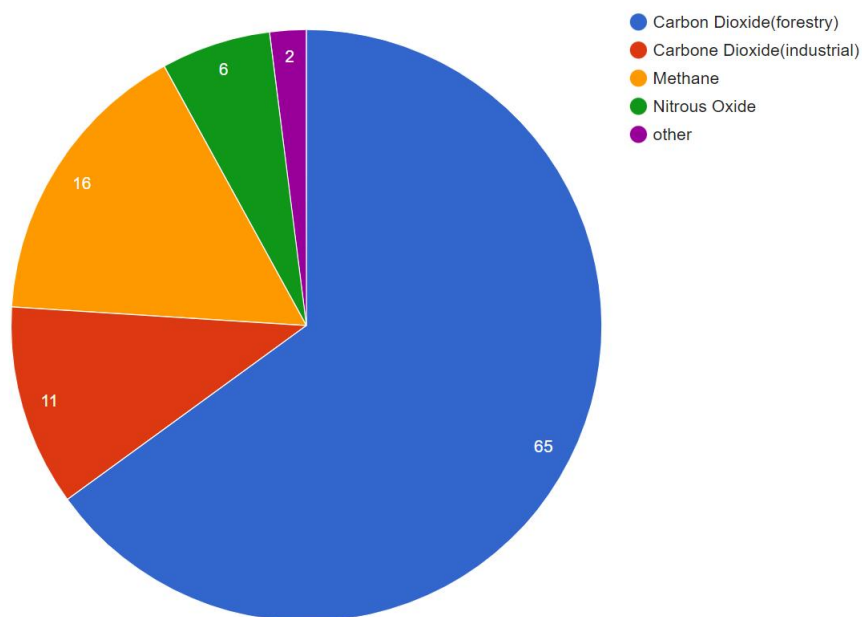


Рис. 5. Діаграма розподілу співвідношення концентрацій парникових газів у довколишньому середовищі

Таблиця 2

**Деталізована інформація щодо розподілу концентрацій парникових газів**

Назва	Хімічна формула	Концентрація в атмосфері, ppm	Відсоткове співвідношення, %
Водяна пара	H <sub>2</sub> O	від 10 до 50 тис.	від 36 до 72
Вуглекислий газ	CO <sub>2</sub>	приблизно 400	від 9 до 26
Метан	CH <sub>4</sub>	приблизно 1,8	від 4 до 9
Озон	O <sub>3</sub>	від 2 до 8	від 3 до 7

Виходячи з поставлених у попередніх розділах вимог було встановлено, що необхідним є задоволення умови автономності інфокомунікаційної мережі. Для цього запропоновано три основні види алгоритмів взаємодії:

- алгоритм початкового налаштування технології;
- алгоритм збору та передачі інформації;
- алгоритм оновлення системи.

Алгоритм початкового налаштування працює у випадку першого встановлення технології або її повного перезавантаження. У такому випадку послідовність дій після фізичного з'єднання та активації усіх складових системи є наступною:

- ініціалізація давачів та обмін службовою інформацією з вузлами входу до мережі;
- налаштування маршрутів між мережевими вузлами та побудова статичної топології;
- перевірка зв'язку між вузлами мережі та середовищем обробки інформації;
- передача тестової послідовності від давачів до середовища передавання та очікування відповіді.

Алгоритм збору та передачі інформації виконується впродовж всього активного сеансу використання технології моніторингу та складається з реалізації таких процедур:

- обмін та маршрутизація пакетів вимірювальних даних;
- налаштування динамічної топології між вузлами мережі.

Алгоритм передачі пакетів зводиться до стандарту побудови мережі. Серед відомих серійних стандартизованих протоколів налаштування оптимальної топології одним із найкращих є принцип побудови mesh-мережі [13]. Такий бездротовий стандарт mesh-мережі може розгортатися на базі декількох технічних рішень, які було проаналізовано в цій статті та наведено в таблиці 3.

Проаналізувавши дані, які наведено в таблиці 3, у якості вузлів передачі вимірювальної інформації було обрано модулі ZigBee [14]. Такі модулі (див. рис. 6) є оптимальними з точки зору часу автономної роботи і характеризуються достатніми показниками якості та

швидкості передачі даних невеликих обсягів. ZigBee-пристрої суміжні з більшістю серійних мікроконтролерів на апаратному, програмному і конструктивному рівнях.

Алгоритм оновлення полягає в постійному самонавчанні та корегуванні технології під час її роботи. Такий підхід стає можливим за рахунок розробки та інтегрування до архітектури досліджуваної технології моделей нейронних мереж та нечіткої логіки. Нейронні мережі під час впровадження в якості алгоритму побудови топології сприяють пришвидшенню первинної побудови системи та оперативної її перебудови у випадках аварійних ситуацій. Апарат нечіткої логіки задіяний на кінцевих пристроях із метою більш якісного збору й аналітики вимірювальних даних у реальному часі під час протікання процесу роботи системи. Загальне оновлення алгоритмів та відповідних їм програмних компонент реалізується через центр обробки і має дискретний характер.

Під час обґрунтування вимог до апаратних засобів досліджуваної IoT-технології моніторингу концентрацій парникових газів була встановлена сукупність додатних за метрологічними і функціональними параметрами бюджетних давачів, а саме: озон – MQ131, метан – MQ-4, водяна пара – YL-83, вуглекислий газ – MH-Z19B. Зазначені сенсори обрані на підставі міркувань із можливості їх інтеграції з бюджетними мікроконтролерними платформами сімейства Arduino, на які у поєднанні з додатковими модулями розширення, покладаються функції збору, первинної цифрової трансформації та передачі даних на мережеві вузли.

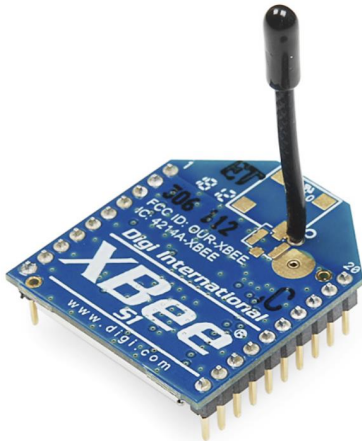
Кожен мережевий вузол представляє собою мікрокомп'ютер на базі Raspberry Pi і підключеного до нього модуля ZigBee. Мікрокомп'ютерна платформа Raspberry Pi має достатні обчислювальні потужності для вирішення задач агрегування даних із Arduino, інтелектуального опрацювання вимірювальних даних і паралельної діагностики топології мережі та ретрансляції інформації до центру аналітичної обробки.



Таблиця 3

**Результати порівняння бездротових мережевих технологій**

Характеристика технології (стандарту)	ZigBee (IEEE 802.15.4)	WI-FI (IEEE 802.11b)	Bluetooth (BLE) (IEEE 802.15.1)
Частотний діапазон, ГГц	від 2,4 до 2,483		
Пропускна здатність, Кбіт/сек	250	11000	723,1
Розмір стеку протоколу, Кбайт	від 32 до 64	понад 1000	понад 250
Час безперервної автономної роботи від акумулятора, дні	від 100 до 1000	від 0,5 до 5	від 1 до 10
Максимальна кількість вузлів у мережі	65536	10	7
Діапазон дії, м	від 10 до 100	від 20 до 300	від 10 до 100



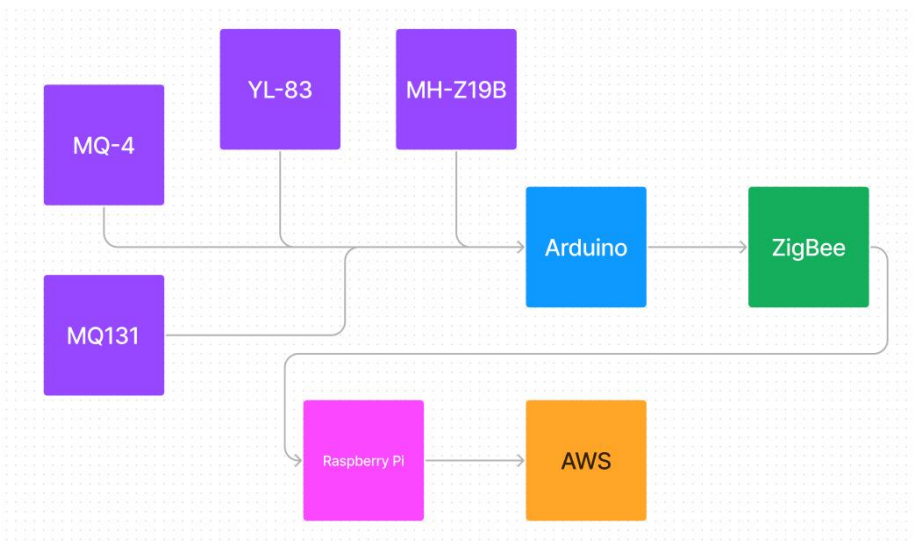
**Рис. 6. Типовий вигляд модуля ZigBee**

Інфраструктура центру обробки виноситься до хмарного середовища. Для цього може бути використана комерційна публічна хмара AWS, яка надає інструменти для організації серверного середовища, реалізації моделей автоматизованої обробки інформації, вирішення проблем зберігання даних, оновлення алгоритмів мережі та генерування й підтримки

рішень. Аналогічними за своїм функціоналом також є платформи Google Cloud та Microsoft Azure, які також можуть бути використанні під час реалізації досліджуваної прикладної IoT-технології. Таким чином, розроблена з обліком вищезазначених вимог функціональна схема IoT-технології моніторингу концентрацій парникових газів наведена на рисунку 7.

Основні виконувані технологією функції, яку у вигляді функціональної схеми наведено на рисунку 7, є наступними:

- детектування вихідних сигналів бездротової мережі датчиків парникових газів;
- організація послідовної передачі вимірювальних даних на мікроконтролерний вузол на базі Arduino;
- приймання та передача інформації за допомогою бездротової технології ZigBee;
- побудова маршрутів та організація топології на базі мікрокомп'ютерного пристрою Raspberry Pi;
- хмарна інтелектуальна обробка інформації та оновлення системи за допомогою середовища AWS.



**Рис. 7. Узагальнена функціональна схема IoT-технології моніторингу концентрацій парникових газів**

Отже, на підставі проведених досліджень було встановлено, що зазначена структурно-алгоритмічна організація IoT-технології моніторингу концентрацій парникових газів корелює з загальними концептуальними тенденціями в галузі інформаційних технологій за критеріями масштабності, адаптивності й комплексності агрегування й трансформації вимірювальних даних.

**Пріоритетні напрямки подальших досліджень.** За результатами аналізу та формування основних вимог подальшими кроками є вирішення трьох ключових задач:

– розробка і моделювання мережі, що здатна якісно, надійно та продуктивно виконувати покладені на неї функції й утворювати стабільну інфокомунікаційну інфраструктуру обміну вимірювальною інформацією;

– експериментальні випробування давачів для детектування концентрацій парникових газів та вирішення проблеми їх синтезу зі загальною мережею, а також оптимізація алгоритмів взаємодії компонентів інфокомунікаційної мережі;

– розробка програмних компонент хмарних обчислень на основі інтелектуальних алгоритмів трансформації вимірювальних даних та тестування сценаріїв обробки потенційно великих обсягів фізичних даних, що надходять від розподілених засобів інструментального комп'ютеризованого моніторингу.

**Висновки.** Доведено, що розробка і впровадження концептуальних рішень у галузі інформаційних технологій моніторингу концентрацій парникових газів є актуальною науково-прикладною задачею у теперішній час. У статті вирішено науково-прикладне завдання з обґрунтування сукупності вимог до структурно-алгоритмічної організації технології IoT-моніторингу прикладного екологічного спрямування. Проаналізовано існуючі підходи до побудови та виконано вибір відповідних технічних апаратно-програмних рішень, проведено логічне узагальнення систем збору і аналітики даних, а також синтезовано загальну архітектуру досліджуваної технології. На базі архітектури технології було обґрунтовано її функціональну схему і деталізований алгоритм роботи, описано основні компоненти та сформульовано базові функції системи.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Стаття Climate Change Indicators: Greenhouse Gases організації USEPA. URL: [epa.gov/climate-indicators/greenhouse-gases](https://epa.gov/climate-indicators/greenhouse-gases) (дата звернення: 12.09.2022).
2. Althor G. et al. Global mismatch between greenhouse gas emissions and the burden of climate change. *Sci. Rep.* 2016. Vol. 6 (20281). P. 1 – 6.
3. Shindell D.T. et al. Improved attribution of climate forcing to emissions. *Science.* 2009. Vol. 326. P. 716 – 718.
4. Стаття Eye from the Sky: Satellites to pinpoint greenhouse emissions and air pollution сайту Geospatial world. URL: [geospatialworld.net/article/satellites-greenhouse-emissions/](https://geospatialworld.net/article/satellites-greenhouse-emissions/) (дата звернення: 11.09.2022).
5. Стаття Earth Science Missions сайту NASA. URL: [climate.nasa.gov/nasa\\_science/missions/](https://climate.nasa.gov/nasa_science/missions/) (дата звернення: 11.09.2022).
6. Стаття Greenhouse Gas (GHG) Management Program сайту NASA. URL: [nasa.gov/emd/ghg](https://nasa.gov/emd/ghg) (дата звернення: 12.09.2022).
7. Telionis D. Et al. A Fast-Response Probe Capable of Atmospheric Sampling in Harsh Conditions. In: *AIAA Infotech@Aerospace*. Ohio, 2013. P. 1 – 23.
8. Elzain H., Wu Y. Software Defined Wireless Mesh Network Flat Distribution Control Plane. *Future Internet*, 2019. Vol. 11 (166). P. 1 – 17.
9. Стаття IoT and Autonomous Irrigation with Tevatronic сайту Open Learning Campus. URL: [olc.worldbank.org/content/iot-and-autonomous-irrigation-tevatronic](https://olc.worldbank.org/content/iot-and-autonomous-irrigation-tevatronic) (дата звернення: 14.09.2022).
10. Головна сторінка проєкту Ribbit Network. URL: [ribbitnetwork.org/](https://ribbitnetwork.org/) (дата звернення: 14.09.2022).
11. Saha S., Acharjee U., Tahzib-UI-Islam Md. A Survey on Wireless Mesh Network and its Challenges at the Transport Layer. *International Journal of Computer Engineering and Technology*, 2014. Vol. 5 (8). P. 169 – 177.
12. Стаття Overview of Greenhouse Gases USEPA. URL: [epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases](https://epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases) (дата звернення: 15.09.2022).
13. Стаття Mesh Networking сайту IEEE. URL: [standards.ieee.org/ieee/802.11s/4243/](https://standards.ieee.org/ieee/802.11s/4243/) (дата звернення: 12.09.2022).
14. Стаття ZigBee сайту CSA. URL: [csa-iot.org/all-solutions/zigbee/](https://csa-iot.org/all-solutions/zigbee/) (дата звернення: 11.09.2022).

**REFERENCES:**

1. Web-Article: Climate Change Indicators: Greenhouse Gases USEPA. URL: [epa.gov/climate-indicators/greenhouse-gases](https://epa.gov/climate-indicators/greenhouse-gases) (accessed: 12.09.2022).
2. Althor G. et al. Global mismatch between greenhouse gas emissions and the burden of climate change. *Sci. Rep.* 2016. Vol. 6 (20281). P. 1 – 6.
3. Shindell D.T. et al. Improved attribution of climate forcing to emissions. *Science.* 2009. Vol. 326. P. 716 – 718.
4. Web-Article: Eye from the Sky: Satellites to pinpoint greenhouse emissions and air pollution сайту Geospatial world. URL: [geospatialworld.net/article/satellites-greenhouse-emissions/](https://geospatialworld.net/article/satellites-greenhouse-emissions/) (accessed: 11.09.2022).
5. Web-Article: Earth Science Missions сайту NASA. URL: [climate.nasa.gov/nasa\\_science/missions/](https://climate.nasa.gov/nasa_science/missions/) (accessed: 11.09.2022).
6. Web-Article: Greenhouse Gas (GHG) Management Program сайту NASA. URL: [nasa.gov/emd/ghg](https://nasa.gov/emd/ghg) (accessed: 12.09.2022).
7. Telionis D. Et al. A Fast-Response Probe Capable of Atmospheric Sampling in Harsh Conditions. In: *AIAA Infotech@Aerospace.* Ohio, 2013. P. 1 – 23.
8. Elzain H., Wu Y. Software Defined Wireless Mesh Network Flat Distribution Control Plane. *Future Internet,* 2019. Vol. 11 (166). P. 1 – 17.
9. Web-Article: IoT and Autonomous Irrigation with Tevatronic Open Learning Campus. URL: [olc.worldbank.org/content/iot-and-autonomous-irrigation-tevatronic](https://olc.worldbank.org/content/iot-and-autonomous-irrigation-tevatronic) (accessed: 14.09.2022).
10. Web-Article: Ribbir Network. URL: [ribbitnetwork.org/](https://ribbitnetwork.org/) (accessed: 14.09.2022).
11. Saha S., Acharjee U., Tahzib-UI-Islam Md. A Survey on Wireless Mesh Network and its Challenges at the Transport Layer. *International Journal of Computer Engineering and Technology,* 2014. Vol. 5 (8). P. 169 – 177.
12. Web-Article: Overview of Greenhouse Gases USEPA. URL: [epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases](https://epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases) (accessed: 15.09.2022).
13. Web-Article: Mesh Networking сайту IEEE. URL: [standards.ieee.org/ieee/802.11s/4243/](https://standards.ieee.org/ieee/802.11s/4243/) accessed: 12.09.2022).
14. Web-Article: ZigBee сайту CSA. URL: [csa-iot.org/all-solutions/zigbee/](https://csa-iot.org/all-solutions/zigbee/) (accessed: 11.09.2022).