

РОЛІК О. І.,  
ТЕЛЕНИК С. Ф.,  
ЖАРИКОВ Е. В.

## УПРАВЛІННЯ РІВНЕМ ПОСЛУГ В СИСТЕМІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ З МІКРОХМАРНОЮ АРХІТЕКТУРОЮ

Интернет вещей – это новая технология, предлагающая качественно новые возможности для улучшения экономических показателей и производительности предприятий, для улучшения качества жизни потребителей и более эффективного использования информационных ресурсов. Предлагается подход к управлению уровнем услуг в системах IoT с микрооблачной инфраструктурой для обеспечения желаемого качества ИТ-услуг с рациональным использованием ИТ-ресурсов. Предложенный подход базируется на декомпозиционно-компенсационном подходе, в котором задачей оперативного управления качеством услуг является поддержание заданного уровня качества обслуживания с использованием минимального объема ИТ-ресурсов. При этом для эффективного использования ресурсов в системах интернета вещей при предоставлении ИТ-услуг в системе управления ИТ-инфраструктурой выделяются уровни координации услуг, планирования ресурсов и управления уровнем обслуживания.

The Internet of Things (IoT) is an emergent technology that offers great opportunities to enhance economic indices and productivity of enterprises, to improve the quality of consumers' lives, and to enable more efficient use of resources. The authors propose an approach to Microcloud-based IoT infrastructure management to provide the desired quality of IT services with rational use of IT resources. The proposed approach is based on decomposition-compensation method in which the task of operational service quality management is to maintain a given level of service quality with the use of minimum IT resources amount in IoT environment. It allows the efficient use of resources for IT services provision in IoT ecosystem through the implementation of service level coordination, resource planning and service level management processes in the IT infrastructure management system.

**Ключевые слова:** облако, микрооблако, декомпозиционно-компенсационный подход, распределение ресурсов, центр обработки данных.

### Введення

Интернет речей (англ. The Internet of Things, IoT) являє собою розгалужену мережу об'єктів, що мають засоби комунікації і обчислювальні потужності з метою виконання певних дій в оточуючому середовищі. IoT дозволяє впроваджувати та покращувати роботу таких важливих сервісів, як адміністрування міських (муніципальних) сервісів, закладів охорони здоров'я та освіти, управління міським транспортом та системами життєдіяльності. Успішне впровадження систем IoT значно залежить від якості сервісів, що надаються. Таким чином, актуальною є наукова та практична проблема розробки концепцій та підходів до управління ІТ-інфраструктурою IoT систем.

Сучасні системи управління ІТ-інфраструктурою (СУІ) представляють собою складні системи, що інтегрують рішення і технології від різних виробників. Зростаюча складність СУІ супроводжується зростанням вартості обслуговування ІТ-інфраструктури. Основною задачею системи управління IoT інфраструктурою є підтримка належного рівня ІТ сервісу за рахунок використання необхідної

кількості ресурсів ІТ-інфраструктури в умовах віртуальних, кластерних та розподілених середовищ при змінній інтенсивності запитів користувачів.

В статті запропоновано підхід до управління рівнем послуг в системах IoT з мікрохмарною (Micro cloud) інфраструктурою для забезпечення бажаної якості ІТ-послуг з раціональним використанням ІТ-ресурсів. Для підтримання належного рівня якості послуг ІТ шляхом використання і перерозподілу необхідної кількості ресурсів ІТ-інфраструктури запропоновано в системі управління використовувати декомпозиційно-компенсаційний підхід.

### Аналіз публікацій

IoT сервіси надають нові можливості у всіх сферах життєдіяльності людини, але створюють додаткові навантаження на ЦОД за рахунок постійного додавання все нових і нових пристроїв у мережі систем IoT, що призводить до зростання обсягів даних, які необхідно передавати та обробляти.

Щоб врахувати всі особливості і проблеми при розробці та впровадженні нових проєктів,

IoT підприємства повинні здійснити відповідні технологічні зміни, необхідні задля готовності існуючої IT-інфраструктури до зростання навантажень при обміні та обробці великих обсягів даних.

Європейський дослідницький кластер з питань IoT (IoT European Research Cluster, IERC) визначає інтернет речей наступним чином — IoT є динамічною глобальною мережевою інфраструктурою з властивостями самоконфігурування, що базується на стандартних протоколах. В цій інфраструктурі, фізичні та віртуальні пристрої ідентифікуються та визначаються в певному просторі імен, мають відповідні атрибути та властивості, використовують інтелектуальні інтерфейси та безшовно інтегруються в інформаційну мережу [1].

Значні наукові та практичні результати отримані в галузі розробки розумних (англ. Smart) систем для певних доменів та територіальних одиниць, наприклад, розумний дім (Smart Home), розумне місто (Smart City), розумний офіс (Smart Office) та ін. Еволюція технологій та нових рішень в цьому напрямку відбувається дуже стрімко [2]. Найбільші темпи розвитку треба відмітити в екосистемі машина-машина (Machine-to-Machine, M2M), яка потребує обробки великих обсягів даних, отриманих з сенсорів [3]. Згідно прогнозів, кількість IoT пристроїв збільшиться і досягне 212 мільярдів до 2020 року. Передача даних в мережі інтернет, що стосуються роботи IoT систем, досягне частки 45% від всього трафіку [4]. Збільшення кількості пристроїв в системах IoT впливає на конфігурацію ЦОД. Дослідницька та консалтингова компанія Gartner прогнозує до 2020 року підключення до мережі Інтернет 25 мільярдів пристроїв, що створить додаткове навантаження на комунікаційні канали та системи обробки й зберігання даних ЦОД. Для розробки технологій і сервісів в сфері IoT значні зусилля докладають лідери комп'ютерної індустрії, такі як IBM, Intel, Microsoft, Cisco, Google, Apple, Samsung та ін. Європейський союз також підтримує дослідження та інновації в галузі IoT для різних сфер життєдіяльності та галузей господарства.

Крім того, актуальною є задача розробки і дослідження нових підходів і методів з метою покращення роботи хмарних IoT сервісів. В роботі [5] представлені підходи до організації

та інтеграції інфраструктур і сервісів IoT в хмарному середовищі. Автори [6] проаналізували шляхи і засоби інтеграції IoT з хмарними середовищами, а також запропонували парадигму хмарного IoT. Потенційні можливості технологій IoT і хмарних технологій для задоволення потреб бізнесу у сфері виробництва та управління промисловими процесами досліджені в роботі [7]. В цій роботі автори запропонували інтегровану архітектуру системи виробничих сервісів, що поєднує в собі хмарні сервіси та технології IoT на виробництві.

Багато застосувань IoT не повинні залежати від особливостей місцезнаходження, потребують малих затримок при передачі даних та мобільності. При цьому дані повинні оброблятися в реальному часі. Це стосується даних, що впливають на прийняття оперативних рішень в середовищах з різними характеристиками подій в часі (транспортні рухи, паркування автомобілів, логістичні сервіси та ін.). В цих умовах актуальною проблемою є розробка і застосування систем, побудованих відповідно до концепції мікрохмари (Micro cloud, fog computing), яка передбачає створення нових застосунків управління даними та аналітики з метою розширення сфери використання парадигми хмарних обчислень та технології мереж доставки контенту (Content Delivery Network) на периферію мережі, ближче до споживачів та джерел інформації. Це дасть можливість наблизити відповідну частку ресурсів (обчислення, сховище, застосування, сервіси) до конкретних територій, на яких зосереджені елементи систем IoT, та кінцевих користувачів [8].

Потужність та кількість IoT сервісів, що надаються користувачам крупними провайдерми послуг, швидко зростає. Багато з цих сервісів працюють без зупинки взагалі. Це також призводить до накопичення, обробки і перерозподілу великих обсягів даних.

Таким чином, при створенні систем управління інфраструктурою IoT на базі мікрохмар для розгортання відповідних сервісів і застосувань необхідно забезпечити достатній рівень еластичності та належні характеристики взаємодії мікрохмар (або кластерів) із застосуванням відповідної мережі передачі даних.

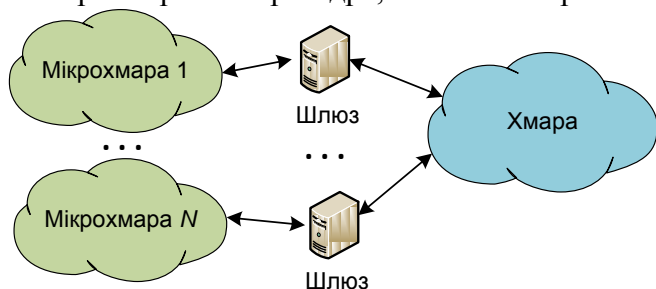
### Узагальнена модель системи IoT

IoT системи масштабу міста або великого регіону можуть охоплювати частину міста, області, країни. Враховуючи необхідність розподілу ресурсів між ядром системи та периферійними зонами, архітектуру IoT системи доцільно будувати за схемою, що поєднує хмару (англ. Cloud) та мікрохмари (англ. Micro cloud). До такого роду систем масштабу міста відносяться, наприклад, системи автоматизації паркування, моніторингу автомобільного трафіку, управління дорожнім рухом, управління камерами спостереження, управління комунальними сервісами та громадським транспортом. В цьому випадку мікрохмара може охоплювати адміністративний район міста або необхідну частину цієї території. Також, в залежності від вимог до безпеки, один адміністративний район може бути охоплений декількома мікрохмарами.

Разом з вертикальною взаємодією хмари та мікрохмари пропонується також горизонтальна взаємодія між відповідними мікрохмарами з метою забезпечення:

- мінімальних значень затримки передачі та обробки даних;
- заданої еластичності ресурсів;
- обміну даними між мікрохмарами в межах доменів безпеки та перерозподілу обчислень;
- мобільності мікрохмари;
- скорочення обсягів трафіку до хмари при великій кількості периферійних вузлів IoT;
- спільного використання даних і управління декількох мікрохмар при використанні розподілених застосувань реального часу.

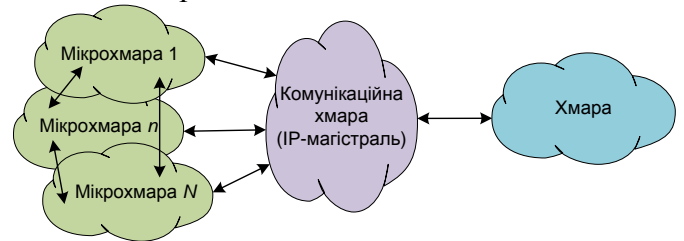
Загальна модель запропонованої архітектури для системи IoT, що базується на використанні  $N$  мікрохмар та хмари-ядра, показана на рис. 1.



**Рис.1. Схема взаємодії  $N$  мікрохмар з хмарою-ядром в системі IoT**

Схема обміну даними та інформаційної взаємодії між компонентами в системі IoT, що

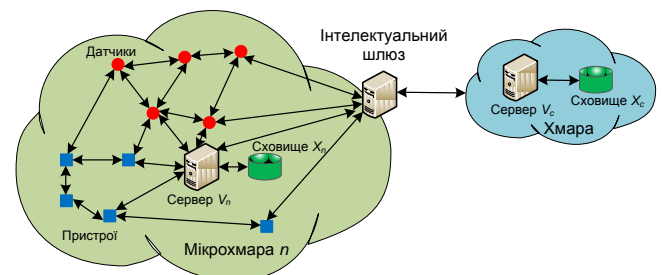
базується на використанні декількох мікрохмар, показана на рис. 2.



**Рис. 2. Схема можливих варіантів обміну даними між хмарою і  $N$  мікрохмарами**

Взаємодія датчиків та виконавчих пристроїв в складі  $n$ -ї мікрохмари  $M_n$ ,  $n = 1, N$ , де  $N$  – кількість мікрохмар в системі IoT, як між собою, так і з хмарою, може виконуватися через IP-магістраль або безпосередньо між мікрохмарами. В останньому випадку пропонується використовувати мережеві технології Wi-Fi, 3G, 4G, LTE, IEEE 802.15.4, Sensor-Net, WiMAX, Ultra-Wide Band, ZigBee, Bluetooth, 6LoWPAN для безпосередньої взаємодії між мікрохмарами.

Структура окремої  $n$ -ї мікрохмари  $M_n$ ,  $n = 1, N$  показана на рис. 3.

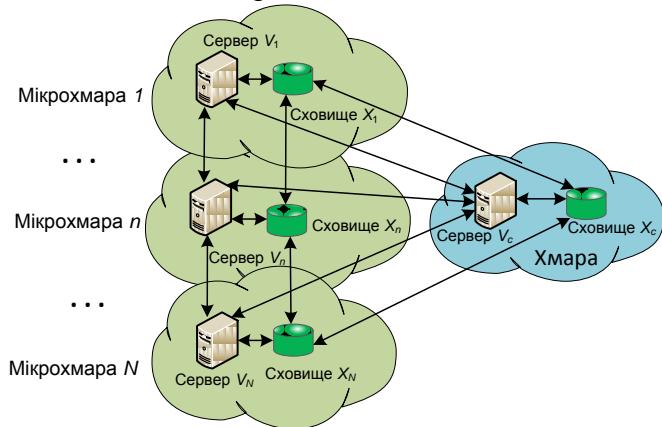


**Рис. 3. Структура окремої  $n$ -ї мікрохмари  $M_n$  та взаємодія з хмарою**

Мікрохмара  $M_n$  включає в себе локальний сервер (фізичний або віртуальний)  $V_n$  та локальне сховище  $X_n$ .

Взаємодія між елементами мікрохмари здійснюється за принципами самоорганізації в тимчасовій мережі, що спроектована і функціонує з урахуванням вимог технології зеленої мережі (англ. Green networking technology). Причому всі пристрої мікрохмари повинні задовольняти вимогам високої доступності із заданою затримкою виконання функції при включенні пристрою. У кожній мікрохмарі може не бути жодного або міститися один або декілька локальних серверів та сховищ в залежності від вимог до зберігання та обробки даних. При відсутності в мікрохмарі локального сервера обчислювальні задачі і

зберігання даних цієї мікрохмари виконується серверами і сховищами сусідніх мікрохмар або сервером і сховищем, що знаходяться в хмарі, як це показано на рис. 4.



**Рис. 4. Схема взаємодії локальних серверів і систем зберігання даних мікрохмар і хмари**

Локальні сервери і сховища мікрохмари у взаємодії з одним або декількома серверами в хмарі забезпечують функціонування розподілених додатків. Робота розподілених додатків спрямована на надання сервісу  $S_m$ ,  $m = \overline{1, M}$ , де  $M$  – кількість сервісів в системі IoT, що функціонує на базі хмари та мікрохмар.

При цьому необхідно вирішувати наступні задачі:

- оптимально розподілити завдання між мікрохмарами  $M_n$ ,  $n = \overline{1, N}$  і хмарою;
- розподілити функції між мікрохмарами і хмарою;
- розподілити ресурси між мікрохмарами і хмарою;
- оптимізувати інфраструктуру взаємодії мікрохмар та хмари, виходячи з вимог до сервісів та вартості ресурсів;
- виконати умови масштабування ресурсів та забезпечення еластичності;
- врахувати мобільність сенсорів та пристроїв;
- визначити та вести розрахунки значень метрик для обміну даними між мікрохмарами та хмарою;
- визначити та застосувати методи аналізу даних, аналітики реального часу, в тому числі для Big data;
- виконати декомпозицію та децентралізацію процесів управління;
- розробити принципи побудови та структуру системи управління хмарною інфраструктурою IoT;

– визначити методи управління безпекою, включаючи управління доступом, стійкістю до атак, шифрування, ідентифікації та захисту персональних даних;

– розробити інформаційну технологію і інструментарій для опису сервісів, об'єктів моніторингу та управління і інших компонентів IoT інфраструктури на основі мікрохмар та хмари.

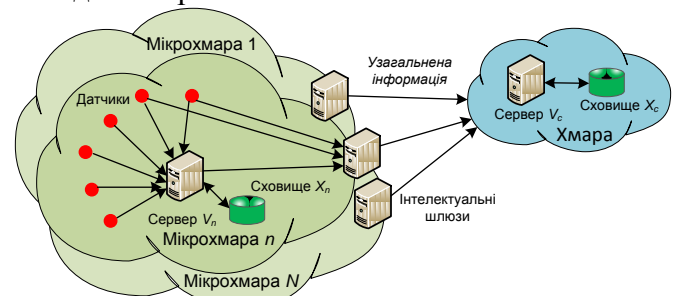
**Архітектура системи IoT, що базується на використанні мікрохмари**

Системи IoT масштабу міста пропонується умовно розділити на два великі класи:

- системи моніторингу;
- системи моніторингу та управління.

Системи моніторингу включають в себе міські системи, такі як системи моніторингу дорожнього руху, камери відеоспостереження, системи відстеження надзвичайних ситуацій, системи екологічного моніторингу і мікроклімату, системи моніторингу на робочих місцях та у приватних будинках. Основною задачею цих систем є збір даних для систем управління та прийняття рішень міського призначення. До систем моніторингу та управління відносяться міські системи, такі як системи паркування, управління громадським транспортом, надання послуг охорони здоров'я, управління ланцюжками поставок, системи пожежогашіння.

Структура системи IoT на основі мікрохмари, що здійснює глобальний моніторинг в масштабах міста, і напрямки потоків передачі інформації в такій системі наведені на рис. 5.



**Рис. 5. Структура глобального моніторингу в системі IoT на основі мікрохмари та хмари**

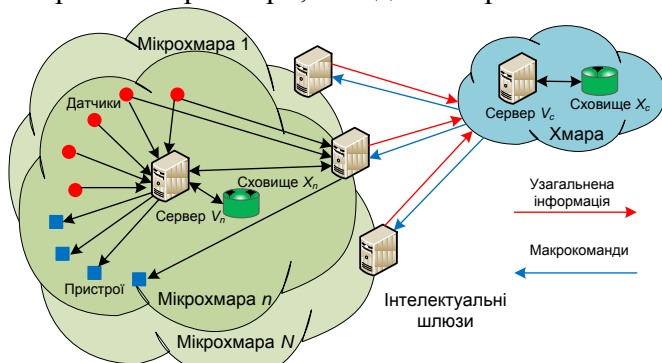
На рис. 5 в кожній  $n$ -й мікрохмарі дані надходять з датчиків, обробляються в сервері  $V_n$  і запам'ятовуються в сховище  $X_n$ . Узагальнена інформація результатів моніторингу в окремій мікрохмарі, отримана після обробки в

сервері  $V_n$ , надходить на сервер хмари  $V_c$  і в сховище хмари  $X_c$ . Сервери хмари, обробляючи інформацію моніторингу від усіх мікрохмар, надають можливість отримати глобальну картину в масштабах міста або регіону про стан контрольованих параметрів. Частина датчиків і пристроїв можуть безпосередньо передавати дані в сервер хмари.

Одна з найважливіших задач, яку потрібно вирішити при створенні системи IoT на основі мікрохмари та хмари, полягає у визначенні ступеня узагальненості інформації, що передається з мікрохмар до хмари. Передача всієї інформації, що надходить з датчиків без попередньої обробки локальним сервером в мікрохмарі може призвести до надмірної завантаженості каналів зв'язку. Велика ступінь узагальнення після обробки в локальному сервері мікрохмари призводить до скорочення обсягів даних, що передаються в хмару, але скорочення надмірності даних може привести до зниження точності глобального моніторингу, а попередня обробка сервером мікрохмари збільшує затримку отримання даних в хмарі.

Винятком є випадок, коли дані моніторингу не виходять за межі мікрохмари, обробка даних моніторингу повністю здійснюється в мікрохмарі, а в хмару передаються тільки дані, що перевищують встановлені пороги, а також повідомлення про надзвичайні або аварійні ситуації.

Структура системи IoT на основі мікрохмари, що здійснює глобальний моніторинг і локальне управління в зоні покриття мікрохмари, наведена на рис. 6.



**Рис.6. Взаємодія локальних серверів і систем зберігання даних в мікрохмарі та хмарі**

В системі глобального моніторингу і локального управління, що зображена на рис. 6, в кожній мікрохмарі здійснюється збір і попередня обробка даних моніторингу, що надходять з датчиків, розташованих в зоні дії

мікрохмари. Узагальнена інформація з мікрохмари надходить на сервер хмари, який формує макрокоманди або політики управління на основі даних, що отримані від усіх мікрохмар. Сформовані макрокоманди або політики управління надходять до мікрохмар, де сервери мікрохмар формують команди управління для локальних пристроїв. На частину локальних пристроїв команди управління можуть надходити безпосередньо з сервера хмари  $V_c$ .

### **Застосування декомпозиційно-компенсаційного підходу для управління якістю послуг в системі IoT на основі мікрохмари**

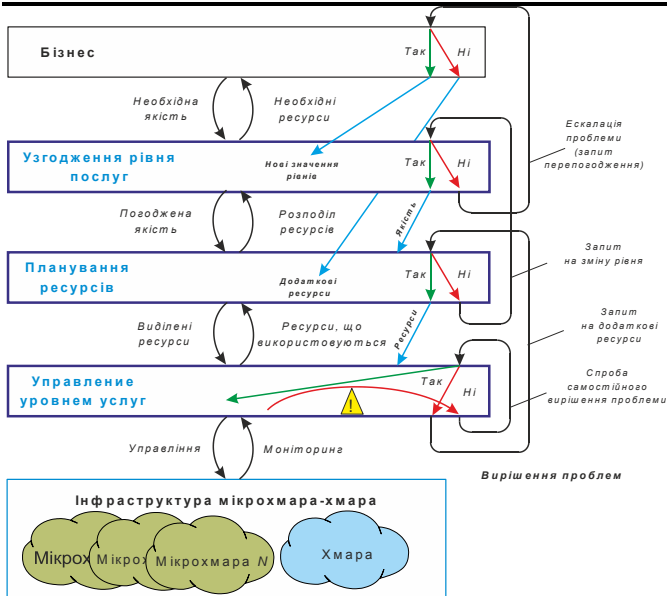
Рішення задач в системах IoT, що побудовані за архітектурою взаємодії мікрохмара-хмара, вимагає обчислювальних ресурсів і ресурсів зберігання даних. Такі ресурси є і в мікрохмарі, і в хмарі. Ресурси мікрохмари зазвичай обмежені, тому виникає проблема розробки методів розподілу завдань між мікрохмарою і хмарою для ефективного використання наявних в них ресурсів.

Для вирішення таких завдань при управлінні корпоративними IT-інфраструктурами в [9] запропонований декомпозиційно-компенсаційний підхід. Пропонується адаптувати декомпозиційно-компенсаційний підхід для вирішення завдань розподілу і перерозподілу ресурсів в системі IoT з архітектурою мікрохмара-хмара в такий спосіб.

Для забезпечення рентабельності бізнесу компаній, що працюють в сфері IoT, необхідно, щоб вони отримували множину  $S = \{s_i\}$ ,  $i = 1, K$  необхідних послуг IoT з максимальною якістю  $Q$  і мінімальними витратами  $c$ .

Управління рівнем послуг в системі IoT з архітектурою мікрохмара-хмара пропонується здійснювати інтегрованою взаємодією трьох процесів: узгодження рівня послуг, планування ресурсів і управління рівнем послуг, як це показано на рис. 7.





**Рис. 7. Взаємодія процесів при управлінні рівнем послуг в системі IoT з архітектурою мікрохмара-хмара**

Процес узгодження рівня послуг запускається з ініціативи бізнес-менеджерів системи IoT або замовників сервісу IoT і закінчується формуванням або оновленням елементів множини  $S$  і матриці  $Q = \|q_{ki}\|$ , елемент  $q_{ki}$ ,  $k = \overline{1, L_i}$ ,  $i = \overline{1, K}$ , якої відповідає значенню  $k$ -го показника якості  $i$ -ї послуги. Для функціонування послуг  $S$  їм виділяється сумарна кількість ресурсів  $r$  в системі IoT як у мікрохмарі, так і в самій хмарі. Отримане в результаті ресурсне забезпечення IoT у вигляді системи  $\langle Q, r \rangle \in$  основою для вирішення завдань на рівні нижче.

Процес планування полягає у виділенні і закріпленні за кожною послугою  $s_i$ ,  $i = \overline{1, K}$  частини ресурсів мікрохмари та хмари з ресурсів  $R_1, \dots, R_m$ , виділених для підтримки послуг. При цьому обсяги або кількість  $r_1, \dots, r_m$  ресурсів  $R_1, \dots, R_m$  відповідно, визначаються наступним чином:  $r_j = \sum_1^N r_j^{(M_n)} + r_j^{M_c}$ , де  $r_1^{(M_n)}, \dots, r_m^{(M_n)}$  – кількість ресурсу  $R_j$ ,  $j = \overline{1, m}$ , що виділені в мікрохмарі  $M_n$ ,  $r_j^{M_c}$  – кількість ресурсу  $R_j$ ,  $j = \overline{1, m}$ , виділених у хмарі. Одиниця  $j$ -го ресурсу має вартість  $c_j$ . При цьому  $c_j^{M_n}$  – вартість одиниці  $j$ -го ресурсу в мікрохмарі  $M_n$ ,  $c_j^{M_c}$  – вартість одиниці  $j$ -го ресурсу в хмарі.

Тоді кількість всіх ресурсів обчислюється як  $r = \sum_{j=1}^m r_j$ , а вартість  $c$  ресурсів визначається наступним чином:  $c = \sum_{j=1}^m r_j \cdot c_j$ .

Використання певними послугами призначених ресурсів задається матрицею  $P = \|\rho_{ij}\|$ , де  $\rho_{ij}$  дорівнює кількості виділеного послугі  $s_i$  ресурсу  $R_j$ ,  $j = \overline{1, m}$ , або 0, якщо ресурс не потрібен.

Процес управління рівнем послуг здійснює управління системою IoT так, щоб фактичні значення  $q_{ki}^*$ ,  $k = \overline{1, L_i}$ ,  $i = \overline{1, K}$  показників якості послуг відповідали узгодженим значенням з матриці  $Q$ , тобто, щоб виконувалася рівність

$$q_{ki} - q_{ki}^* = 0, \quad k = \overline{1, M_i}, i = \overline{1, K}. \quad (1)$$

Суть запропонованого способу організації управління рівнем послуг полягає в наступному.

При невиконанні умови (1) визначаються елементи матриці фактичних значень показників якості  $Q^* = \|q_{ki}^*\|$ , для яких  $q_{ki}^* < q_{ki}$ ,  $k = \overline{1, L_i}, i = \overline{1, K}$ . Система управління намагається вирішити задачу на нижньому рівні, змінюючи значення параметрів функціонування системи IoT або перерозподіляючи ресурси між мікрохмарою та хмарою так, щоб збільшити значення  $q_{ki}^*$ .

Якщо в результаті відновлювальних заходів вдалося забезпечити виконання рівності (1), то функціонування системи IoT триває з новими налаштуваннями. Якщо повноважень нижнього рівня недостатньо для досягнення (1), то здійснюється ескаляція проблеми на рівень планування ресурсів.

Процес планування ресурсів намагається вирішити проблему, використовуючи такі механізми:

- виділення в мікрохмарі або хмарі додаткових ресурсів  $R_1, \dots, R_m$  для послуги  $s_i$ , для якої виконується умова  $q_{ki}^* < q_{ki}$ . Для цього здійснюється локалізація конкретної мікрохмари або хмари, ресурси яких виявляються перевантаженими при наданні послуги  $s_i$ . Якщо в певній мікрохмарі або хмарі може бути виділений додатковий обсяг ресурсу, нестача якого послужила причиною зниження якості послуги  $s_i$ , то формується

матриця з новими значеннями елементів  $\mathbf{P}' = \|\rho'_{ij}\|$ , причому  $\rho'_{ij} > \rho_{ij}$ ,  $j = \overline{1, m}$ , або 0, якщо  $j$ -й ресурс не потрібен. Таким чином, для підтримки послуги  $s_i$  в мікрохмарі або хмарі виділяється додатковий обсяг ресурсу;

– якщо додаткові ресурси в даній мікрохмарі відсутні, то рівень планування ресурсів намагається виділити додаткові ресурси в інших мікрохмарах і переспрямувати в них частину завдань управління IoT, які до цього вирішувалися в проблемній мікрохмарі, передаючи туди ж для обробки і дані моніторингу, які збираються в проблемній мікрохмарі;

– якщо неможливо задіяти ресурси, які є доступними в інших мікрохмарах, то рівень планування ресурсів робить спробу виділити додаткові ресурси в хмарі;

– іноді в хмарі неможливо виділити додаткові ресурси. Це відбувається або через високу вартість додаткових ресурсів, що є малоімовірним, або через те, що в якості хмари використовується корпоративний обчислювальний центр власника системи IoT, ресурси якого зазвичай обмежені. Якщо в хмарі немає можливості виділити додаткові ресурси, то рівень планування ресурсів намагається зробити перерозподіл ресурсів між послугами, віддаючи ресурси більш важливим послугам за рахунок менш важливих. Якщо проблему вдається вирішити, то значення матриці  $\mathbf{P}' = \|\rho'_{ij}\|$  з новим планом закріплення ресурсів надходять на рівень управління рівнем послуг;

– якщо рішення проблеми на рівні планування ресурсів неможливе, проводиться ескалація проблеми на вищезрозташований рівень узгодження рівня послуг.

Необхідно відзначити, що коли ресурсів в мікрохмарі не вистачає, і задіюються ресурси або інших мікрохмар або хмари, то при цьому необхідно перерозподілити функції і завдання в інфраструктурі мікрохмара-хмара. Однак це може призвести до погіршення якості роботи мікрохмари і якості надання послуг системою IoT. При цьому можливий перерозподіл принципів вирішення завдань в мікрохмарі, коли частина високопріоритетних завдань виконується з високою якістю, а інші завдання виконуються з низькою якістю або зберігають свою функціональність з мінімально допустимою якістю.

Процес узгодження рівня послуг з ініціативи процесу планування здійснює перегляд

спочатку значення  $q_{ki}$ , для якого  $q_{ki}^* < q_{ki}$ , а потім, можливо, і значень всіх елементів  $q_{ki}$ ,  $k = \overline{1, L_i}$ ,  $i = \overline{1, K}$  матриці якості послуг  $Q$  у бік зменшення. Якщо вдається сформуувати матрицю  $Q' = \|q'_{ki}\|$  з новими значеннями показників якості послуг, то вона передається на рівень нижче, де проводиться вивільнення ресурсів і виділення їх для послуг, для яких виконується умова  $q_{ki}^* < q_{ki}$ ,  $k = \overline{1, L_i}$ ,  $i = \overline{1, K}$ .

Якщо процес узгодження рівня послуг не має повноважень для формування матриці  $Q' = \|q'_{ki}\|$ , то проводиться ескалація проблеми на рівень бізнесу, який змушений або згенерувати матрицю  $Q' = \|q'_{ki}\|$  з новими значеннями, або збільшити загальний обсяг ресурсів, що призводить до збільшення значень  $r_1, \dots, r_m$ .

Процеси, що виконуються при узгодженні рівня послуг, планування ресурсів і управління рівнем послуг, детально описані в роботі [9].

## Висновки

При розробці та впровадженні нових систем IoT необхідно враховувати вимоги та відповідні технологічні особливості, щоб існуюча IT-інфраструктура була здатна обробляти великі обсяги даних в реальному часі та адаптуватися до зміни робочих навантажень.

В статті пропонується підхід до управління інфраструктурою IoT на основі використання мікрохмари для забезпечення бажаної якості IT-послуг з раціональним використанням IT-ресурсів. Ефективність управління IT-інфраструктурою системи інтернету речей пропонується оцінити за якістю послуг та витратами на управління. Запропонований підхід базується на декомпозиційно-компенсаційному підході, в якому завданням оперативного управління якістю послуг є підтримання певного рівня якості обслуговування з використанням мінімального обсягу IT ресурсів. Це дозволяє ефективно використовувати ресурси для надання IT-послуг в системі інтернету речей шляхом виділення рівнів координації послуг, планування ресурсів та управління рівнем обслуговування в інтегрованій системі управління IT-інфраструктурою, а також визначенням функцій цих рівнів.

**Список літератури**

1. H. Sundmaeker, P. Guillemin, P. Friess, and S. Woelfflé, Eds. *Vision and Challenges for Realising the Internet of Things*/ Luxembourg: Publications Office of the European Union. – 2010.
2. A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash *Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications/ Communications Surveys & Tutorials*. – 2015. – vol. 17, no. 4. – pp. 2347–2376.
3. Beecham Research, [2017] “M2M Sector Map,” <http://www.beechamresearch.com/article.aspx?id=4>
4. J. Gantz and D. Reinsel. *The digital universe in 2020: Big data, bigger digital shadows, and biggest growth in the far east/ IDC iView: IDC Anal. Future*. – 2012. – vol. 2007. – pp. 1–16.
5. Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). *Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions/ Future Generation Computer Systems*. – 2013. – vol. 29, no. 7. – pp. 1645-1660.
6. Botta, A., De Donato, W., Persico, V., & Pescapé, A. *On the integration of cloud computing and internet of things/ The 2nd International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*. – 2014. – pp. 23-30.
7. Tao, F., Cheng, Y., Da Xu, L., Zhang, L., & Li, B. H. (2014). *CCIoT-CMfg: cloud computing and internet of things-based cloud manufacturing service system/ IEEE Transactions on Industrial Informatics*. – 2014. – vol. 10, no. 2. – pp. 1435-1442.
8. O. Vermesan and P. Friess. *Internet of Things - From Research and Innovation to Market Deployment/ River Publishers*. – 2014.
9. Ролик А.И. Декомпозиционно-компенсационный подход к управлению уровнем услуг в корпоративных ИТ-инфраструктурах / А.И. Ролик // *Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка: Зб. наук. пр.* – К.: Век+, – 2013. – № 58. – С. 78–88.