

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ І ГЛОБАЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО
ПРОСТОРУ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Іцкович Вікторія Євгенівна

УДК 004.043

ДИСЕРТАЦІЯ

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ
СТАНУ ДОВКІЛЛЯ ПРОМИСЛОВОГО МІСТА**

122 – «Комп'ютерні науки»

Галузь знань 12 – Інформаційні технології

Подається на здобуття ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

В.Є. Іцкович



Науковий керівник:
Трофимчук Олександр Миколайович
доктор технічних наук, професор, член-
кореспондент НАН України

Київ – 2023

АНОТАЦІЯ

Іцкович В.Є. Інформаційні технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» – Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національна академія наук України, Київ, 2023.

Дисертаційна робота присвячена розробці та удосконаленню загального підходу, моделей та алгоритмів для створення інформаційних технологій дослідження параметрів стану довкілля промислового міста.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, розглянуто зв'язок роботи з науковими темами та актуальними напрямками, сформульовані мета та задачі дослідження, розкрито наукову новизну та практичну цінність. Значну роль приділено аналізу робіт, націлених на вдосконалення розвитку технологій Інтернету речей і функціонуванню «розумних міст», які виступили фундаментом досліджень цієї дисертаційної роботи.

У першому розділі проведений теоретичний аналіз та огляд джерел за темою дослідження. Визначено, що одним з відкритих питань побудови інформаційних технологій дослідження параметрів стану довкілля промислового міста є питання аналізу відповідності моделі управління системним потребам об'єкта управління, хоча, при цьому, ретельно досліджуються вимоги до подібних систем, що знайшли своє втілення у «розумних містах» – електронних системах управління функціонуванням населених пунктів. Технології моніторингу стану довкілля націлені на відтворення поведінки системи таким чином, щоб попередити розвиток критичної події. Подібне реалізується через комплекс уніфікованих процедур, засоби автоматизації, алгоритми, моделі управління. Не зважаючи на широкий огляд зазначеного у досліджених джерелах, питання ефективного розміщення датчиків, використання моделей автоматизації, розробка алгоритмізації

окремих процедур залишаються не до кінця дослідженими. Можливість розміщення базових станцій на об'єктах комунальної власності, суцільне кодування даних, можливість під'єднання опорної мережі до міських серверів дає можливість побудувати надійну, незалежну, максимально закриту від втручань опорну мережу, та забезпечити бездротовий зв'язок з кінцевими пристроями по всьому місту завдяки сучасній LoRaWAN технології. Наведено приклад м. Києва у побудові такої мережі та обгрунтована її доцільність.

У другому розділі роботи представлені методологічні дослідження формування комплексу системних вимог для реалізації інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста. Зокрема, розроблена інформаційна модель процесу управління сучасного міста з врахуванням критерію часу, яка дає можливість при створенні технології усвідомити, що управління ситуацією є процесом підтримання балансу норм, регламентів та протоколів на засадах порівняння екстраполяції поточної ситуації до ідеальної ситуації за критерієм дотримання цільової функції.

Представлена системно-технологічна модель циклу управління безпековою складовою міста, як підсистеми складної системи, проведена класифікація процедур циклу управління щодо видів управлінської діяльності, досліджена відповідність процедур циклу управління змісту рішення та виконана класифікація вимог щодо адаптації рекурсивних об'єктів при розробці інформаційної технології.

Важливим для даного дослідження є закон різноманіття, що був сформульований У.Р. Ешбі. І якщо розглядати інформаційну модель процесу управління сучасного міста саме через цей закон, а саме, коли різноманіття станів системи більше або дорівнює станам системи великого міста, то можна систему забезпечення безпеки міста представити, як задоволення потреб наявними технологіями штатного та кризового управління в залежності від інформації, що надходить від конкретного дачача інформації. При цьому необхідно враховувати фактори багатомірності, нелінійності, неоднорідності,

що впливають на процес життєвого циклу об'єктів та процесів в системі, яка піддається моніторингу, що і надає явну перевагу технології LoRaWAN для реалізації моделей та алгоритмів в процесах управління безпекою великого міста.

Використовуючи наступні характеристики LoRaWAN можна побудувати інформаційну модель ситуаційного управління:

- LoRaWAN дозволяє керувати давачами виконавчими механізмами;
- між вузлами «зірки» та шлюзами відстань може складати декілька кілометрів;
- низьке енергоспоживання;
- простота, безпека та сумісні архітектури з системами керування, які вже можуть бути встановлені;
- стандарт в системі Інтернету речей.

Якщо під деякою невизначеною ситуацією розглядати стан з неповторюваних подій, то ситуаційне управління можна розглядати, як управління на базі оцінки поточної ситуації. Ситуація має чітко відрізнити міру достовірності та невизначеності інформації, що отримано з системи моніторингу об'єкта.

Специфіка предметної галузі організаційних систем криється в самій моделі процесу управління безпекою сучасного міста, як унікального об'єкта управління завдяки врахуванню в моделі не тільки специфічного регламенту функціонування, а й мотивації поведінки інших об'єктів управління та можливостей еволюції системи в часі. Для такого класу систем потрібен підхід, який на єдиній мові давав би змогу описувати сам об'єкт управління, регламент його функціонування та процедури управління ним. Саме таким підходом і є ситуаційний підхід.

У результаті проведеного аналізу системних ознак безпекової складової великого міста за умов невизначеності при змінах цільової функції було виявлено і доведено, що причиною зміни цільової функції безпекової складової міста може виступити надзвичайна ситуація: в штатному режимі

роботи відбувається контроль і моніторинг, у разі виникнення аварійної ситуації – локалізація, ліквідація, мінімізація наслідків та повернення до штатного функціонування. Також розроблена блок-схема комплексу процедур формування пулу інформації для осіб, що приймають рішення. Досліджені особливості щодо узгодженості інформаційної технології з потребами системи, щодо якої відбувається моніторинг параметрів стану. Визначені особливості структури записів у базі даних інформаційної технології для можливості порівняння з метою отримання міри невизначеності інформації, яка надається особам, що приймають рішення, для прийняття рішення і дозволяє визначити ефективність інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста.

У третьому розділі, з використанням методів математичного аналізу, представлені моделі та методи до створення сервісу формування пулу інформації із забезпеченням аналітичної функції та візуалізації. Зокрема, розглянуто поняття пулу інформації та наведені математичні основи до його формування з врахуванням набору фізичних чи віртуальних об'єктів для виконання однієї спільної функції. Прийнято до уваги, що в технології, яка розробляється, інформація пулу повинна формуватися за необхідністю (за запитом) і після цього її збереження не обов'язкове, адже множина первинних даних знаходиться в базі даних і в будь-який момент можна зробити новий запит на вибірку.

Створення інформаційного пулу може базуватися на наявній у базі даних інформації про ресурси та технології функціонування об'єкта спостереження. Для цього можна використати технологічні карти та мережні графіки процедур, що входить до стандарту специфікації LoRaWAN. Відповідні рішення ОПР щодо управління ситуаціями різних часових періодів також варто формалізувати із занесенням в базу даних.

У підсумку були визначені множини даних, якими оперуватиме ІТ дослідження параметрів стану довкілля промислового міста на базі технології LoRaWAN. На цій основі розроблені підходи з метою побудови вибірки для

створення пулу інформації. Наведена можливість реалізації цієї задачі мовами програмування з використанням стандартних бібліотек (наприклад, C#) без обмежень за розмірами. Також визначені вимоги до організації інформації в базі даних для отримання вибірок за запитом. Зокрема, розглянуто показник повноти інформації в системі управління джерелами (давачами) інформації, де неповнота ситуації визначається на граничному значенні, коли давач інформації перестав реагувати на запити. Показник несуперечності інформації при її надходженні від давачів визначений через порівняння ідентичних ознак у записах про різні види інформації, що належать до одного імені. Показник управління в реальному часі розглядається як результати здійснення моніторингу об'єкта спостереження на момент часу T .

Міра невизначеності інформації управління $E(x,y,q)$ розглядається як показник неповноти інформації для визначення ситуації та прийняття відповідних до ситуації рішень. Основний критерій оцінки стану об'єкта моніторингу визначається як здатність об'єкта управління функціонувати за призначенням. Відповідно до системного погляду на складну систему з позиції метасистеми (міста), можна визначити три види ситуації, за якими особи міста, що приймають рішення, потребують деталізації інформації і створення певної вибірки даних для прийняття рішення:

– локальна криза А – дані одного з давачів інформації значно відрізняються від даних інших давачів, розташованих у «зірці» (серед аналогічних кінцевих пристроїв, від яких йдуть дані на один сервер);

– локальна криза В – нездатність кінцевого пристрою реалізувати кілька своїх базових функцій в поточному функціонуванні (ймовірна несправність давача);

– криза С на масштабі життєвого циклу – інформація від давачів свідчить про наявність надзвичайної ситуації.

Показник ситуації на масштабі життєвого циклу буде фільтруватись із загальної суми неповних записів за ознаками належності записів до знань про життєвий цикл об'єкта.

Для реалізації поставлених в роботі задач проаналізований підхід із застосування рекурсивного копіювання даних для інформування та моніторингу стану об'єкта спостереження. Підхід реалізовано на прикладі системно-технологічної моделі циклу управління безпековою складовою міста, розробленої в попередньому розділі. Наведений аналіз номограм, за яким доведена ефективність застосування паралельної моделі інформування осіб, що приймають рішення, шляхом інформування пулів інформації про стан об'єкта спостереження. Представлений підхід до формування пакетів формалізації знань про складну систему, яка є об'єктом спостереження. Розроблені підходи до формування пакету інформації при зміні ситуації на об'єкті управління, подачі інформації через дашборди, та створення для цього інформаційних згорток.

У четвертому розділі розроблені моделі, алгоритми та реалізовані сервіси інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста. Зокрема, розроблено сервіс отримання інформації від давачів для наступної обробки та представлення через дашборди. Для цього було застосовано метод інформаційної згортки для забезпечення збереження всіх даних, що надходять у сховище, для їх подальшої обробки, вибору за запитом і візуалізації. Розроблений сервіс було реалізовано у інформаційно-телекомунікаційній системі «Платформа великих даних» та платформі цифрових мобільних сервісів «Київ Цифровий» для отримання та обробки даних від екологічних сенсорів Oizom Polludrone та Talkpool OY1210. Особливістю розробленого сервісу є розподіл даних за автоматичними чергами із обов'язковою фіксацією помилок для повторного опитування давачів. Результати формуються у вигляді HTTP кодів.

Розроблено алгоритм представлення рекурсивних структур даних для створення списків, кортежів з наступною програмною реалізацією вибору окремої інформації з масиву даних на основі машини Тюрінга. Представлено алгоритм реалізації рекурсивного дерева пошуку через функцію, яка формує дерево шляхом вбудови вузла із значенням (інформацією, списком), яке задане

для пошуку. Для цього запропонований та реалізований алгоритм, який спочатку дозволяє порівняти значення, яке потрібно вставити, як нову «інформаційну» гілку, із значенням у кореневому вузлу дерева. Потім реалізуються процедури порівняння та перебору, допоки не буде сформовано вузол (вибірка інформації) згідно заданого пошуку. Функція бере значення і дерево та повертає нове дерево, в яке вбудовано новий елемент із цим значенням (гілка на дереві).

У підсумку, на базі функціонального рівняння Беллмана була побудована модель оптимальної кількості датчиків системи моніторингу, які повинні зберігатися на складі для ремонту та обслуговування датчиків інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля. У підсумку був отриманий оптимальний план заміни датчиків системи по одному з районів м. Києва, із можливістю скорочення витрат у 31,9% на покупку і зберігання нових датчиків.

Результати роботи впроваджені у діяльність Спеціалізованого комунального підприємства «Київтелесервіс», що є провайдером мережі LoraWAN та всіх складових інтернету речей в м. Київ, для вдосконалення механізму систем опитування датчиків інформації – застосовано інформаційну модель поєднання різних рівнів управління датчиками та пристроями мережі та систему обмежень при моніторингу роботи окремих об'єктів, включаючи методику обробки даних, для обґрунтування необхідної кількості датчиків мережі за критерієм доцільної необхідності та можливості обслуговування і заміни, а також у навчальних цілях та Комунального підприємства «Головний інформаційно-обчислювальний центр» м. Києва, для вдосконалення сервісів обробки даних.

Ключові слова: інтернет речей, розумне місто, обробка даних, датчик, інформаційна згортка, інформаційний пул, рекурсивний алгоритм, кортеж, список, моніторинг навколишнього середовища.

ABSTRACT

Itskovych V.Ye. Information technologies for monitoring the parameters of the ecological state of the industrial city. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 122 "Computer Science" – Institute of Telecommunications and Global Information Space, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2023.

The dissertation work is about the development and improvement of the research approach, models and algorithms for the creation of information technologies for tracking the parameters of the industrial sector.

The work was highlighted by the relevance of those who looked at the connection between the work and scientific topics and current trends, formulated meta and research tasks, revealed scientific novelty and practical value. An important role is given to the analysis of work aimed at the thorough development of Internet of speech technologies and the functioning of “smart places”, which formed the basis for the research of this dissertation work.

The first section of work carried out a theoretical analysis and an overview of the research topic. It is determined that one of the most important power supply information technologies for monitoring the parameters of the industrial site is the analysis of the type of control model for the system needs of the control object , wanting, at the same time, to carefully trace back to similar systems that have found their home in “reasonable places” – electronic systems for controlling the functioning of residential areas. Monitoring technologies will increasingly focus on developing system behavior in such a way as to anticipate the development of critical areas. This is implemented through a set of unified procedures, automation features, algorithms, and control models.

Another section of the work developed methodological research and development of a complex of system benefits for the implementation of information technology for monitoring the parameters of the production plant. In addition, an information model has been developed for the process of managing a daily situation

based on the established criteria, which makes it possible, with the help of a new technology, to understand that the management of a situation is a process of maintaining balance. The norms, regulations and protocols on ambushes equalize the extrapolation of the flow situation to the ideal situation based on the criterion of achieving the goal function.

A subsystem of a folding system, a classification of procedures for the management cycle is carried out according to types of management activities, and the type of procedures for the cycle is monitored Management instead of decision and classification can be facilitated by the adaptation of recursive objects during the development of information technology.

The current characteristics of LoRaWAN can be derived from the information model of situational management:

- LoRaWAN allows you to interact with computer mechanisms;
- between the “star” nodes and the gateways you can add several kilometers;
- low energy consumption;
- simplicity, safety and comprehensive architecture with heating systems that can already be installed;
- standard in the Internet of speeches system.

If every unforeseen situation is viewed from its unique perspectives, then situational management can be viewed as management based on an assessment of the flow situation. The situation can clearly demonstrate the reliability and insignificance of the information that is removed from the object monitoring system.

The specificity of the subject matter of organizational systems is reflected in the model itself, the process of managing the safety of a daily place, as a unique control object, and not only the specific regulations of the functioning of the model. and the motivation of behavior of other control objects and the possibilities of system evolution in an hour. For this class of systems, an approach is required that, in a single way, can describe the control object itself, the regulations for its functioning and the procedures for managing it.

As a result of the analysis of systemic signs of a non-pitch warehouse, a great place for the minds of insignificance when changing the target function was revealed and brought to light that the reason for changing the target function of a non-peck warehouse This may result in a super emergency situation: in the normal mode of the robot there is control and monitoring, in case of an emergency situation – localization, liquidation, minimization of residues and return to normal operation. There is also a flowchart for a complex of procedures for forming a pool of information for individuals who make decisions.

Based on various methods of mathematical analysis, models and methods for creating a service for forming a pool of information with secure analytical functions and visualization are presented. We look at the concept of a pool of information and establish a mathematical basis for its formation with a set of physical and virtual objects for the creation of one specific function. It is accepted that in the technology that is being decomposed, the information pool must be formatted as necessary (at the request) and after this saving is not obligatory, even a lot of the original data is located in the database.

The creation of an information pool can be based on the resources available in the information database and the technology of the security object. For this purpose, it is possible to obtain technological maps and procedure schedules that are up to the LoRaWAN specification standard. Continuous operational decisions for managing situations at different time periods can also be easily formalized by entering them into the database.

The bag contains a large number of data that can be used by IT to monitor the parameters of the production site based on LoRaWAN technology. On this basis, a detailed approach is developed using the method of random sampling to create a pool of information. It is possible to implement this task using language programming using standard libraries (for example, C#) without limiting the size. It is also possible to organize information in a database for selecting selections by entry. We looked at the indicator of the completeness of information in the system for managing information sources, where the inconsistency of the situation is

indicated at the limit value, when the information providers stop responding to requests. An indicator of the non-superversity of information in the case of proper input of values through the alignment of identical signs in records about different types of information that belong to one name. The real-time control indicator is viewed as the results of monitoring the security object at the time of hour T .

Detailed models, algorithms and implementation of information technology services for tracking parameters of the production site. A service for extracting information from data providers has been developed for immediate processing and presentation through dashboards. For this purpose, a method of information storage was created to ensure the preservation of all data found in the storage for their further processing, selection and visualization. The expanded service was implemented at the information and telecommunications system "Great Data Platform" and the platform of digital mobile services "Kyiv Digital" for capturing and processing data from environmental sensors Oiz om Polludrone and Talkpool OY1210. The special feature of the developed service is the division of data into automatic transactions with obligatory fixation of replies for the re-training of donors. The results are generated using HTTP codes.

An algorithm for presenting recursive data structures for creating lists, tuples with the following software implementation of selecting individual information from a data array based on a Turing machine has been developed. An algorithm for implementing a recursive search tree through a function that forms a tree by embedding a node with the value (information, list) specified for the search is presented. For this, an algorithm is proposed and implemented, which first allows comparing the value to be inserted as a new "informational" branch with the value in the root node of the tree.

As a result, based on Bellman's functional equation, a model of the optimal number of sensors of the monitoring system, which should be stored in the warehouse for repair and maintenance for the uninterrupted operation of the service-oriented network, was built. An optimal plan for replacing system transmitters in

one of the districts of Kyiv was obtained, with the possibility of reducing costs by 31.9% for the purchase and storage of new transmitters.

The results of the work are implemented in the activities of the Specialized Utility Enterprise "Kyivteleservice", which is the provider of the LoraWAN network and all components of the Internet of Things in the city of Kyiv, to improve the mechanism of polling systems of information providers - an information model of a combination of different levels of management of providers and network devices and a system of restrictions at monitoring of the operation of individual objects, including data processing methods, to justify the required number of transmitters of the service-oriented network based on the criterion of reasonable necessity and the possibility of maintenance and replacement, as well as for educational purposes and the Municipal Enterprise "Main Information and Computing Center" of Kyiv, to improve data processing services.

Keywords: Internet of Things, smart city, data processing, sensor, information convolution, information pool, recursive algorithm, tuple, list, environmental monitoring.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Публікації у фахових виданнях:

1) Кряжич О.О., Ющенко К.С., Іцкович В.Є., Купрін О.М. Особливості алгоритмізації процесів мінімізації похибок апроксимації при вирішенні прикладних задач. Математичні машини і системи. – 2023 – №1 – сс. 118 – 129. **(кат. Б)**

2) Kryazhych O., Itskovych V., Iushchenko K., Hrytsyshyna V., Bruvier D., Nykytyuk V., Bodnarchuk I. (2023) The use of abstract moore automaton to control the sensors of a service-oriented alarm and emergency notification network. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 109, no 1, pp. 111–120. **(кат. Б)**

Публікації у виданнях, що входять до міжнародних науково-метричних баз:

3) Kryazhych, O., Itskovych, V., Iushchenko, K., Kuprin, O. (2023). Features in solving individual tasks to develop service-oriented networks using dynamic programming. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (4 (121)), 34–40. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023>. **(Scopus)**

4) Kryazhych, O., Kovalenko, O., Itskovych, V., & Iushchenko, K. (2023). The modeling of changes in the specific activity of tritium in plants. EUREKA: Physics and Engineering, (3), 3-14. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2023.002877> **(Scopus)**

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5) Іцкович В.Є. Можливості застосування мереж LoRaWAN для задач екологічної безпеки та розумних міст / Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в

надзвичайних ситуаціях: актуальні питання // Колективна монографія за матеріалами XVIII Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 01-02 жовтня 2019 р.) / За заг. ред. С.О. Довгого. – К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2019. – сс. 139 – 141. ISBN 978-617-7361-99-1

6) Іцкович В.Є., Бондар А.В., Серьожніков О.М., Василенко А.О. Технології адаптації швидкості передачі даних у мережах LoRaWAN / Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: тенденції 2020 року // Колективна монографія за матеріалами XIX Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 06-07 жовтня 2020 р.) / За заг. ред. С.О. Довгого. – К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2020. – сс. 118 – 119. ISBN 978-617-7854-27-1

7) Іцкович В.Є., Кряжич О.О. Інтернет речей в управлінні складними системами // XI наукова конференція «Наукові підсумки 2022 року». Збірка наукових праць. – Харків, Х.: Технологічний Центр, 2022. – сс. 19. e-ISBN 978-617-7319-62-6.

8) Іцкович В.Є. «Інтернет речей» в управлінні складними системами / Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток // Колективна монографія за матеріалами XXI Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 14-16 листопада 2022 р.) / За заг. ред. С.О. Довгого. – К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2022. – сс. 193 – 194. ISBN 978-617-7854-76-9

ЗМІСТ

ЗМІСТ.....	16
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	19
ВСТУП.....	20
РОЗДІЛ 1. ОРГАНІЗАЦІЯ ТА СПЕЦИФІКА ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ, МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ ДО СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ ПРОМИСЛОВИХ МІСТ	28
1.1 Віртуальні системи взаємодії речей та пристроїв для рішення основних проблем сучасного міста.....	28
1.2 Обмеження та вхідні параметри в системі «розумного міста».....	34
1.3 Підходи до реалізації поставлених задач із дослідження стану довкілля міста на базі технології LoRaWAN	39
1.4 Методика розробки моделей та алгоритмів інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста	46
1.4.1 Обґрунтування вибору технології	46
1.4.2 Логіка дослідження поставлених задач.....	50
1.4.3 Прийнята система обмежень в задачах дослідження.....	53
1.5 Висновки за розділом 1.....	55
РОЗДІЛ 2. ФОРМУВАННЯ КОМПЛЕКСУ СИСТЕМНИХ ВИМОГ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ	57
2.1 Інформаційна модель процесів управління безпекою сучасного міста...	57
2.2 Системно-технологічна модель циклу управління безпековою складовою міста, як підсистеми складної системи.....	64
2.2.1 Модель виконання функцій і задач управління.....	64
2.2.2 Інформаційна модель управління поточним функціонуванням.....	71

2.2.3 Підхід до моделювання штатної та кризової ситуації в життєвому циклі складної системи	74
2.3 Аналіз системних ознак безпекової складової великого міста за умов невизначеності при змінах цільової функції.....	76
2.4 Узгодженість інформаційної технології з потребами системи, щодо якої відбувається моніторинг параметрів стану.....	86
2.5 Висновки за розділом 2.....	89
РОЗДІЛ 3. СЕРВІС ФОРМУВАННЯ ПУЛУ ІНФОРМАЦІЇ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ АНАЛІТИЧНОЇ ФУНКЦІЇ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ.....	91
3.1 Визначення множин даних та побудова на цій основі вибірки для створення пулу інформації.....	91
3.2 Вимоги до організації інформації в базі даних для отримання вибірок за запитом.....	96
3.2.1 Показник повноти інформації в системі управління джерелами (давачами) інформації.....	96
3.2.2 Показник несуперечності інформації при її надходженні від давачів...	97
3.2.3 Показник управління в реальному часі.....	99
3.3 Застосування рекурсивного копіювання даних для інформування та моніторингу стану об'єкта спостереження.....	100
3.4 Підходи до формування пакетів формалізації знань.....	106
3.4.1 Формування пакету інформації при зміні ситуації на об'єкті управління.....	106
3.4.2 Формалізація знань через дашборди.....	110
3.4.3 Формування інформаційних згорток для дашборду.....	114
3.5 Висновки за розділом 3.....	119
РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ ОКРЕМИХ ЗАДАЧ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ ПРОМИСЛОВОГО МІСТА.....	121
4.1 Сервіс отримання інформації для обробки.....	121

4.2 Алгоритм представлення рекурсивних структур даних для створення списків, кортежів та рекурсивного дерева пошуку.....	130
4.3 Вирішення задачі програмування необхідної і достатньої кількості давачів інформації для об'єкта, що під'єднаний до мережі «розумного міста» на основі технології LoRaWAN	135
4.3.1 Виконання динамічного програмування розподілу необхідних давачів технології дослідження параметрів стану довкілля	135
4.3.2 Побудова моделі оптимальної кількості давачів системи моніторингу для оповіщення про надзвичайні (аварійні) ситуації.....	140
4.3.3 Формулювання принципу Беллмана та цільової функції для поставленої задачі.....	142
4.3.4 Безумовна оптимізація процесу заміни давачів в мережі.....	145
4.4 Висновки за розділом 4.....	147
ВИСНОВКИ.....	149
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	151
ДОДАТКИ.....	163
Додаток А Документи, що підтверджують впровадження результатів дисертації.....	164
Додаток Б Технічні вимоги на розробку ескізного проекту «Побудова опорної безпроводової мережі для створення систем раннього оповіщення від техногенних загроз, екологічного моніторингу».....	168
Додаток В Технічні вимоги. Інформація про необхідні технічні, якісні, кількісні та інші характеристики предмета закупівлі.....	176
Додаток Г Приклади лістингу кодів варіантів можливої програмної реалізації інформаційних пулів різними мовами програмування.....	186
Додаток Д Формування черг сервісу отримання інформації для обробки.....	190
Додаток Е Приклади виведення інформації на дашборди.....	193
Додаток Ж Лістинг коду реалізованого алгоритму на мові Haskell.....	195

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ATPW – конектор для прийому даних.

BW – пропускна здатність каналу.

CR – швидкість кодування.

CSMA – багаторазовий доступ із визначенням несучої.

DNS – система доменних імен.

DWH – сервіс прийому, підготовки інформації для обробки, обробки та сховища даних.

ED – кінцеві пристрої.

FEC – кодування з прямим виправленням помилок.

HEX – спеціальний формат файлів для передачі даних у текстовому вигляді.

HTTP – протоколи передачі гіпертексту.

LoRa – Long Range (далека дія).

LPWAN – Low-power Wide-area Network (енергоефективна мережа далекого радіусу дії).

SF – коефіцієнт розповсюдження.

TCP – протокол керування передачею даних.

IoT – Internet of Things (Інтернет речей).

IS – інформаційна система.

IT – інформаційна технологія.

КС – кризова ситуація.

MAC – мережевий протокол.

НП – надзвичайна подія.

НРП – норми, регламенти та протоколи.

НС – надзвичайна ситуація.

ОПР – особи, що приймають рішення.

ПАК – програмно-апаратний комплекс.

у.о. – умовні одиниці.

ШС – штатна ситуація.

ВСТУП

Цифровізація усіх сфер діяльності суспільства та країни вийшла на нові межі функціонування – стоїть задача із застосуванням сучасних інформаційних технологій не просто зробити будинок, місто, країну безпечними для людей, а й заздалегідь передбачити можливі негативні тенденції та загрози та спроектувати рішення, які допоможуть запобігти розвитку надзвичайної ситуації чи події. Особливо важливою ця задача стає у великих мегаполісах та промислових містах, які несуть певні техногенні загрози для людини та довкілля. Для вирішення цієї задачі недостатньо звичайної установки датчиків для контролю стану об'єктів спостереження. Ситуація вимагає створення інформаційних технологій на основі енергоефективних протоколів, які поєднують між собою пристрої та прилади, формуючи величезну мережу Інтернету речей, що складається із фізичних об'єктів, датчиків та мережею Інтернет. Такі мережі виконують роль унікального механізму, забезпечуючи єдність живого і неживого для своєчасного реагування на зовнішні та внутрішні загрози живій системі.

В роботі розглядаються інформаційні технології дослідження параметрів стану довкілля у місті Києві на основі специфікації LoRaWAN. Зазначена специфікація має широкосмуговий мережевий протокол LPWAN, який завдяки енергоефективності та малій потужності надає можливість підключати різноманітні датчики контролю, а сама технологія реалізації передбачає, що кожен датчик активується тільки у разі наявності інформації від об'єкта. Діапазон далекої дії передбачає функціонування системи за бездротовою технологією, а шлюзи до далекого сервера підключаються IP-з'єднаннями у якості «прозорого мосту», перетворюючи пакети інформації у потрібний формат даних.

Контроль за екологічним станом великих міст на базі енергоефективних протоколів далекого радіусу дії функціонує у багатьох країнах світу – США,

Франції, Іспанії, Швеції, Нідерландах, Китаї та інших. Як правило, «розумність» кожного окремого міста, де розгорнуті такі системи контролю і керування, не обмежується моніторингом одного напрямку. Подібні системи націлені на забезпечення громадської безпеки, здійснення екологічного контролю, ведення моніторингу для своєчасного реагування на будь-які можливі аварійні ситуації – від прориву водогону до аварії на дорозі або забезпечення упорядкування на паркувальних майданчиках. А враховуючи те, що кожне місто має свої особливості функціонування, свої «слабкі місця» в сфері транспортного обслуговування, різні рівні зносу комунікацій, індивідуальні параметри антропогенного чи техногенного впливу на довкілля, необхідність розробки нових інформаційних технологій дослідження параметрів стану довкілля для виконання задач кожного окремого великого міста є **актуальною**.

Зараз існує багато закордонних досліджень, націлених на вдосконалення розвитку технологій Інтернету речей (Acharjya D.P., Geetha M.K., Stephenson W.D., Ploennigs J., Cohn J., Stanford-Clark A. та інші) та функціонуванню «розумних міст» (Thomas, J.; Traukina, A., Shepard, M., Batty, M., Townsend, A., Moir, E., Zhou Y., Xiao F. та інші), які виступили фундаментом досліджень цієї дисертаційної роботи. Проте, в роботі враховані умови та підходи, характерні для розвитку зазначених технологій в Україні. Серед дослідників цього напрямку можна назвати Жураковського Б. Ю., Зеніва І.О., Гойка А. Ф., Єршову О. Л., Бажана Л. І., Приходька В. П., Єгорову О. О., Кропову А. С. та інших науковців, чиї роботи також знайшли свій розвиток у дослідженні.

Окремою ланкою йдуть розробки технологій для забезпечення безпеки проживання людини у місті виступають наукові доробки Трофимчука О.М., Довгого С.О., Биченка М.М., Красовського Г.Я., Радчука В.В., Бідюка П.І., які не лише досліджують проблеми природно-техногенної безпеки, а й надають змістовний математичний апарат для розвитку напрямку досліджень у цій сфері, що підкреслює **актуальність завдань** дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукова спрямованість дисертації відповідає законам України «Про наукову і науково-технічну діяльність», «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки», «Про інноваційну діяльність», узгоджується з основними положеннями проекту «Стратегії сталого розвитку України до 2030 року» та в цілому науково-технічній політиці України.

Окремі дослідження виконувалися в рамках наукової діяльності ІТГП НАНУ в межах науково-дослідних робіт «Розробка інформаційного інструментарію еколого-економічного прогнозування надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру з метою захисту об'єктів критичної інфраструктури» (№ ДР 0116U000797), «Розробка та обґрунтування регіональних критеріїв припустимих змін екологічного стану поверхневих вод, геологічного середовища, приземного шару атмосфери» (№ ДР 0117U000004), «Математичне моделювання, методи та інформаційно-комунікаційні технології для забезпечення стійкості критичної інфраструктури. Розділ 1. Розроблення математичних моделей, методів та технологій підтримки прийняття рішень забезпечення кібербезпеки та логістики критичних інфраструктур» (№ ДР 0123U100856).

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є розробка інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля в м. Києві.

Мета дослідження реалізується за допомогою наступних задач:

– *дослідити* особливості організації, специфіку існуючих підходів, методів та моделей створення сучасних інформаційних технологій дослідження параметрів стану довкілля з метою обґрунтування вибору специфікації LoRaWAN для реалізації в м. Києві для забезпечення безпечної життєдіяльності людей і довкілля, а також з врахуванням вимог до організації управління сучасним містом, визначення актуальних підходів та методів для вирішення задач дисертаційної роботи;

– *сформувати та обґрунтувати* комплекс системних вимог для реалізації інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля з

побудовою моделей процесу управління безпекою сучасного міста в залежності від ситуацій, які можуть виникнути в техногенному середовищі, системно-технологічної моделі циклу управління давачами, від яких отримується і передається інформація, інформаційної моделі поєднання різних рівнів управління давачами та пристроями мережі в залежності від ситуації на об'єкті спостереження, а також проаналізувати відповідність розроблених моделей системним потребам об'єкта управління, визначити систему обмежень для дослідження об'єктів пізнання, матрицю вхідних параметрів, методику обробки даних;

– *представити* підхід, який дозволяє сформувати пул інформації із забезпеченням аналітичної функції та візуалізації згідно запиту користувача, з визначенням вимог до організації інформації в базі даних для отримання вибірок за запитом, із застосуванням рекурсивного копіювання даних для інформування та моніторингу стану об'єкта спостереження для подачі інформації через дашборди;

– *обґрунтувати та розробити* алгоритми для вирішення окремих задач інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля, на цій основі створити сервіс отримання інформації від давачів для наступної обробки та представлення через дашборди, побудувати модель оптимальної кількості давачів системи моніторингу для оповіщення про аварійні ситуації для застосування цієї моделі при розробці інформаційної технології оповіщення про аварійні та надзвичайні ситуації.

Об'єктом дослідження роботи є процеси взаємодії пристроїв, під'єднаних в мережу на базі енергоефективних протоколів далекого радіусу дії LoRaWAN.

Предметом дослідження роботи є моделі, методи і алгоритми для створення інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста.

Методи дослідження. В роботі використовуються загальнонаукові та спеціальні підходи, сучасні методи до створення та організації мереж,

основаних на бездротових енергоефективних технологіях. Теоретичну основу дослідження складають базові положення щодо створення та організації інформаційних технологій Глушкова В.М., Поспелова Д.А., Вінера Н., Ешбі У., Кунца Г., О'Доннела С. Моделі та підходи до використання Інтернету речей при розробці «розумного міста» базуються на засадах теорії ймовірності й математичній статистиці, системному підході до вирішення складних задач, засадах алгебри логіки та методичних рекомендаціях з управління проектами в інформаційно-телекомунікаційній сфері. В роботі також використовуються інші методи дослідження в прикладному застосуванні та для обґрунтування поставлених задач.

Наукова новизна одержаних результатів міститься у наступних наукових положеннях, що виносяться на захист роботи:

1. *Уперше* визначено комплекс системних вимог для реалізації інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля великого міста з побудовою інформаційної моделі процесу управління сучасним містом з врахуванням критерію часу, яка дає можливість при створенні інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля усвідомити, що управління ситуацією є процесом підтримання балансу норм, регламентів та протоколів на засадах порівняння екстраполяції поточної ситуації до ідеальної ситуації за критерієм дотримання цільової функції;

2. *Уперше* розроблено сервіс отримання інформації від давачів для наступної обробки та представлення через дашборди із застосуванням методу інформаційної згортки. Особливістю розробленого сервісу є розподіл даних за автоматичними чергами, вичленування необхідної інформації та алгоритмізація процесу представлення стислої інформації про об'єкт дослідження;

3. *Дістав подальшого розвитку метод* рекурсивного копіювання даних для інформування та моніторингу стану об'єкта спостереження, який відрізняється тим, що базисом виступають компоненти управління безпекової складової міста, щодо яких формуються масиви інформації щодо параметрів

стану довкілля, з яких і відбувається формування пакетів формалізації знань за компонентами безпекової складової про складну систему промислового міста;

4. *Уперше* розроблено підхід до побудови моделі оптимальної кількості давачів системи моніторингу для оповіщення про аварійні ситуації для застосування цієї моделі при розробці інформаційної технології для оповіщення про аварійні та надзвичайні ситуації (з використанням функціонального рівняння Беллмана).

Достовірність та обґрунтованість результатів. Результати роботи є достовірними, оскільки їх було отримано за застосування науково-обґрунтованих методів, математичних та комп'ютерних експериментів, чисельного та імітаційного моделювання. Частина результатів була отримана на практиці при тестуванні окремих сервісів інформаційної технології та перевірена за допомогою статистичних методів дослідження.

Достовірність основних положень та результатів дисертації доведено:

- використання апробованих методів математичного та чисельного аналізу, статистичного спостереження та експерименту;
- використання сертифікованих давачів, застосованих при створенні мережі, спеціальних ліцензованих комп'ютерних програм;
- відповідністю результатів моделювання та результатів експерименту.

Наукові положення, висновки та рекомендації **обґрунтовані**, тому що базуються на класичних підходах до створення інформаційних технологій і методах математичного та чисельного аналізу, законах математичної логіки та спостереженнях математичної статистики. Розроблені алгоритми пройшли тестування на основі статистичних даних.

Практичне значення отриманих результатів. Особливістю вирішених задач є те, що запропонований підхід може бути використаний для розробки інформаційних технологій дослідження параметрів стану довкілля інших міст України, оскільки в роботі досліджена специфіка вітчизняного управління з врахуванням вимог інтеграційних процесів до Європейського Союзу, також

запропонований підхід може використовуватися для створення окремих сервісів прийому, передачі, обробки і збереження інформації при реалізації технологій Інтернету речей, «розумного міста», «розумного будинку» тощо.

Реалізація роботи. Результати досліджень використано:

1. В роботі Спеціалізованого комунального підприємства «Київтелесервіс», що є провайдером мережі LoraWAN та всіх складових інтернету речей в м. Київ, для вдосконалення механізму систем опитування давачів інформації – застосовано інформаційну модель поєднання різних рівнів управління давачами та пристроями мережі та систему обмежень при моніторингу роботи окремих об'єктів, включаючи методику обробки даних, для обґрунтування необхідної кількості давачів мережі за критерієм доцільної необхідності та можливості обслуговування і заміни.

2. В роботі Комунального підприємства «Головний інформаційно-обчислювальний центр» м. Києва, для вдосконалення сервісів обробки даних.

Документи, які підтверджують впровадження результатів досліджень, наведені в Додатку А.

Особистий внесок автора в роботи, опубліковані в співавторстві:

Автором самостійно отримані головні результати дисертаційного дослідження. В опублікованих у співавторстві наукових працях здобувачем здійснено: у роботі [92] – розроблена математична модель та проведена алгоритмізація процесів стосовно досліджуваної області реалізації; у статті [103] – розроблені алгоритми стосовно прикладних задач дисертаційної роботи та виконані математичні розрахунки; у статті [104] – виконані експериментальні дослідження стосовно застосування окремих підходів до управління давачами у мережі; у роботі [106] – збір та статистична обробка первинних даних, проведена апробація результатів, отриманих в результаті дослідження інших авторів, за допомогою розробленого сервісу отримання інформації.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертації представлялися у формі доповідей на конференціях: XVIII Міжнародній

науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: актуальні питання» (Київ, 01-02 жовтня 2019 р.); XIX Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (Київ, 06-07 жовтня 2020 р.); XXI Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток» (Київ, 14-16 листопада 2022 р.); XI науковій конференції «Наукові підсумки 2022 року» (Харків, грудень, 2022).

Результати дисертації виносилися на доповідь семінарів Інституту телекомунікацій та глобального інформаційного простору Національної Академії наук України під керівництвом доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента НАН України Трофимчука О.М. у 2023 році.

Публікації. Основні наукові результати дисертаційної роботи опубліковані у 6 публікаціях у професійних фахових виданнях: дві з них – статті, що проіндексовані в наукометричній базі SCOPUS; дві статті, що відносяться до журналу, який входить до категорії Б у затверджених МОН України виданнях. Загалом чотири роботи – у затверджених МОН України виданнях. Серед публікацій, які додатково відображають наукові результати дисертації, 4 надрукованих доповіді у матеріалах міжнародних наукових та науково-практичних конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота містить вступ, чотири розділи, висновки, додатки, список використаних джерел. Загальний обсяг дисертації – 197 сторінок, обсяг основного тексту – 142 сторінки. Робота містить 15 таблиць, 40 рисунків, додатки на 35 сторінках. Список використаних джерел складається зі 106 найменувань.

РОЗДІЛ 1

ОРГАНІЗАЦІЯ ТА СПЕЦИФІКА ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ, МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ ДО СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ ПРОМИСЛОВИХ МІСТ

1.1 Віртуальні системи взаємодії речей та пристроїв для рішення основних проблем сучасного міста

Інформаційні технології (ІТ), або інформаційно-комунікаційні технології, є системою методів, процесів та способів поєднання засобів обчислювальної техніки та зв'язку для перетворення інформації для організації діяльності людей [1]. Проте наведене визначення можна розширити, враховуючи модульний підхід до розробки програмного забезпечення зі змінними компонентами та функціональні сервіси реального часу у вигляді вебзастосунку [2], що дозволяють «приспосовувати» технологію до нових вимог, що виникають у сучасному технологічному світі.

Враховуючи викладене та аналізуючи сучасне розуміння Інтернету речей (Internet of Things або IoT) [3], як універсальне поєднання фізичних пристроїв [4] в мережу із можливістю розміщення вбудованих передавачів інформації та програмного забезпечення для передачі та обміну даними [5], можна ІТ розглядати як інтерактивні технології обробки та передачі даних з можливістю управління давачами інформації, що дозволить підключати давачі інформації тільки тоді, коли вони необхідні та проводити додаткову перевірку інформації. У цьому випадку концепцію IoT розглядати як базову для комплексної взаємодії окремих пристроїв в мережі, орієнтованої для вирішення окремих задач складної системи, де замість великої кількості операторів, які слідкують кожен за своєю ділянкою роботи, «працюють»

датчики, що моніторять стан та передають дані на сервер для обробки. Такий підхід вже використовують великі промислові підприємства [6], бо це дозволяє не лише вирішити проблему енерговитратності підприємств, а й принести окремий прибуток за рахунок пришвидшення обміну інформації для прийняття управлінських рішень [7].

І тут варто зазначити, що проблема енергоефективності є однією з головних пріоритетів роботи для органів місцевого самоврядування [8]. А блек-ауті останніх часів, пов'язані з активною фазою вторгнення військ російської федерації на територію України довели, наскільки це питання є актуальним. Тепер жоден проект, жодна робота комунальних служб чи організацій сфери забезпечення не розпочинається без оцінки енерговитрат [9].

Проте, коли стоїть задача забезпечення безпеки життєдіяльності будь-якого населеного пункту, а, особливо, великого міста, проблема енергоефективності дещо відходить на другий план [10], хоча не зникає, а підсилює свої акценти [11]. А об'єднати ці питання одним комплексним рішенням дозволяє об'єднання міських комунікацій, інформаційних технологій передачі даних, пристроїв IoT в рамках системи «розумного міста» (Smart City) [12].

Зазначені питання широко розглядаються закордонними дослідниками протягом останніх двадцяти років, хоча перші розмови про створення електронного забезпечення для відслідковування ситуації великого міста з'явилися у наукових колах у 1960 році [13]. Серед дослідників і розробників подібних систем можна вказати окрім М. Шепарда [12] науковців: М. Батля [14], А. Стратієгу [15], А. Товсенда [16], Е. Мойра [17], Дж. Віітаєна [18], С. П. Моханти [19], М. Каваду [20], А. Карагліу [21]. А серед останніх робіт варто зазначити працю китайських дослідників Йонга, Фана та Віпенга стосовно використання концепції «розумного міста» на базі технологій IoT для ефективного функціонування промислових міст Китаю [22].

Серед зазначеного ряду варто також підкреслити роботу [19], в якій окрім аналізу компонентів IoT із акцентом того, що не треба їх мати всі, – важливим є їх раціональне розміщення, – аналізується проблема «великих даних», які будуть отримуватися від цих встановлених компонентів. І якщо не враховувати це питання, то буде правильним відомий вислів академіка В. Глушкова про хаос [23].

У засобах масової інформації України іноді розбудова вітчизняних «розумних міст» залишається під сумнівом [24]. Принаймні, на найближчий період, з позначкою «розумне місто 1.0» у якості експерименту з поєднання датчиків, що сигналізують про проблеми, у локальну мережу. Однак останнім часом появився ряд концептуальних розробок українських вчених, зокрема: О.Л. Єршова та Л.І. Бажан представили детальний опис багатокomпонентної моделі розумного міста [25], В.П. Приходько дослідив ресурсний потенціал з показом перспектив і переваг для України [26], О.В. Тур – наявні підходи «розумності» міст для завдань сталого розвитку територій [27]. Але як можна зазначити із наведеного переліку, українські дослідження більше розкривають економічну та стратегічну складову «розумних міст», що існуватимуть завдяки інтернет-технологіям, без поглиблення у технічні складові та питання практичної реалізації. Хоча, як відомо [12], кожні міста мають свої особливості і не можна створити ідентичні сервіси управління містом для двох різних міст.

Це обумовлено наступним.

Модель комплексної взаємодії з управління будь-яким складним об'єктом є певним алгоритмом дій в залежності від ситуації, що склалася. Процес управління відбиває системні потреби об'єкта управління в дотриманні балансу статичної (ресурси, інфраструктура) та динамічної (регламент) складової для забезпечення сталої роботи. Балансування параметрів об'єкта визначає ситуацію штатного функціонування або кризових явищ. Для оцінки ситуації, що, наприклад, відбулася в місті десь на вулиці (припустимо, прорив водогону) (рис. 1.1 – а), потрібен критерій однаково зрозумілий всьому персоналу, що буде виконувати ремонтні роботи

(наприклад, розмило частину дороги або затоплює поверх багатоповерхівки). Проте, якщо використовується датчик, який передає сигнали для аналізу роботи цієї підсистеми (водогону) (рис. 1.1 – б), інформація про розмиття дороги є абстрактною. Тобто, датчик може передавати інформацію в якомусь діапазоні, яка в системі буде ранжуватися «функціонує за призначенням – аварійна ситуація». Ось це поняття «функціонування за призначенням» і відбиватиме природу цільової функції роботи підсистеми, за якою ведеться моніторинг.



а) Аварійна ситуація – прорив водогону



б) Датчик, який передає сигнали для аналізу роботи підсистеми (водогону)

Рисунок 1.1 – Оцінка аварійної ситуації за критерієм функціонування за призначенням

Порівняльна оцінка цільової функції поточного функціонування об'єкта з цим критерієм дає однозначне тлумачення щодо визначеності ситуації на

об'єкті. Враховуючи, що процес моделювання ситуації за даними, отриманими від датчиків буде ситуативним [28], чітко визначені ознаки ситуації будуть давати можливість управлінцям змодельовати розвиток події [29]. Тоді ефективність всієї системи взаємодії речей та пристроїв через мережу буде визначатися здатністю привести підсистему, що вийшла з ладу до штатного режиму роботи. А це, у свою чергу, примушує враховувати при моделюванні ситуації параметри:

- призначення та типові завдання підсистеми, щодо якої відбувається моніторинг роботи;

- ресурси, без яких підсистема працювати в штатному режимі не може;

А обмеженнями в цьому випадку виступлять умови регламенту штатного функціонування підсистеми.

Тобто, розробляючи інформаційну технологію дослідження параметрів стану довкілля з використанням IoT в рамках концепції «розумного міста» слід розуміти, що невідповідність отриманої системою інформації від датчиків цим системним вимогам створює умови неможливості виконання завдання з моделювання. Ігнорування таких системних обмежень призведе до виникнення кризи на об'єкті дослідження. Модель управління повинна реалізовувати процедури вхідного та вихідного нормоконтролю і на технологічному рівні сприяти уникненню кризових явищ, що пов'язані із безсистемним керуванням [30].

У відкритих публікаціях дослідження відповідності моделі управління «розумним містом» системним потребам об'єкта управління зустрічається фрагментарно, хоча чітко зазначається необхідність ретельно дослідити всі вимоги конкретного міста, де розгортається подібна система [19]. Але інтегрувати необхідні знання для створення такої інформаційної системи

можна з прикладних системних досліджень галузях кібернетики, інформатики, математики та проектування. Зокрема:

- роботи Н. Вінера [31], У.Р. Ешбі [32], В.М. Глушкова [23], що стали класикою в інформатиці і кібернетиці;
- дослідження М.М. Биченка [33] стосовно моделювання у сфері природно-техногенної безпеки;
- розробки С.О. Довгого, О.М. Трофимчука, П.І. Бідюка у сфері інформаційних технологій для моделювання, у тому числі екологічного моніторингу [34 – 35];
- математичні основи розробки інформаційних технологій при моделювання систем підтримки прийняття рішень О.М. Трофимчука та С.О. Довгого [36];
- методологію системного аналізу М.З. Згуровського [37].

Теоретичний огляд досвіду розробки та впровадження «розумних міст» в різних країнах світу, широке використання IoT у всіх сферах управління, нові підходи та методи в математичному моделюванні, системному аналізі та екологічному моніторингу дають розуміння комплексу питань, які треба вирішити в процесі розробки інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля. А саме:

- дослідити можливі до застосування енергоефективних протоколів мережі, здатних виконувати свої функції при мінімальних енерговитратах з метою вибору найбільш оптимального для виконання задач розробки;
- визначити комплекс системних вимог до інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля;
- сформулювати математичний базис інформаційної технології: визначити систему обмежень для дослідження об'єктів пізнання, матрицю вхідних параметрів, методику обробки даних для формування пулу інформації за запитом;
- реалізувати сервіс отримання інформації для обробки, розробити алгоритм представлення рекурсивних структур даних для створення списків,

кортежів, рекурсивного дерева пошуку, вирішити задачу оптимізації необхідної й достатньої кількості давачів для обслуговування та ремонту мережі, яка надає інформацію про параметри стану довкілля промислового міста.

1.2 Обмеження та вхідні параметри в системі «розумного міста»

Місто є складною системою з багатьма обмеженнями та невідомими. Побудова алгоритму для реалізації інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля з вирішення окремих задач великого мегаполісу потребує аналізу всіх особливостей системи, які можуть виступати окремими керуючими впливами, обмеженнями та параметрами у підсумковій моделі.

Слід зазначити, що в технологіях управління складними системами мало враховується ситуаційна природа всіх аспектів управління. Як правило, розглядаються лише умови ліквідації кризових явищ [43]. У переважній більшості існуючих систем управління організаціями є невизначеними умови переходу від штатного до кризового управління та особливості цих технологій управління. Тому системи управління не ефективні як у питаннях попередження кризи, так і у питаннях ліквідації її наслідків. Технологія управління містом природно є ситуаційною, але в більшості розроблених систем для «розумних міст» регламентом функціонування персоналу визначається лише та частина технології управління, яка реалізує завдання функціонування певних служб та сервісів за призначенням.

У цьому дослідженні таке управління визначається як технологія штатного управління. Частина технології управління, яка реалізує завдання ліквідації порушень встановленого регламенту функціонування служб та

сервісів, що можуть привести або призвели до кризових явищ, наведена як технологія кризового управління.

Кризове управління взагалі не відбивається в проектній документації на розробку системи «розумного міста», організаційних директивах, настановах користувачам, описах робочої документації. Замість кризового управління в практиці формулюється багато різних заходів безпеки щодо використання ресурсів та технологій функціонування (заходи пожежної безпеки, безпеки руху та ін.). Тобто самі процедури процесу управління більшості ІТ спрямовані тільки на штатне управління. Їх автоматизація не призведе до покращення ефективності управління, якщо процедури попередження кризи (штатне управління) та процедури ліквідації кризи (кризове управління) не будуть гармонійно пов'язані в єдину електронну технологію управління і будуть адекватно сприйматись керівництвом міста відповідно до ситуації, що відбувається в складній багатокомпонентній системі.

Уявлення про таку систему, та входні параметри, можна отримати за М. З. Згуровським та Н. Д. Панкратовою [37]. Накладаючи це розуміння на діяльність міста, функціонування складної системи характеризуватиметься описом ситуацій, які показують стан системи: S_1, S_2, \dots, S_n , де кожна ситуація S_n задана конкретними показниками процесів функціонування системи (Y_n, X_n, U_n), впливом зовнішнього середовища та факторів ризику E_k за допомогою кон'юнкції (\wedge):

$$S_n = \{(Y_n \in Y) \wedge (X_n \in X) \wedge (U_n \in U) \wedge (E_n \in E)\}. \quad (1.1)$$

Звичайно, що система міста функціонує в часі, має життєвий цикл. І, навіть, кожна ситуація, надзвичайна подія, також має свій життєвий цикл. Значення показника в момент часу $T_n \in T^\pm$ визначають, відповідно, відношення:

$$\begin{aligned}
Y_s &= \hat{Y}[T_s]; X_s = \hat{X}[T_s]; U_s = \hat{U}[T_s]; \Xi_s = \hat{\Xi}[T_s]; \\
T_s &= \{t_s | t_s > t_{s-1}\}; T_s \in T^\pm; T^\pm = \{t | t^- \leq t \leq t^+\}; \\
Y &= (Y_i | i = \overline{1, m}); X = (X_j | j = \overline{1, n}); \\
U &= (U_q | q = \overline{1, Q}); \Xi = (\Xi_p | p = \overline{1, P}),
\end{aligned} \tag{1.2}$$

де:

Y – множина зовнішніх параметрів Y_i , яка утримує всі показники якісного функціонування системи, у тому числі – безпечного функціонування;

X – множина внутрішніх параметрів X_j , до складу якої входять конструктивні, технологічні та інші показники;

U – множина керуючих параметрів U_q ;

Ξ – множина параметрів впливу зовнішніх факторів Ξ_p та факторів ризику;

$\hat{Y}[T_s], \hat{X}[T_s], \hat{U}[T_s], \hat{\Xi}[T_s]$ – множина значень відповідних параметрів в час T_s ;

T^\pm – заданий або прогнозований період функціонування внутрішнього середовища.

Кожен датчик-передавач IoT у такій системі є точкою-джерелом інформації, яка характеризує стан системи у конкретний момент часу. Інформація, яка отримується, порівнюється з даними, що характеризують межі стану «штатний – критичний», тобто, перехід показника за певні межі є мірилом до застосування спеціального алгоритму дій. Враховуючи це, до системи (1.2) можна ввести ще одне рівняння:

$$J'(S, t) = \|i(S_l, t)\|_{l=1}^p, \tag{1.3}$$

де:

J' – оброблена інформація про стан системи;

S_l – один із датчиків системи (джерела інформації), де $l = 1, \dots, p$;

$i(S_l, t)$ – інформація, яка отримується від датчика;

t – момент часу, на якому є передача актуальної інформації про стан системи;

i – отримана інформація від датчика.

Додавання до системи рівнянь (1.2) рівняння (1.3) дає можливість сприймати «розумне місто» як деякий прототип штучного інтелекту, що функціонує за заданими алгоритмами на основі інформації, яка надходить від датчиків. Тоді модель (1.1) можна представити наступним чином:

$$S_n = \{(Y_n \in Y) \wedge (X_n \in X) \wedge (U_n \in U) \wedge (E_n \in E) \wedge (J_n \in J)\}. \quad (1.4)$$

Але у даному випадку інтелект на основі IoT слід розглядати з позиції агрегованої інформації про цільову функцію, яка визначається через функціональні повноваження персоналу різних рівнів, що виконуватимуть дії з приведення стану системи у відповідність до штатної, на місцях, через формалізовані процедури процесу управління. Саме це і можна використати для економічного обґрунтування розробки інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля великого міста.

Розглядаючи систему (1.4) варто приймати до уваги, що занадто формалізовані процедури можуть висувати вимоги додаткових обмежень в процесі моделювання. Так, з позиції теорії управління активними системами технологію з різними сервісами, що слугують для збору і обробки інформації, ще ніхто не розглядав. Але теорія управління дає системні засади для інтеграції в єдиний процес питань керування ресурсами, персоналом, процесами складної системи і визначає залежність ефективності управління від мотивації керівних дій персоналу [38]. Інформаційна технологія дослідження параметрів стану довкілля слугує для інформування про стан, події чи проблеми, що виникли чи можуть виникнути при виході окремих параметрів системи за встановлені обмеження. Задача створення ІТ такого плану – попередити настання події, або в крайньому випадку, швидко локалізувати аварійну ситуацію та ліквідувати наслідки її настання. Тому в моделюванні інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля обмеженнями виступають саме показники рівня загрози для критерію

якості функціонування об'єкту, які можуть бути представлені у вигляді цільової функції. Саме тому при розробці ІТ дослідження параметрів стану довкілля великого міста увага зміщується на усвідомлення комплексу проблем, які пов'язані з відповідністю існуючої технології управління реальним потребам об'єкта управління з урахуванням існуючих обмежень.

Обмеженнями в системі також можуть виступити нечіткі умови задачі.

В.М. Глушков вчив [39], що управління, яке здійснюється переважно на засадах невизначеності та з опорою на нечітку інформацію, є шляхом до деградації об'єкта управління. Зростання ефективності управління можливе лише на шляху створення системи управління реального часу з повним спектром параметрів моніторингу об'єкта, тобто на шляху наближення до об'єктивного управління. Крім того, якщо управління базуватиметься на неактуальній інформації, яка в значній мірі не відповідає реальному стану ресурсів та регламенту функціонування об'єкта на момент прийняття рішення, керуючі стимули системи управління не будуть адекватними потребам об'єкта управління. Це обумовлено моделлю моніторингу стану об'єкта, яка повторює ієрархію підпорядкованості елементів об'єкта за повноваженнями. Традиційно [40] модель моніторингу будувалась на принципах повторення структурної ієрархії системи, де інформація про стан ресурсів та регламент функціонування подавалась до органу управління від об'єктів управління через процедуру агрегації даних моніторингу. В активних системах, де є від трьох до дев'яти рівнів ієрархії (уряд, міністерства, промислові галузі), інформація надається за станом на тиждень, місяць, квартал, рік за різними ознаками. В звітах агрегуються навіть одиниці виміру. Така інформаційна модель моніторингу свідчить, що орган управління має працювати із застарілою та викривленою інформацією, на базі якої вищі ланки керівництва мусять приймати оперативні та стратегічні рішення. Наявність чергових, оперативних та диспетчерських служб дещо поліпшує адекватність сприйняття ситуації в поточних процедурах оперативного управління, але стратегічні рішення все рівно будуть прийматися на застарілій та викривленій

інформації. Уваги з боку органу управління уникає поточний некомплект ресурсів, поточні порушення регламенту функціонування об'єкта, що значно погіршує якість управління і не може бути виправленим без зміни базової моделі моніторингу для створення ефективної ІТ дослідження параметрів стану довкілля промислового міста.

Під ефективною технологією моделювання в даній роботі розуміється відтворення поведінки системи таким чином, щоб попередити розвиток критичної події. А це, в свою чергу, потребує визначення уніфікованих процедур для реалізації засобами автоматизації. Сучасні проекти зі створення управлінських ІТ намагаються реалізувати процедури планування через конкретні програмні реалізації існуючих варіантів плануючих документів [42]. У разі зміни структури або змісту плануючого документу його програмна реалізація морально старіє і потребує значної переробки. В сучасних умовах глобальної перебудови соціальних, державних та муніципальних відносин виникла проблема пошуку таких технологічних рішень, які на більш абстрактному рівні агрегують модель управління для реалізації її процедур в інформаційних технологіях, призначених для підвищення ефективності управління.

Розуміння наведених проблем та їх наслідків викликає наукову необхідність їх дослідження та вирішення на науковому та технологічному рівні.

1.3 Підходи до реалізації поставлених задач із дослідження стану довкілля міста на базі технології LoRaWAN

В останні роки технології Інтернету речей привертають значну увагу як промисловців та підприємців, так і дослідників, бо дозволяють приєднувати до Інтернету велику кількість пристроїв з обмеженими ресурсами [42]. IoT має

значний потенціал підтримки різноманітних додатків, в тому числі – «розумне місто», системи оповіщення про виникнення загроз та надзвичайних ситуацій, моніторинг стану різноманітних об'єктів та навколишнього середовища.

У теперішній час виділяють чотири передові технології IoT, які є актуальними у теперішній час через низьку потужність енергоефективних глобальних мереж далекого радіусу дії (LPWAN). Якщо порівнювати це з технологіями, наприклад, мережевого або бездротового зв'язку малого радіусу дії, то LPWAN може забезпечити підключення:

- а) на значні відстані;
- б) приладів IoT з низьким енергоспоживанням та швидкістю передачі даних [43].

Для вирішення міських питань збору та передачі інформації з можливістю подальшої обробки задля активізації/коригування дій різноманітних служб міста підходять: а) LoRaWAN; б) NB-IoT; в) LTE-M; г) SigFox [44].

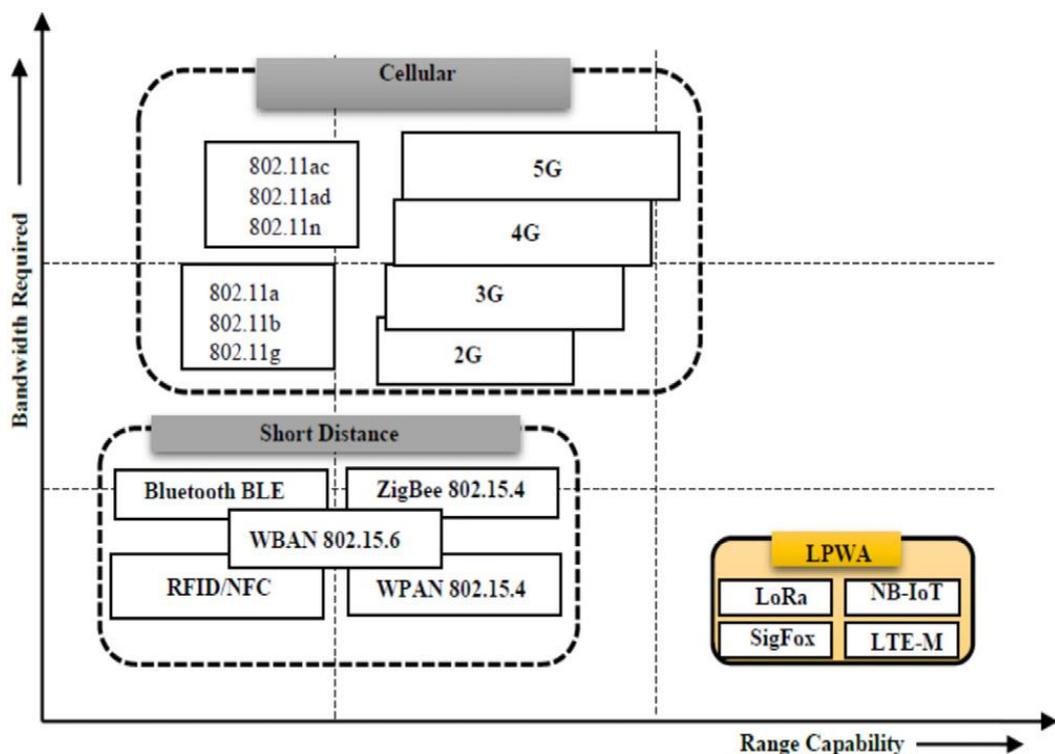


Рисунок 1.2 – Місце LPWAN серед інших бездротових технологій

Тобто, LPWAN дозволяє охопити багато пристроїв з обмеженим енергоспоживанням, які час від часу передають повідомлення з даними на значні відстані (рис. 1.3).

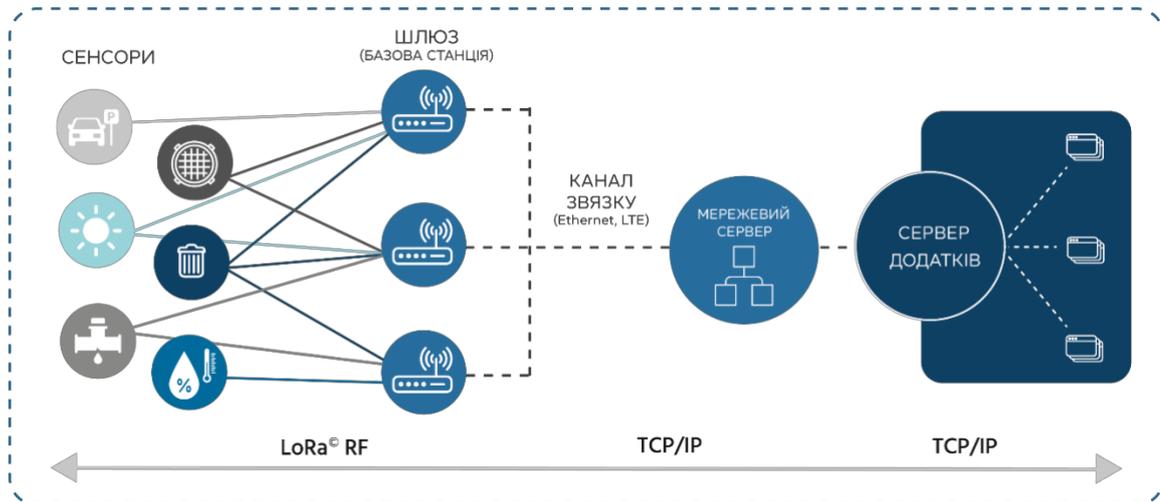


Рисунок 1.3 – Поєднання пристроїв з обмеженим енергоспоживанням в мережі LPWAN

Серед переваг бездротової технології LoRaWAN, що має відкритий стек протоколів для роботи на фізичному рівні LoRa (Long Range) у неліцензійних діапазонах [45] є:

- низьке енергоспоживання;
- простота керування;
- робота до 10 км. у міських умовах;
- безпечність технології для містян.

Ці умови роблять зазначену технологію перспективною для розробки інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста для контролю станів мереж, роботи служб та комунальних сервісів (рис. 1.4).

Проте, є і недолік зазначеної технології – обмежений масштаб роботи [7]. Так, згідно специфікації LoRaWAN, більшість пристроїв використовують простий протокол доступу до каналу, що базується на підході, аналогічному до роботи через VPN. Особливістю реалізації є те, що допоки є дані, прилади

передають без обмежень свої пакети. Це – простий механізм контролю доступу до середовища через мережевий протокол (MAC). Він підходить для моніторингу, роботи з додатками, які не потребують постійної передачі даних, але як тільки збільшується кількість пристроїв або навантаження на мережу, цей протокол стає неефективним. Неефективність проявляється у тому, що виникає велика доля ймовірності одночасної передачі даних з декількох пристроїв, що породжує невизначеність інформації. З цього випливає, що великі мережі на основі LoRaWAN з високим навантаженням на трафік, потребують більш ефективних MAC-протоколів.



Рисунок 1.4 – Технологія LoRaWAN для поєднання в мережу пристроїв контролю станів мереж, роботи служб та комунальних сервісів

Існують альтернативні MAC-механізми з довільним доступом [47 – 51]. Вони базуються на широко відомих схемах Aloha та CSMA (багаторазовий доступ із визначенням несучої). За технологією Aloha відбувається розбиття каналу на дискретні часові інтервали з вимогою до пристроїв починати передачу даних на початку свого встановленого відрізка часу. За CSMA, алгоритм кожного пристрою відпрацьовує перевірку доступності каналу перед передачею даних.

Крім зазначених, існують алгоритми із запланованим часовим інтервалом, унікальним для кожного окремого пристрою [52].

Проте, зазначені підходи можна реалізувати не у всіх мережах за бездротовою технологією LoRaWAN, оскільки координація передач кожної мережі регулюється за окремою, доволі складною, моделлю [53].

Щоб створити таку модель передачі даних в мережі за технологією LoRaWAN, слід врахувати наступне.

LoRa – це запатентована модуляція на основі технології радіозв'язку малої потужності, придбана компанією Semtech для безліцензійного діапазону частот [45]. Продуктивність LoRa залежить від кількох конфігурацій радіопараметрів, такі як коефіцієнт розповсюдження (SF), пропускна здатність каналу (BW) і швидкість кодування (CR). LoRa підтримує кілька SF, в діапазоні від 7 до 12, щоб збалансувати компроміс між діапазоном покриття і швидкістю передачі даних: збільшення SF дозволяє досягати більшої відстані, але ціною зниження швидкості передачі даних і споживання енергії. Крім того, трансивери LoRa також можуть вибрати канал смуги пропускання в діапазоні від 7,8 кГц до 500 кГц, хоча вони зазвичай працюють на частоті 125, 250 або 500 кГц. Вужчий BW покращить чутливість прийому даних при зменшенні швидкості потоку. Крім того, LoRa надає кілька ортогональних каналів для кожної заданої BW для збільшення місткості мережі. LoRa також використовує кодування з прямим виправленням помилок (FEC) для збільшення підвищення чутливості прийому та покращення захисту від перешкод. Можна використовувати чотири різні швидкості кодування: 4/5, 4/6, 4/7 та 4/8, позначені як CR 1 до CR 4 відповідно. Надсилається більше надлишкових службових бітів з вищими CR, таким чином підвищуючи стійкість до перешкод на за рахунок зниження швидкості передачі даних. Кадри даних LoRa включають преамбулу, заголовок, пристрій даних навантаження та CRC корисного навантаження в результаті застосування вибраного коду FEC. Преамбула дозволяє синхронізувати приймач з передавачем. Він складається з двох частин: фіксованої, що складається з 4,25

символів, і конфігурований, який може мати довжину від 6 до 65532 символів (8 символів за замовчуванням). Розмір корисного навантаження також можна налаштувати, однак LoRa обмежує повідомлення до 255 байт.

Таким чином, LoRa визначає нижній фізичний рівень, а LoRaWAN визначає MAC-протокол і мережеву архітектуру [44]. В архітектурі LoRaWAN, кінцеві пристрої (ED) спілкуються зі шлюзами, що утворюють топологію зірки. Шлюзи діють як ретранслятори, що пересилають усі повідомлення між ED та мережевим сервером. LoRaWAN визначає три різні типи кінцевих пристроїв (класи A, B і C) на основі їх вимог до трафіку низхідної лінії зв'язку та енергії обмеження. Найбільш енергоефективним є клас A, призначений для вузлів із жорсткими енергетичними обмеженнями. Кінцеві пристрої класу A активуються лише тоді, коли вони мають деякі дані для передачі на шлюз. Кожна передача по висхідній лінії може супроводжуватися одним або двома вікнами прийому, які використовуються для підтвердження або отримання команди по низхідній лінії зв'язку. Кінцеві пристрої класу A отримують доступ до каналу за допомогою механізму, заснованого на P-ALOHA. Таким чином, кожен раз, коли ED має дані для передачі, він надсилає кадр без використання будь-якого механізму керування. Незважаючи на свою простоту, P-ALOHA забезпечує достатньо хорошу продуктивність у мережах LoRaWAN з низьким навантаженням: колізії можуть виникнути лише тоді, коли два або більше ED передають дані на тій же частоті каналу з розповсюдженням у той же самий час. Однак P-ALOHA має обмежену масштабованість. Велика кількість кінцевих пристроїв збільшує кількість зіткнень і зменшує потужність каналу.

У зв'язку з цим було запропоновано багато альтернативних схем MAC для заміни P-ALOHA в мережах LoRaWAN. Відомим вдосконаленням протоколу P-ALOHA є S-ALOHA. За допомогою цього механізму час каналу розділяється в окремі слоти фіксованої довжини, і кінцеві пристрої змушені запускати їх передачі тільки на початку слоту. Ця техніка дозволяє незначно зменшити кількість зіткнень пакетів з даними, таким чином досягаючи

збільшення пропускної здатності каналу. Щоб визначити необхідні часові інтервали за допомогою S-ALOHA, кінцеві пристрої повинні підтримувати синхронізацію за часом відповідно до опорного приймача, що залишає питання із синхронізацією відкритим [43].

Чіпсети LoRa забезпечують режим виявлення активності каналу (CAD), призначений для виявлення преамбули LoRa або символів даних на радіоканалі [54]. Для процедури в LoRa для виявлення активності каналу потрібне оперування лише декількома символами. Тривалість CAD залежить від коефіцієнту поширення. CAD можна використовувати для реалізації схеми CSMA поверх LoRa [55]. Разом з CSMA шлюзи повинні визначити рамки каналу перед надсиланням даних. Потім, якщо на вибраному каналі не виявлено активності, передачу даних можна здійснити. Але якщо канал є зайнятим поточною передачею, кінцевий пристрій повинен зупинитися перед повторною перевіркою каналу. Таким чином, схеми CSMA полегшують процедуру обмеження зіткнення пакетів даних та покращують потужність каналу у більшості поширених сценаріїв (рис. 1.5). Крім того, у деяких випадках, можна застосовувати традиційні MAC-протоколи.



Рисунок 1.5 – Підхід до збору і обробки даних на основі LoRa

Із зазначеного можна зробити узагальнення, що створення інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста має покладатися на точну систему синхронізації для визначення часових інтервалів передачі даних. Наступний важливий аспект –

тривалість часового інтервалу. Координацію передачі даних в мережі варто обґрунтувати відповідною моделлю, яка дозволить змінювати часові інтервали для забезпечення цільової функції об'єкту управління, за яким здійснюється моніторинг параметрів.

1.4 Методика розробки моделей та алгоритмів інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста

1.4.1 Обґрунтування вибору технології

Аналізуючи технології LPWAN (див. рис. 1.2), варто зазначити, що впровадження технології SigFox потребує заключення договорів з компанією, яка по суті є єдиним оператором зв'язку за цією технологією, та надає послуги по SaaS (software as a service) сценарію, тобто керування опорною мережею і всі дані будуть йти крізь сервери компанії SigFox (Франція). Така політика підходить не всім клієнтам. А переваги відносно інших технологій LPWAN не очевидні.

Таким чином завдання спрощується до вибору між двома технологіями: NB-IoT або LoRaWaN. Вибір між технологіями можна здійснити на основі архітектури мереж. Для цього слід проаналізувати рис. 1.6 та 1.7.

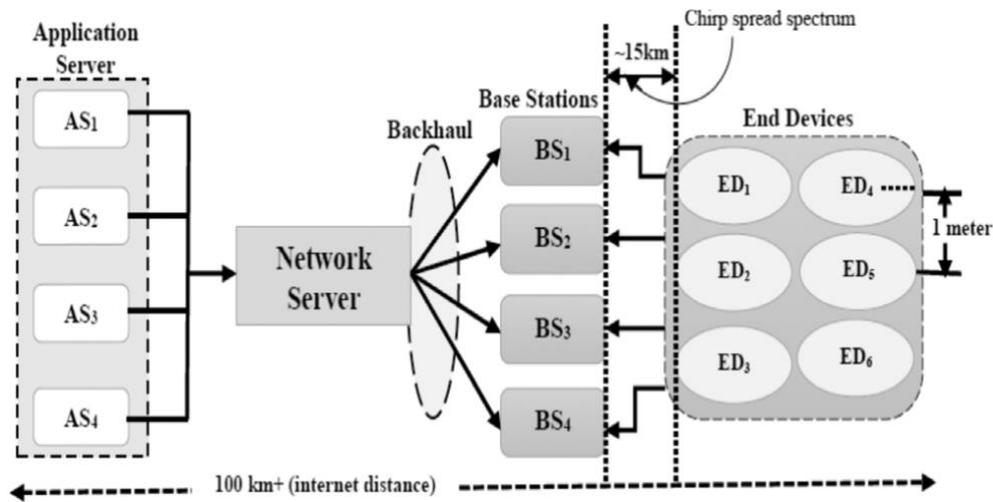


Рисунок 1.6 – Архітектура мережі LoRaWAN

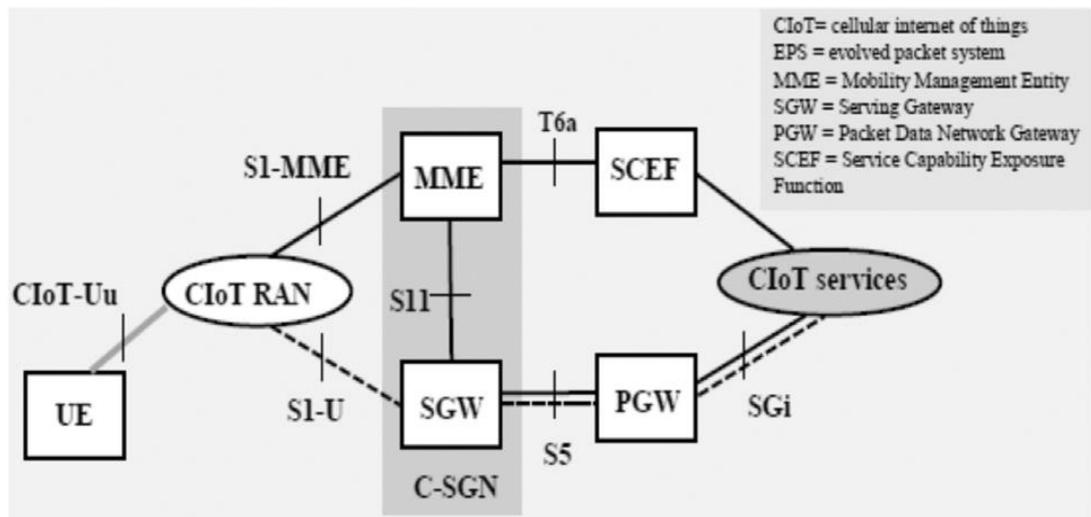


Рисунок 1.7 – Архітектура мережі NB-IoT

З вищенаведених рисунків можна бачити, що топологічно вони хоч і схожі але архітектурно мережі дуже сильно відрізняються. Ключовою відзнакою є належність NB-IoT технології до 3GPP консорціуму та, як наслідок, базування її на операторському стільниковому зв'язку. Порівняння двох технологій наведено в табл. 1.1 [57 – 58].

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз характеристик LoRaWAN та NB-IoT

Характеристика	NB-IoT	LoRaWAN
Розгортання системи	Стандарт стільникового зв'язку, що діє в Україні: 4G (від 1800 МГц).	Стандарт протоколу LPWAN, не потребує ліцензування.
Синхронізація	Повинна відбуватися синхронізація пристроїв у мережі, оскільки це стандарт стільникового зв'язку, що потребує втрат енергії.	Асинхронне надсилання даних тільки тоді, коли вони є.
Час автономної роботи	Втрати енергії через постійні сеанси синхронізації. Акумулятор типу АА швидко розряджається.	Заряд акумулятора зберігається довго, оскільки не потребується синхронізація пристроїв з мережею.
Швидкість передачі даних	200 Кбіт/с.	від 300 біт/с до 50 Кбіт/с (при віддаленні від антени швидкість передачі знижується, але не втрачається).
Пропускна смуга	80 кГц.	125 КГц.
Покриття мережі	Добре – у складних міських районах, надлишкова – у приміських або сільських районах.	Незалежно від умов місцевості
Управління SIM-картою	Потрібна	Вбудовані модулі, не потрібна.

Враховуючи табл. 1.1 та викладений вище огляд, можна представити порівняння переваг та недоліків двох технологій за основними параметрами, важливими для замовника при плануванні розгортання опорної мережі та мережі кінцевих пристроїв (табл. 1.2). Чим більше переваг («+») тим є кращі умови. У разі відсутності можливостей впровадження до комірки таблиці внесено мінус («-»).

Таблиця 1.2 – Порівняння LPWAN технології за основними параметрами важливими для замовника при плануванні розгортання опорної мережі та мережі кінцевих пристроїв

Технологія	Доступність/ зрілість технології в Україні	Безліцензійна доступність спектру в Україні	Автономність кінцевих пристроїв	Можливість триангуляції (GPS) в радіомережі	Умовна ціна реалізації
LoRaWaN	+	+	+++++	+	+++++++ +
NB-IoT	+ / -	-	+++	-	+

Виходячи з результатів табл. 1.1 та 1.2, а також враховуючи об'єктивні умови України, можна стверджувати, що однозначно вигідним є розгортання мережі «розумного» міста на основі технології LoRaWaN. Проте на відслідковуванні обмеженої кількості ситуацій така система зупинятися не може, адже без розгалуженої мережі давачів неможливо службам великого міста відслідковувати реальне становище та своєчасно реагувати, що теж підтверджує вибір на користь LoRaWaN, але не відкидає застосування паралельно і інших технологій.

Про зазначені тенденції вказує і досвід розвитку подібних технологій створення безпечного довкілля для людей в різних країнах світу.

Наприклад Китай [59] зорієнтувався на мережах LPWA за допомогою технологій мобільного зв'язку 3GPP консорціуму: NB-IoT, LTE-M, 5G [60]. При цьому в Китаї приблизно 1000 000 000 давачів Nb-IoT/LTE-M [61].

Франція теж використовує LoRaWAN [60], така сама ситуація у Бельгії, Швейцарії, Нідерландах, Німеччині, Фінляндії, США, Індії, низці країн Африки. Понад 143 країни світу використовують LoRaWAN як інструмент управління сучасним містом, бо цю технологію підтримують і розвивають IBM, Semtech, Actility, Cisco, Kerlink, HP, Schneider, MuRata [62 – 64].

Що до особливостей міста Києва, до них можна віднести існування міських сучасних електронних сервісів, які вже наповнені даними та продовжують роботу з приватною та стратегічно важливою для міста інформацією, тому є обґрунтованим прагнення до забезпечення максимальної безпеки даних. Поєднання потоків з кінцевих пристроїв з цими сервісами та базами даних безумовно є важливою складовою ефективності служб міста та майбутніх міських сервісів. Таким чином, технологія зв'язку повинна бути обрана і впроваджена у такий спосіб, щоб максимально унеможливити несанкціонований доступ до управління цифровим містом.

Враховуючи вищезазначене, можна впевнено сказати, що наразі технологія LoRaWaN є технічно достатньою для більшості запланованих рішень, які базуються на використанні переваг LPWA зв'язку у місті Києві.

1.4.2 Логіка дослідження поставлених задач

Спираючись на системні підходи, алгоритми та математичне підґрунтя [31, 33, 35, 36] до формування концепцій мереж, створення математичних моделей управління, використовуючи основні принципи розробки мереж [41 – 55], можна зробити узагальнення щодо методики дослідження та визначити початкові твердження роботи.

Так, за змістом проект розробки інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста повинен містити:

- вимоги до повноти і несуперечності вхідних даних для моделювання;
- вимоги до своєчасності інформації, що передається від кінцевих пристроїв, та дотримання правила щодо черговості передачі даних від різних пристроїв. Ці вимоги відбивають системні потреби об'єкта автоматизації і формулюються у вигляді загальної моделі даних ІТ;

– повнота реалізації процедур циклу управління (модель процедур циклу управління мережею).

Остання вимога повинна базуватися на моделі процедур управління з врахуванням життєвого циклу об'єкта управління, а також на моделі поєднання технологій штатного й кризового управління в єдиному циклі управління. Крім того, слід враховувати процеси управління виконанням поточних завдань об'єкта і взаємодією із середовищем (модель процедур управління на масштабі поточного функціонування) та управління внутрішньою безпекою (стійкістю) об'єкта (модель зміни природи управління зі штатного на кризове).

У підсумку все зазначене повинно забезпечити критерій реалізації цільової функції – здатність об'єкта функціонувати за призначенням.

В моделі координації передачі даних в мережі слід врахувати наступні показники:

- показник суперечності інформації управління;
- показник управління у реальному часі;
- показник міри невизначеності інформації в базі даних, який лягає в основу інтегрального показника ефективності управління.

Така методика дослідження дозволяє досягти мети дослідження, якою є вирішення наукової задачі створення інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста.

Для того, щоб спланувати технологію дослідження параметрів стану довкілля, що працюватиме з інформацією від давачів мережі міського IoT-напрямку, що має на меті контролювати стан об'єктів та мереж критичної інфраструктури, забезпечувати безпечну життєдіяльність людини за умов стрімкої урбанізації, спочатку необхідно дослідити модель об'єкта управління (міста, мегаполісу).

За визначенням [56], інформаційною моделлю є модель об'єкта у вигляді інформації, яка описує суттєві для розгляду параметри та змінні об'єкта,

зв'язки між ними, входи та виходи і дозволяє шляхом подачі на модель інформації про зміну вхідних даних моделювати можливий стан об'єкта.

За допомогою методу структурного аналізу можна визначити умови, за якими відбувається уточнення задач дослідження:

- проаналізувати вхідні дані дослідження та обмеження, якими є системні потреби об'єкта автоматизації, що впливають на ефективність його функціонування для визначення комплексу системних вимог до ІТ;

- провести структурний аналіз цільової функції в моделі управління складною системою мегаполісу на масштабі управління життєвим циклом та масштабі виконання завдань поточного функціонування з метою побудови інформаційних моделей можливого розвитку ситуацій;

- побудувати інформаційну модель передачі даних на часовому інтервалі.

В основу інструментарію для дослідження взято системний підхід:

- визначення системних обмежень в дослідженні;
- дослідження об'єкту по відношенню до внутрішнього і зовнішнього середовища функціонування;

- дослідження об'єкту по відношенню до довкілля;

- дослідження системи по відношенню до її складових;

- дослідження системи з позиції часових, структурних та змістовних перетворень при реалізації функції в циклі управління;

- дослідження процесу управління як взаємопов'язаної послідовності процедур управління від формулювання мети дій до досягнення результату дій;

- визначення адекватності керівних дій до ситуації на об'єкті за ознаками критерію: здатності об'єкта функціонувати за призначенням;

- зосередитись на аналізі трансформації лише дискретних форм інформації без втрати загальносистемної позиції дослідження складної системи;

- у якості абстрактної кібернетичної моделі розглядати не тільки технічні пристрої, а й людину або колективи, що реалізують складні логічні процеси;

- обмежувати моделювання логічних функцій людини кінцевим переліком його повноважень у системі.

Основним робочим інструментом дослідження є метод структурного аналізу, який дозволяє:

- підкорити дослідження визначеній меті та завданням;
- будувати структури моделей виключно з позиції трансформації цільової функції в процесі управління;
- дотримуватись системних обмежень та змісту взаємодії елементів системи;
- отримати структурований за змістом результат, який відповідає поставленій меті та завданням дослідження.

1.4.3 Прийнята система обмежень в задачах дослідження

Щодо об'єкта дослідження робота обмежується побудовою:

- моделі управління на масштабі окремої події у середовищі, де встановлено датчик;
- моделі базових процесів поточного функціонування пристроїв у мережі.

Щодо предмета дослідження робота обмежується побудовою:

- моделі процедур управління циклом функціонування пристроїв мережі на відрізок часу;
- моделі процедур управління поточним функціонуванням мережі;
- моделі управління стійкістю об'єкта;

– моделі взаємодії персоналу, якій отримує інформацію про ситуації, і системи у процесі функціонування.

Моделі будуються на такому абстрактному рівні, який дозволяє визначити їх уніфікованими. Моделі описуються концептуально-понятійною експертною інформацією з визначенням цілей, критеріїв, альтернатив, принципів оптимізації.

У дослідженні розглядаються тільки об'єктивні обмеження. Суб'єктивні перешкоди не розглядаються.

Одним із важливих обмежень функціонування мережі виступають обмеження у визначенні умов своєчасного надання повної та достовірної інформації. Під своєчасною та достовірною розуміється інформація, яка відбиває реальний стан об'єкта управління на момент прийняття рішення [65 – 66]. Інформація вважається повною, якщо вона визначає кількісний та якісний розклад ресурсів, регламент функціонування та реальний розподіл повноважень [67].

Інформація вважається достовірною, якщо вона отримується в реальному масштабі часу [68] і не містить викривлення як об'єктивного, так і суб'єктивного характеру. За цих обмежень несвоечасною і недостовірною вважається звітна (за станом на рік, квартал, місяць та ін.), імовірнісна та статистична інформація.

Під зміною природи керівної діяльності розуміється непередбачений перехід до кризової моделі управління або нездатність реалізувати штатну модель управління. А враховуючи визначення [69], критерієм має служити здатність підтримувати функціонування об'єкта за цільовим призначенням.

Під критерієм дотримання умов взаємодії із середовищем [70] розуміється всі аспекти, пов'язані з реалізацією задач управління взаємодією пристроїв мережі з об'єктами середовища та дотримання умов екологічної безпеки, безпеки життя і здоров'я людей.

Під критерієм дотримання умов регламенту [71] функціонування розуміються всі аспекти безпеки, пов'язані з реалізацією задач управління

пристроями мережі для створення екологічного, безпечного для життя людини середовища.

Все зазначене у сукупності представляє систему обмежень у задачах дослідження.

1.5 Висновки за розділом 1

Проведений теоретичний аналіз та огляд джерел дозволяє зробити наступні висновки та узагальнення за першим розділом дисертаційної роботи:

1) Одним з відкритих питань побудови інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста є питання дослідження відповідності моделі управління системним потребам об'єкта управління, хоча, при цьому, ретельно досліджуються вимоги до подібних систем, що знайшли своє втілення у «розумних містах» – електронних системах управління функціонуванням населених пунктів. Застосування IoT в управлінні та сучасний науковий підхід, дозволяють представити комплексно питання, яке потребує аналізу: розробка інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста для реалізації безпечного для громадян міста, на основі енергоефективних протоколів, з вивірною кількістю датчиків та пристроїв, що сигналізують про зміни параметрів систем, які контролюються, для їх обробки, виводу результатів з метою подальшого використання в управлінській діяльності.

2) IT дослідження параметрів стану довкілля промислового міста призначена для відтворення поведінки системи таким чином, щоб попередити розвиток критичної події. Подібне реалізується через комплекс уніфікованих процедур, засоби автоматизації, алгоритми, моделі управління та застосування сучасних комп'ютерних засобів, датчиків, мереж. Не зважаючи на широкий огляд зазначеного у досліджених джерелах, питання ефективного розміщення

датчиків, моделей автоматизації, алгоритмізації окремих процедур залишаються не до кінця дослідженими.

3) Своєчасне реагування на виникнення та розвиток передумов аварійної чи надзвичайної ситуації залежить від точності системи синхронізації для визначення часових інтервалів передачі даних. Це питання потребує розробки і обґрунтування відповідної моделі, яка дозволить змінювати часові інтервали для забезпечення цільової функції об'єкту управління.

4) Можливість розміщення базових станцій на об'єктах комунальної власності, суцільне кодування даних, можливість під'єднання опорної мережі до міських серверів за допомогою міської мережі, дає можливість побудувати надійну, незалежну, максимально закриту від втручань опорну мережу, та забезпечити бездротовий зв'язок з кінцевими пристроями по всьому місту Києву завдяки сучасній LoRaWAN технології. Обґрунтовані логіка досліджень та прийнята система обмежень в задачах роботи, дозволять виконати поставлені задачі.

5) Наведені в першому розділі матеріали були представлені у вигляді доповідей на конференціях [72 – 73].

РОЗДІЛ 2

ФОРМУВАННЯ КОМПЛЕКСУ СИСТЕМНИХ ВИМОГ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

2.1 Інформаційна модель процесів управління безпекою сучасного міста

Інформаційна технологія дослідження параметрів стану довкілля промислового міста на базі енергоефективних протоколів далекого радіусу дії повинна дозволити реалізувати відображення станів складної системи великого міста, як об'єкта управління. Сервісна орієнтація мережі передбачає модульний підхід до окремих компонентів, що мають стандартизовані інтерфейси та діють за стандартизованими протоколами [74]. Вимоги до такої системи у досягненні мети призначення об'єкта в процесі його функціонування можуть бути реалізованими виключно за рахунок впливу на окремі підсистеми, шляхом контролю параметрів та повернення до припустимих меж показників у разі виявлення невідповідності. В даному дослідженні управління розглядається як процес використання керуючих впливів на систему – ресурсів, які слугують для реалізації завдання приведення системи у штатний режим роботи, норм, регламентів та протоколів, які описують окремі процедури управління підсистемами складної системи, для забезпечення її цілісного функціонування, та інформації, яка дозволяє визначати стан системи в окремі моменти часу.

Існує думка про здатність складних систем до саморозвитку [75], що при застосуванні управління, зокрема, аналізу, математичного підходу та врахування фізичних процесів [76], що відбуваються у системі, призводить до синергетики [77], як самоорганізації моделей і структур відкритих систем. Враховуючи це, а також роботу [78], що розвиває зазначений підхід,

з'являється відповідь на питання раціонального розміщення давачів інформації: мережева архітектура LoRaWAN використовує топологію «зірка» [79], де шлюзи транслиують інформацію від кінцевих пристроїв до центрального серверу. Саме це забезпечує прозорість інформації, що у підсумку дає можливість отримувати не просто статистичні дані, а формувати пули інформації аналітичного та прогнозного характеру, де визначається ефективність управління наявними ресурсами за визначеним регламентом в даній організаційній структурованості різноманітних повноважень окремих виконавців. Тобто такої інформації, яка дозволяє приймати рішення про відповідність об'єкта його призначенню або корегувати призначення (мету створення) об'єкта та його функції.

Важливим для даного дослідження є закон різноманіття, що був сформульований У.Р. Ешбі [32], та розвинутий дослідниками сучасності [80 – 81]. І якщо розглядати інформаційну модель процесу управління сучасного міста саме через цей закон, а саме, коли різноманіття станів системи більше або дорівнює станам системи великого міста, то можна систему забезпечення безпеки міста представити, як задоволення потреб наявними технологіями штатного та кризового управління в залежності від інформації, що надходить від конкретного давача інформації. При цьому необхідно враховувати фактори багатомірності, нелінійності, неоднорідності, що впливають на процес життєвого циклу об'єктів та процесів в системі, яка піддається моніторингу, що і надає явну перевагу технології LoRaWAN для реалізації моделей та алгоритмів в процесах управління безпекою великого міста.

Використовуючи наступні характеристики LoRaWAN можна побудувати інформаційну модель ситуаційного управління:

- LoRaWAN дозволяє керувати давачами виконавчими механізмами;
- між вузлами «зірки» та шлюзами відстань може складати декілька кілометрів;
- низьке енергоспоживання;

- простота, безпека та сумісні архітектури з системами керування, які вже можуть бути встановлені;
- стандарт в системі Інтернету речей [82].

Якщо, виходячи з [83], під ситуацією розглядати стан з неповторюваних подій, то ситуаційне управління можна розглядати, як управління на базі оцінки поточної ситуації. Ситуація має чітко відрізняти міру достовірності та невизначеності інформації, що отримано з системи моніторингу об'єкта.

Специфіка предметної галузі організаційних систем криється в самій моделі процесу управління безпекою сучасного міста, як унікального об'єкта управління завдяки врахуванню в моделі не тільки специфічного регламенту функціонування, а й мотивації поведінки інших об'єктів управління та можливостей еволюції системи в часі. Для такого класу систем потрібен підхід, який на єдиній мові давав би змогу описувати сам об'єкт управління, регламент його функціонування та процедури управління ним. Саме таким підходом і є ситуаційний підхід, що базується на логіко-лінгвістичному моделюванні.

Суть ситуаційного управління полягає в наступному:

- елементи складної системи та їх функціональні зв'язки мають опис як логіко-лінгвістична модель об'єкта управління;
- з персоналу системи управління відокремлюються особи, що приймають рішення (ОПР), які підтримуються в процесі управління шляхом моделювання процесу їх мислення з оцінки ситуації та в прийнятті рішень щодо використання певних процедур управління відповідно до ситуації на об'єкті;
- ситуації визначаються шляхом їх порівняння з основною метою функціонування складної системи, яка визначається як кінцева ситуація, що є результатом управління об'єктом;
- рішенням для ОПР є вибір процедури управління, яка повинна повернути ситуацію на об'єкті якнайближче до відповідності цільовому призначенню складної системи.

Окрім зазначеного, варто пам'ятати, що існує обмеженість набору кінцевих однокрокових процедур управління, з яких складався набір можливих рішень. Цей набір однокрокових процедур управління прив'язувався до певних ознак ситуації, в якій слід його використовувати. Тоді виникала задача перетворення поточної ситуації до стандартів ідеальної ситуації, що визначала цільову відповідність об'єкта управління.

Для побудови багатокрокового управління із множини однокрокових процедур для розробки системи можна використати методи узагальнення за чинниками і узагальнення за структурами ситуацій [84]. У цьому випадку інформаційна модель управління безпекою сучасного міста може бути представлена у вигляді наступної схеми з інформаційною згорткою для узагальнення ситуації (рис. 2.1).

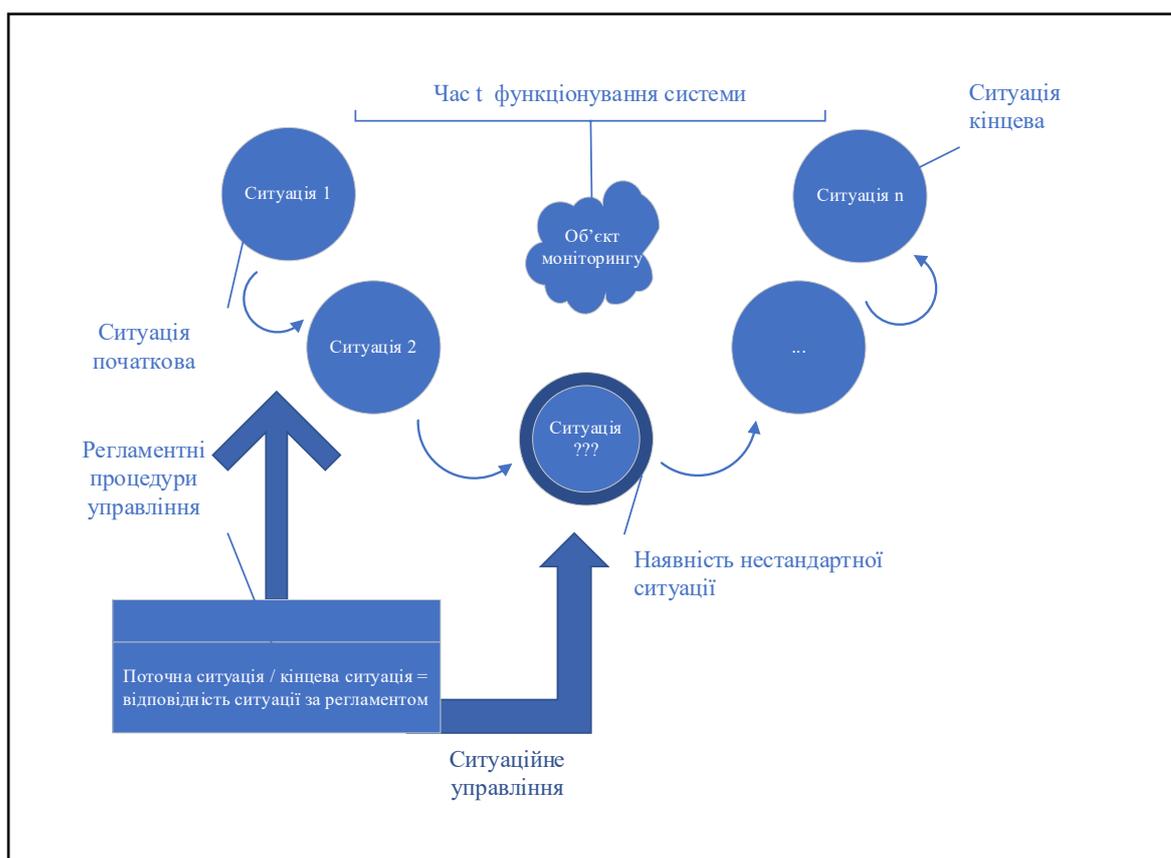


Рисунок 2.1 – Інформаційна модель управління безпекою сучасного міста

Основна ідея методу узагальнення за структурами ситуацій щодо управління безпекою міста полягає в наступному: на мові ситуаційного управління задаються описи ситуацій S_1, S_2, \dots, S_n з певної множини S і припускається, що S^* є фрагментом S_k ($k=1, 2, \dots, n$). Якщо відомо, що для ситуації S_k процедура управління U є відповідним рішенням, і визначено за результатами аналізу множини S , що фрагмент S^* зустрічається й в інших ситуаціях, то достовірність гіпотези зростає. Вона зростає швидше, якщо фрагмент S^* є відсутнім у прикладах ситуацій, де застосовувались відмінні від U процедури управління. Той фрагмент, для якого гіпотеза U' підтверджується на множині ситуацій S' , і буде узагальненою ситуацією, що відповідає правилу застосування процедури U' при прийнятті рішення.

Виходячи із зазначеного, розробка інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля для забезпечення безпеки такого складного об'єкта, як місто, має за своєю інформаційною моделлю такі обмеження, як:

- складність визначення процедур управління об'єктом. Відсутність теоретичного обґрунтування щодо їх уніфікації ускладнює дослідження всього спектра взаємозв'язків структурних елементів мережі у регламенті її функціонування;

- у наборі процедур управління не відокремлювались процедури, пов'язані з поточним виконанням завдань функціонування і управління циклом життєдіяльності системи.

Проте, вплив цих обмежень можна мінімізувати, якщо розглядати виникнення кризової ситуації на об'єкті управління як наслідок того, що було здійснено низку порушень у функціонуванні окремих підсистем, а також те, що всі вони поєднуються ознаками належності до динамічної складової складних систем, тобто до регламенту їх функціонування. Незалежно від належності активних і пасивних учасників ситуації до певної антропогенної чи природної системи надзвичайна подія (НП) є наслідком недотримання певних нормативних документів, регламентів, правил експлуатації

Фактично, виходячи з рис. 2.1, перше порушення НРП призводить до переходу до управління системою у кризовому форматі. А це управління за своєю суттю є етапом екстреної реорганізації наявних ресурсів під технологію, яка реалізує завдання ліквідації наслідків НП. А з цього випливає, що модель, наведена на рис. 2.1 може бути накладена на часову шкалу рис. 2.2, що у підсумку дає можливість побудувати інформаційну модель процесу управління безпековою складовою сучасного міста з врахуванням критерію часу (рис. 2.3), що дає можливість покласти її в основу інформаційної технології. Така модель деталізує штатну процедуру моніторингу й аналізу поточного стану об'єкта інструментом для визначення масштабу загрози (кризи) через показник міри невизначеності інформації в системі управління (E).

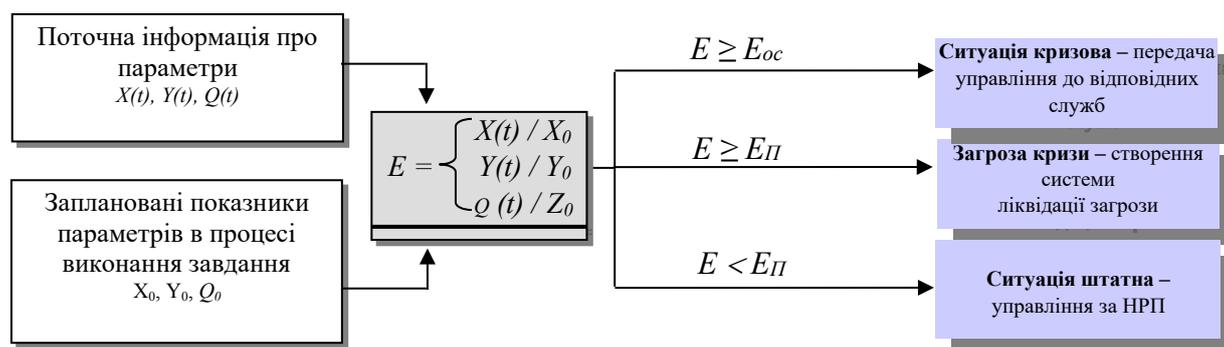


Рисунок 2.3 – Інформаційна модель процесу управління безпековою складовою сучасного міста з врахуванням критерію часу

Через $X(t)$ позначено масив записів інформації про ресурси об'єкта спостереження в базі даних на визначений час. Аналогічно через $Y(t)$ – масив даних про НРП, а через $Q(t)$ – масив даних про повноваження окремих служб, які здатні у короткий термін локалізувати та ліквідувати НС. Відповідно X_0 , Y_0 , Q_0 є масиви планових показників тих же параметрів. E_{oc} та $E_{п}$ є граничні показники невизначеності інформації в системі управління об'єктом спостереження та його підсистемами.

Тоді локальна криза на об'єкті спостереження буде за умовою $E \geq E_{oc}$, а локальна криза в підсистемі за умовою $E \geq E_n$. Порогові значення E_{oc} , E_n визначаються за критерієм здатності реалізувати цільову функцію призначення системи, щодо якої ведеться моніторинг (управління безпекою сучасного міста), виконувати свої функції в повному обсязі (задовольняти всі критерії безпеки для людей і довкілля).

2.2 Системно-технологічна модель циклу управління безпековою складовою міста, як підсистеми складної системи

2.2.1 Модель виконання функцій і задач управління

Системний підхід [85] до формування послідовності процедур управління життєвим циклом інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста вимагає:

- врахувати потреби щодо визначення мети об'єкта моніторингу та можливості щодо корекції підцілей окремих компонентів системи;
- визначення поля системних обмежень щодо функціонування (відношення об'єкта до зовнішнього середовища, як метасистеми) та їх можливостей;
- врахувати відношення об'єкта до оточуючого середовища та особистої безпеки функціонування у базових процесах – синтезу системи, адаптації до реальних умов, функціонування (технологічний процес), моніторингу (технологічного процесу), аналізу ситуації, корекції змін системи.

Системна модель може бути представленою у символічному вигляді як на рис. 2.4. У порівнянні з моделлю на рис. 2.1 модель на рис. 2.4 є системною,

тому що в ній враховані: цільове призначення об'єкта, системні обмеження, базові функції складної системи та можливість їх корекції.

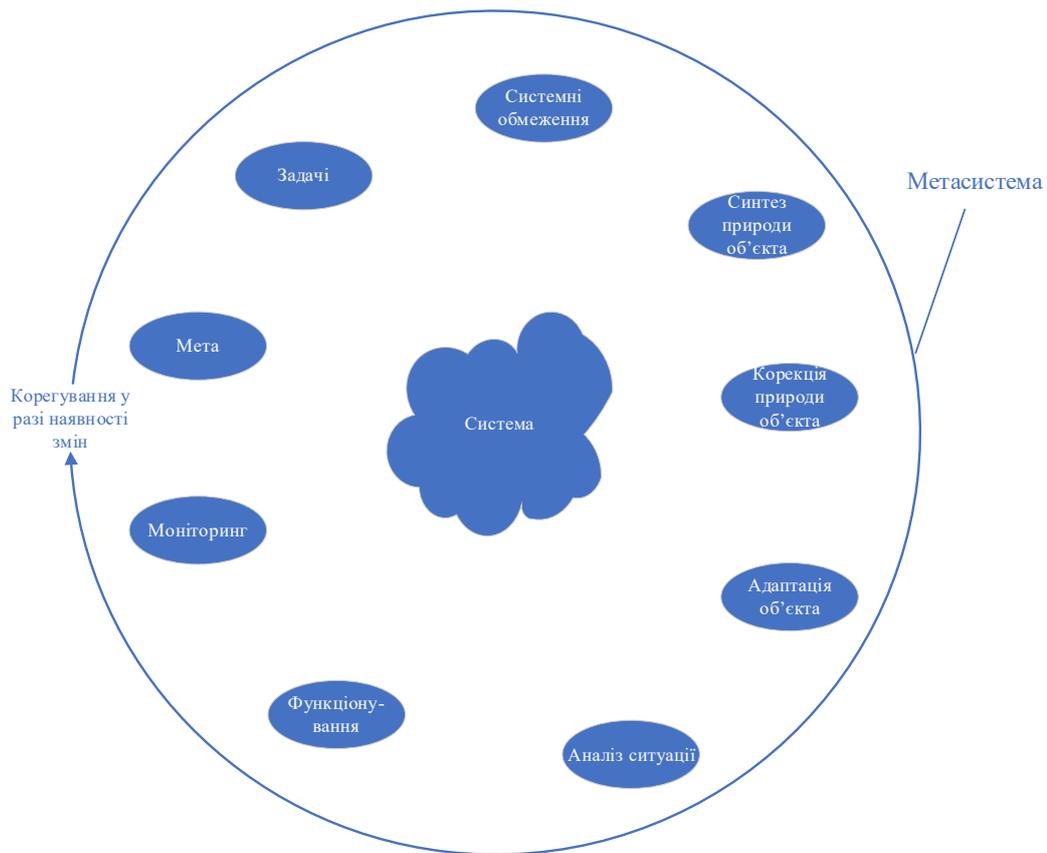


Рисунок 2.4 – Системна модель послідовності процедур управління

Для побудови системно-технологічної моделі, моделі наведеній на рис. 2.4, бракує адаптації до термінології, яка використовується при позначенні інформації в процесі управління безпекою складної системи міста та послідовності застосування процедур управління. Якщо зазначене трактувати через процедури інформаційного підходу [86], то необхідно термінологію привести до формату системи управління з урахуванням форми її організації. Для побудови моделі через призму процесного підходу [87], слід розглядати технологію управління через послідовність взаємопов'язаних керівних дій від формулювання мети дій до отримання бажаного результату. Ситуаційний підхід [85] вимагає в моделі управління мати процедури визначення ситуації в стані об'єкта управління. А якщо все наведене представити через теорію

управління організаційними системами [88], то слід відокремити процеси за ознаками функцій управління (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Функції управління за ознаками видів керівної діяльності

Види управлінської діяльності	Функції управління			
	планування	організація виконання	мотивація	контроль
Процесне управління	планування	організація виконання	мотивація	контроль
Проектне управління	концепція	проект	впровадження	аналіз ефективності
Управління діяльністю	завдання	план	мотивація	результат (звіт)

Виходячи з наведених вимог рис. 2.4 та табл. 2.1, системно-технологічна модель управління безпековою складовою міста можна представити наступним чином (рис. 2.5).

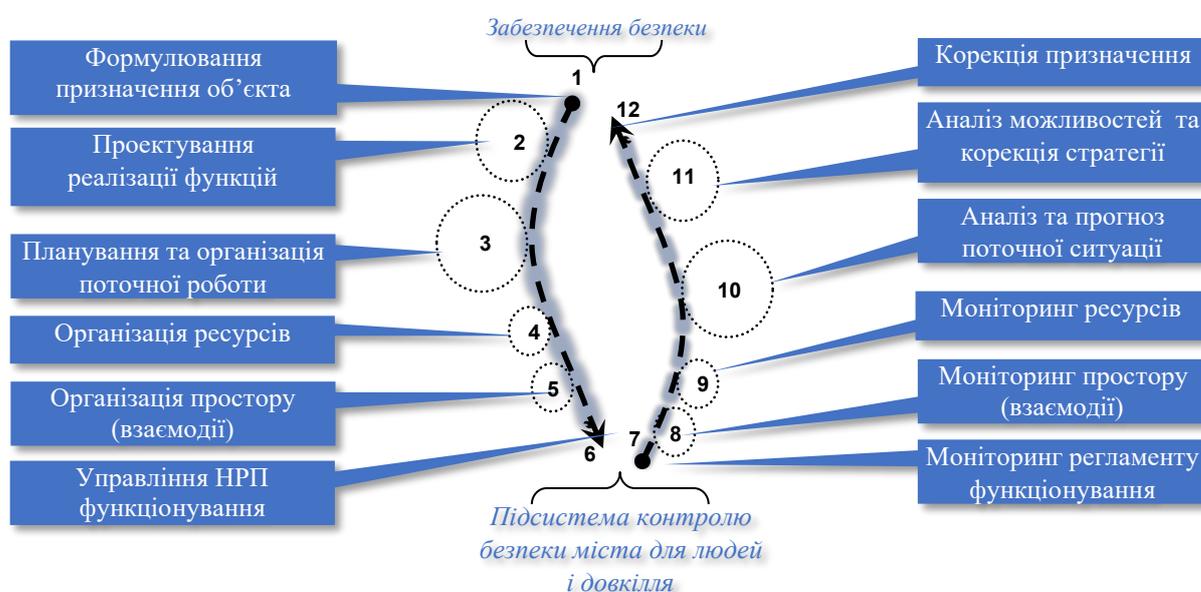


Рисунок 2.5 – Системно-технологічна модель циклу управління безпековою складовою міста

Пунктирними стрілками на рис. 2.5 позначено напрямок послідовної реалізації процедур управління в циклі управління. Процедури 1 – 6

реалізують управління створенням ІТ та забезпечують її функціонування, а процедури 7 – 12 є процедурами забезпечення зворотного зв'язку для аналізу безпеки функціонування (ситуаційного управління) та розробки стратегії удосконалення об'єкта, щодо якого здійснюється моніторинг.

Системно-технологічна модель відображає послідовність процедур управління в циклічному процесі управління безпекою міста. Процедури управління в моделі є логіко-трансформаційними правилами, які визначають кінцевий зміст та форму подання інформації для прийняття рішень керівництвом міста. Рівень абстракції у формулюванні процедур управління визначає рівень їх уніфікації до процесу управління абстрактною активною системою.

Всі означені комплекси процедур вимагають прийняття рішень, а тому є об'єктом інтелектуальної підтримки. З таблиці 2.2 можна робити висновок про складність процедур в циклі управління.

Процедури 2, 3, 10, 11 є складними. Вони містять у собі комплекси процедур, що пов'язані з реалізацією різноманітних видів діяльності. Уніфікована модель циклу управління дозволяє з системної позиції дослідження уточнити класифікації видів керівної діяльності (функцій управління), відносно тих, що використовуються в системному аналізі [37] і при прийнятті рішень [38] (табл. 2.1):

- управління життєвим циклом (процедури 1, 2, 11, 12);
- управління поточним функціонуванням (процедури 3, 10);
- управління ресурсами (процедури 4, 9);
- управління взаємодією (процедури 5, 8);
- управління регламентом функціонування (процедури 6, 7).

З моделі на рис. 2.5 та інформації табл. 2.2 видно, що у наведеній класифікації комплекс простих процедур 4 – 9 одночасно належить обом складним видам керівної діяльності: управлінню життєвим циклом та управлінню поточним функціонуванням.

Таблиця 2.2 – Класифікація процедур циклу управління щодо видів
управлінської діяльності

Процедури управління	Проектування, планування	Організація виконання	Мотивація (акт волевияв- лення)	Контроль, аналіз, прогноз
1. Формулювання призначення об'єкта	+		+	
2. Проектування реалізації функцій (системні обмеження)	+	+	+	
3. Планування та організація поточного функціонування	+	+	+	
4. Організація ресурсів (постачання, зберігання, заміна, оновлення і т.інш)		+	+	
5. Організація простору (взаємодії)		+	+	
6. Управління регламентом функціонування		+	+	
7. Моніторинг регламенту функціонування			+	+
8. Моніторинг простору (взаємодії)			+	+
9. Моніторинг ресурсів			+	+
10. Аналіз та прогноз поточної ситуації		+	+	+
11. Аналіз можливостей та корекція стратегії (системних обмежень)		+	+	+
12. Корекція призначення			+	+

Відповідність процедур циклу управління до сутності рішення, яке буде прийняте на основі отриманої інформації, наведено в табл. 2.3. Назви документів рішень адаптовані до абстрактної системи управління, яка притаманна у загальних рисах методології, що закладається при розробці інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста.

Таблиця 2.3 – Відповідність процедур циклу управління змісту рішення

Процедури управління	Документ	Зміст рішення
Формулювання призначення об'єкта	Наказ (розпорядження)	Завдання, що спрямоване на розробку проектної та організаційної документації при створенні інформаційної технології
Проектування (системні обмеження) для реалізації функцій	1. Висновок. 2. Проект. 3. Організаційні документи. 4. Наказ.	1. Висновок з усвідомлення процесів управління. 2. Проектна документація з розробки інформаційної технології. 3. Організаційні документи (табелі ресурсів, штат, регламент функціонування, норми, протоколи). 4. Наказ про впровадження.
Планування та організація поточного функціонування	1. Програми. 2. Плани. 3. Накази.	1. Програми довго- і середньострокові. 2. Плани реалізації програм. 3. Накази про регламент виконання установчих документів.
Організація ресурсів (постачання, утилізація)	Розпорядження	Розпорядження щодо організації ресурсів
Організація простору (взаємодії)	Розпорядження	Розпорядження щодо організації простору й часу
Управління НРП	Розпорядження	Розпорядження щодо організації НРП
Моніторинг НРП	Доповідь, параметр, відео/аудіо.	Дані (доповідь) щодо виконання операцій НРП та отриманого результату.
Моніторинг простору (часу, взаємодії)	Доповідь, параметр, відео/аудіо.	Дані (доповідь) щодо використання простору та результату виконання процедур взаємодії.
Моніторинг ресурсів	Доповідь, параметр, відео/аудіо.	Дані (доповідь) щодо виконання операцій управління ресурсами
Аналіз та прогноз поточної ситуації	Аналіз, наказ, доповідь.	Аналіз ситуації за даними моніторингу, наказ про стратегію функціонування, доповідь про стан забезпечення безпеки та виконання завдань щодо цього від керівних органів.
Аналіз можливостей та корекція стратегії (системних обмежень)	Аналіз, доповідь.	Аналіз нових можливостей та потреби змін у моделі управління, що закладена до інформаційної технології, доповідь про нові можливості та пропозиція змін в обмеженнях щодо моделювання поведінки системи, що підлягає моніторингу.
Корекція призначення	Доповідь	Доповідь про нові можливості та пропозиція реінжинірингу окремих складових інформаційної технології.

При отриманні необхідної інформації від давачів, за умов конкретної ситуації, прийняти рішення про застосування до кожного об'єкта є однією з актуальних дій щодо стабілізації стану, відновлення, ліквідації наслідків. Такий обмежений вибір дій визначає баланс потрібного співвідношення базових процесів у життєвому циклі забезпечення безпеки міста. Вони визначають практично всі можливі варіанти вирішення подій, пов'язаних з небезпекою для людей та оточення.

Інформаційна технологія дослідження параметрів стану довкілля промислового міста за своєю суттю є також процесом управління, в якому реалізуються ті ж самі процедури прийняття рішень, що й в системно-технологічній моделі циклу управління містом. Відмінність складає лише потреба в адаптації назв процедур у термінах назв документів щодо конкретного виду керівної діяльності: проектування та впровадження об'єктів, планування та організація виконання планів. Технології організації даних, оперативного та інтелектуального аналізу, імітаційного моделювання є прикладом реалізації процедур управління інтелектуальною обробкою даних, що отримуються від давачів інформації і використовуються для аналізу стану безпекового середовища міста.

Подібний підхід відомий в математиці як рекурсивні відношення, а в теорії алгоритмів – як рекурсивні об'єкти та рекурсивні правила [89]. Під рекурсивним об'єктом в системно-технологічній моделі циклу управління будемо розуміти технологічну конструкцію яка для реалізації окремої складної процедури викликає копію самої себе. Теорія алгоритмів розрізняє рекурсивні спуски та підйоми. Для побудови моделі циклу управління як рекурсивного об'єкта використовується весь системний цикл процедур 1 – 12 (рис. 2.5). За правилом рекурсії в загальному циклі можна виділити рекурсивний спуск 1 – 6 та підйом 7 – 12. Кожен з них диктує свої вимоги для змістовної адаптації рекурсивного об'єкта (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Класифікація вимог щодо адаптації рекурсивних об'єктів при розробці інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста

Рекурсивні об'єкти (за етапами)	Рекурсивний спуск	Рекурсивний підйом
2. Проектування (системні обмеження) для реалізації функцій	Процедури проектування ІТ в термінах проектної документації (технічний та робочий проекти)	Процедури впровадження ІТ в термінах організаційної документації (накази, розпорядження, команди)
3. Планування та організація поточного функціонування	Процедури планування поточного функціонування системи моніторингу стану в термінах програм і планів	Процедури організації виконання планів об'єкта моніторингу в термінах організаційної документації (накази, розпорядження, команди)
10. Аналіз та прогноз поточної ситуації	Організація даних (Data Warehouse) Ситуаційний аналіз (OLAP, Balanced Scorecard)	Інтелектуальний аналіз (Data Mining), Моделювання (Imitation modeling)
11. Аналіз можливостей та корекція стратегії (системних обмежень)	Організація даних (Data Warehouse). Ситуаційний аналіз (OLAP, Balanced Scorecard)	Інтелектуальний аналіз (Data Mining). Моделювання (Imitation modeling)

В наведеній на рис. 2.5 та у табл. 2.3 і 2.4 моделі враховані всі вищезазначені системні вимоги. Модель повністю відповідає системним обмеженням, що визначені в першому розділі дисертації. Зміна позиції дослідника хоча би в одній з системних вимог або обмежень буде вести до отримання іншої моделі за структурою процедур та за змістом їх інтерпретації.

2.2.2 Інформаційна модель управління поточним функціонуванням

Процес управління поточним функціонуванням безпекової складової міста доповнює системну модель рекурсивними об'єктами 3 та 10 (рис. 2.5). Їх інформаційні моделі наведені у табл. 2.5 та 2.6 відповідно.

Таблиця 2.5 – Процедури рекурсивного об'єкта «Планування та організація поточного функціонування»

Процедури правління (деталізація процедури 3)	Контроль, документ	Зміст рішення
3.1. Формулювання поточного завдання об'єкта	Висновок усвідомлення завдання	3 Системна адаптація завдання об'єкта моніторингу, викладеного у формульному вигляді до функцій міста
3.2. Вхідний нормоконтроль завдання	Висновок поточних обмежень функціонування безпекової підсистеми	3 Моделювання впливу поточних обмежень на можливість виконання завдання
3.3. Розробка замислу реалізації завдання	Замисел	Загально концептуальне рішення щодо реалізації завдання (бізнес-проект)
3.4. Планування ресурсної реалізації завдання	План, розпорядження	1. План ресурсного забезпечення. 2. Попереднє розпорядження про наміри майбутнього використання ресурсів
3.5. Планування взаємодії при реалізації завдання	План, розпорядження	1. План просторово-часового забезпечення. 2. Попереднє розпорядження про наміри взаємодії, використання простору та часу
3.6. Планування регламентної реалізації завдання	План, розпорядження	1. План технологічного процесу (НРП). 2. Попереднє розпорядження про технологію майбутніх дій
3.7. Моніторинг регламентної реалізації завдання	Доповідь, параметр, відео/аудіо	Дані про виконання технологічного процесу (НРП) та попередня оцінка їх норми
3.8. Моніторинг взаємодії та простору	Доповідь, параметр, відео/аудіо	Дані про стан просторово-часових параметрів та попередня оцінка їх норми
3.9. Моніторинг ресурсів	Доповідь, параметр, відео/аудіо	Дані про стан параметрів ресурсів та попередня оцінка їх норми
3.10. Видання організаційних документів	Наказ, розпорядження	1. Наказ про загальний регламент виконання плану поточного завдання. 2. Розпорядження по базовим видам забезпечення та діяльності
3.11. Вихідний нормоконтроль організаційних документів	Аналіз	Системний аналіз готовності організаційних документів
3.12. Корекція завдання	Доповідь, запит, звіт.	1. Звіт про початок та проблеми виконання поточного завдання. 2. Запити допомоги. 3. Доповідь про виконання роботи.

Таблиця 2.6 – Процедури рекурсивного об'єкта «Аналіз та прогноз поточної ситуації»

Процедури управління (деталізація процедури 10)	Контроль, документ	Зміст рішення
10.1. Формулювання критеріїв безпеки функціонування	Витяг	Витяг з Розпорядження про виконання поточного завдання щодо визначених критеріїв безпеки
10.2. Вхідний нормоконтроль даних для моніторингу	Висновок	1. Висновок про повноту даних. 2. Висновок про достовірність даних. 3. Висновок про сумісність даних
10.3. Організація даних та їх оперативний аналіз	Аналіз	1. База даних поточного завдання. 2. Тематична вибірка із сховища даних за критеріями безпеки поточного завдання. 3. Сторінки аналізу поточного завдання у кіосках та вітринах даних
10.4. Аналіз ситуації у стані ресурсів міста	Аналіз, розпорядження	1. Балансовий аналіз ситуації з ресурсами міста 2. Попереднє розпорядження щодо упорядкування ситуації
10.5. Аналіз ситуації у стані простору та регламенті взаємодії	Аналіз, розпорядження	1. Балансовий аналіз ситуації із станом простору та регламентом взаємодії. 2. Попереднє розпорядження щодо упорядкування ситуації
10.6. Аналіз ситуації з дотриманням НРП	Аналіз, розпорядження	1. Балансовий аналіз ситуації з НРП. 2. Попереднє розпорядження щодо упорядкування ситуації
10.7. Інтелектуальний аналіз ефективності поточного НРП	Аналіз (звіт)	1. Аналітична вибірка щодо резервів у поточному НРП 2. Звіт про результати дослідження НРП
10.8. Інтелектуальний аналіз ефективності використання простору, часу та процедур взаємодії	Аналіз (звіт)	1. Аналітична вибірка щодо резервів у використанні простору, часу та процедур взаємодії. 2. Звіт про результати дослідження простору та взаємодії
10.9. Інтелектуальний аналіз даних ефективності використання ресурсів	Аналіз (звіт)	1. Аналітична вибірка щодо резервів у використанні ресурсів. 2. Звіт про результати дослідження ресурсів
10.10. Розробка стратегії щодо подальшої реалізації поточного завдання ІТ	Висновки, наказ	1. Висновки з моделювання стратегій. 2. Висновки з моделювання наслідків реалізації стратегій. 3. Наказ про обрання нової стратегії або про розповсюдження набутого досвіду
10.11. Обрання стратегії подальшої реалізації поточного завдання ІТ	Стратегія	1. Стратегічна концепція загальна та за складовими (ресурси, взаємодія, НРП). 2. Обґрунтування обраної стратегії
10.12. Корекція завдання	Доповідь	Пропозиції до представників органів, які забезпечують безпекову складову у місті, щодо можливостей внесення змін, доповнень, пропозицій

Враховуючи, що технологія IoT та протокол LoRaWAN, як і необхідне програмне забезпечення для управління давачами і стандартизованою продукцією, то, власне, табл. 2.5 та 2.6 дають перелік дій, які слід виконати, для розгортання інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста. Проектні та аналітичні документи, що складають зміст рішення із зазначених таблиць, реалізовані у Технічних вимогах на розробку ескізного проекту «Побудова опорної безпроводової мережі для створення систем раннього оповіщення від техногенних загроз, екологічного моніторингу», що наведено у Додатку Б.

2.2.3 Підхід до моделювання штатної та кризової ситуації в життєвому циклі складної системи

В процесі управління безпековою складовою міста є періоди, коли управління здійснюється не з рівня безпосереднього керівництва міста, а передається відповідним службам, які забезпечують локалізацію та ліквідацію НП. У ці періоди процес управління змінює свою природу з штатного управління на кризове і навпаки. Факт зміни природи процесу управління є визначальним фактором для поєднання технологій штатного й кризового управління в єдиному циклі управління. В інформаційній технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста такий механізм може бути реалізований завдяки застосуванню певних моделей, які дозволяють адаптувати наявні ресурси та НРП до ситуації, що склалася, на базі інформації, що була отримана від давачів на конкретний момент часу.

Обов'язковими передумовами ефективного управління при переході зі штатного на кризовий цикл і навпаки, виступають:

- відповідність призначення ІТ до вимог об'єкта моніторингу, визначених у проектній документації;

- відповідність НРП до базових технологій, наявного ресурсу та його якісного стану об'єкта, який підлягає моніторингу;
- відповідність інформації, що формується для ОПР на основі даних давачів, до реального стану об'єкта управління.

Умови невизначеності інформації є основним обмеженням на етапі формування пулу інформації для ОПР. Розуміння природи і впливу міри невизначеності інформації на ефективність управління можливе лише за умов системної позиції метарівня (див. рис. 2.4) по відношенню до об'єкта управління.

З огляду на те, що інформаційна технологія дослідження параметрів стану довкілля промислового міста повинна функціонувати у відповідності до завдань міста, здійснювати взаємодію із середовищем та забезпечувати умови стійкості безпекової складової міста, показник відповідності поточного стану ІТ системним вимогам можна сформулювати, як здатність функціонувати (F) за призначенням у виконанні завдань моніторингу безпекової складової.

Формалізовано зазначене можна представити наступним чином:

$$F_{IT} = F_1 + F_2 + \dots + F_i + \dots + F_n, \quad (2.1)$$

де:

– $F_1 - F_n$ – перелік типових завдань, які призначена реалізовувати ІТ за призначенням.

Враховуючи (2.1) по відношенню безпекової складової до цільової функції міста, здатність ІТ функціонувати за призначенням і у штатному, і у кризовому режимі може бути представлена наступним співвідношенням:

$$F_{IT} = F_{міста} + F_{вд} + F_{ст}, \quad (2.2)$$

де:

– $F_{вд}$ – здатність ІТ взаємодіяти із середовищем;

– $F_{ст}$ – здатність оперувати НРП для забезпечення стійкості безпекових показників (своєчасність контролю параметрів та роботи систем за існуючими нормами, регламентами та протоколами).

Варто зазначити, що враховуючи (2.2) при моделюванні штатної та кризової ситуації в життєвому циклі складної системи слід намагатися зменшити невизначеність інформації шляхом застосування управління в реальному часі та отримання повної і несуперечної інформації.

2.3 Аналіз системних ознак безпекової складової великого міста за умов невизначеності при змінах цільової функції

Причиною зміни цільової функції безпекової складової міста може виступити надзвичайна ситуація (НС): до виникнення НС цільовою функцією є контроль за показниками, що забезпечують нормальну життєдіяльність людини і оточення, при виникненні НС цільовою функцією стає локалізація, ліквідація ситуації, мінімізація наслідків та повернення аварійної підсистеми до штатного функціонування.

Управління є природною функцією активних об'єктів. Під активним об'єктом розуміємо складну систему, яка має власну функцію цілеспрямування й прийняття рішень, а також адаптивну модель себе самої та навколишнього середовища, включаючи модель управління метарівня, яка цілеспрямовано впливає на об'єкт. Застосуємо таке твердження з системного підходу: несуперечність та повноту будь-якої логічної системи можна встановити, аналізуючи її з позиції доцільності для метарівня. Повноту знань про складну систему з позиції кібернетики [23] можна розглядати як ступінь реалізації всього комплексу знань про зміст технологічних процедур циклу управління, а несуперечність – як достовірність інформації, що циркулює в системі управління.

Потреба в системному підході до аналізу складної системи, який вимагає враховувати відносини інформаційної технології, що розробляється, до задач і функцій міста, щодо якого забезпечується безпекова складова, взаємодію із навколишнім середовищем та із своїми складовими: ресурсами, інфраструктурою та НРП функціонування. Системний підхід примушує розглядати складну систему з позиції процесу управління і, зокрема, з позиції послідовної видозміни інформації в процедурах технологічного циклу управління з метою належного її представлення ОПР.

Складна система типу активний об'єкт є сукупність структурно упорядкованих ресурсів, пов'язаних єдиною метою (наприклад, призначенням ІТ), балансується інформацією про НРП функціонування у формі рішень ОПР (акти реалізації повноважень). В системі управління містом циркулює інформація про стан ресурсів, дотримання нормативних документів та акти реалізації повноважень всієї ієрархії персоналу.

З позиції структури знань про складну систему ресурси міста та ресурси просторово-часової організації (інфраструктури) однаково є ресурсами міста, а регламент використання просторової складової (взаємодії із середовищем) однаково є НРП функціонування.

Внутрішні нормативні акти є керівними рішеннями ОПР міста і мають форму керівних стимулів (наказів, розпоряджень, команд, сигналів), звітів (даних моніторингу, доповідей), висновків з аналізу подій (усвідомлення проблеми, замисел вирішення проблеми), технологій (завдань, планів дій, програм дій).

Інформація про динамічну складову системи, яка піддається моніторингу, міститься в знаннях про типові технології, що передбачені проектом ІТ, в наказах та розпорядженнях, які встановлюють поточні НРП, в програмах та планах дій.

Інформація про статичну складову системи міститься в знаннях про ресурси і визначається даними моніторингу ресурсів.

Інформація про організацію використання простору та про організацію взаємодії із середовищем міститься у початковому наказі про впровадження ІТ. Вона також має свою статичну та динамічну складові і в загальному витоку інформації в системі управління організується за тими самими правилами.

Персонал системи одночасно є її ресурсом, носієм інформаційної складової та цільової функції. Частина персоналу відокремлюється в орган управління. Технологія функціонування органу управління містить у собі процедури та операції з послідовної трансформації початкового акту волі (завдання) міста у рішення для досягнення мети отриманих завдань та зворотного контролю про стан системи контролю складової, що підлягає моніторингу.

Мета існування ІТ формулюється органом управління містом, яка утворює цей об'єкт для реалізації певної частини своїх функцій та завдань. Метасистема формулює цільову функцію своїх об'єктів у термінах їх призначення. Для її адаптації до позиції міста треба переформулювати цільову функцію з огляду на системні обмеження щодо функціонування ІТ, визначити перелік типових завдань, які реалізуються за типовими проектними технологіями (рис. 2.6).

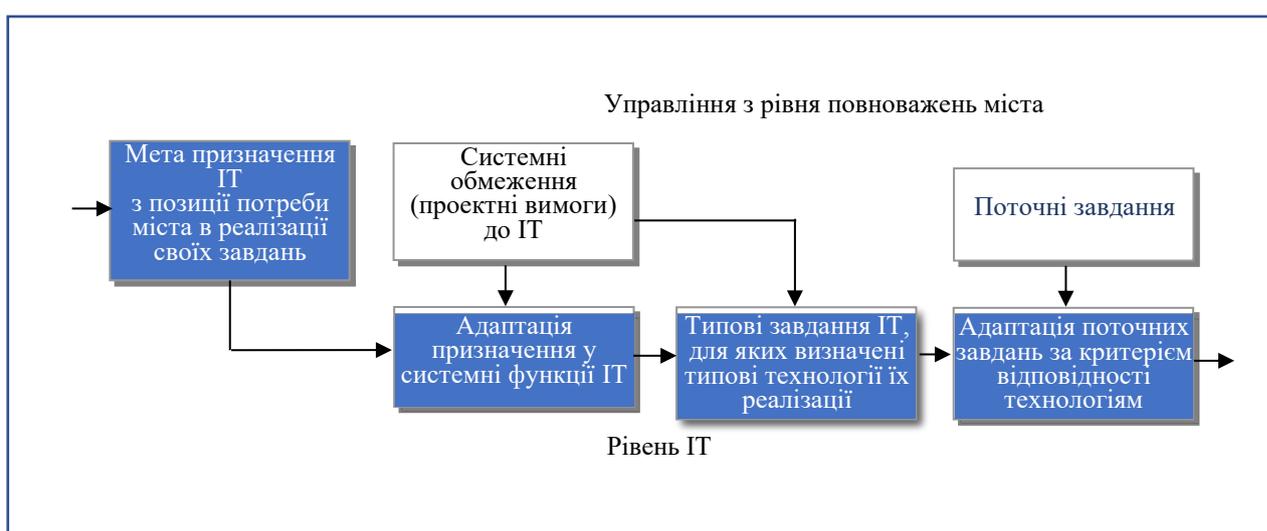


Рисунок 2.6 – Перетворення цільової функції в процедурах управління та її відображення у схемі функціонування ІТ

Наведене перетворення інформації є принципово важливим для ефективного управління складною системою. Від неї залежить вхідна позиція ІТ для аналізу отриманих актів ОПП міста: накази й розпорядження з метарівня оцінюються за критерієм їх відповідності призначенню ІТ, дотриманню системних обмежень, відповідності функціям та завданням об'єкта.

Зазначене може бути представлено як блок вхідного контролю ІТ документів та розпоряджень (рис. 2.7). Накази, що виходять за межі вимог вхідного контролю, не можуть бути реалізовані, бо міститимуть у собі з позиції ІТ системні похибки, що не можуть бути усуненими з рівня ІТ. Тобто заздалегідь відомо, що такі накази повністю або частково не можуть бути виконаними.

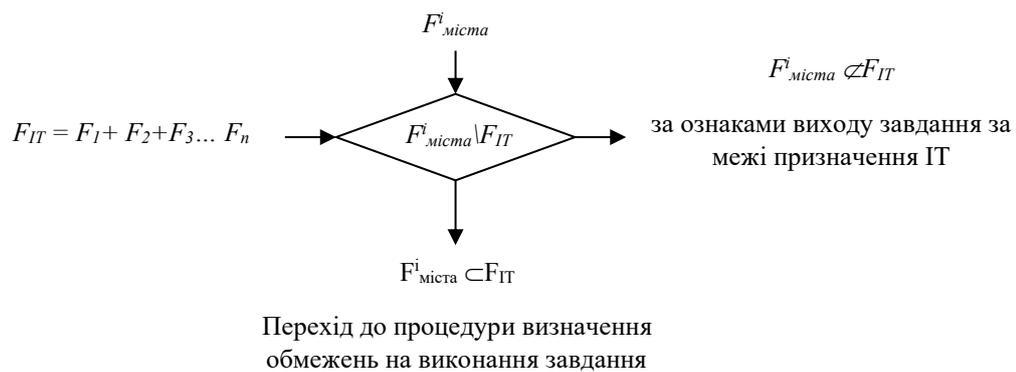


Рисунок 2.7 – Блок вхідного контролю ІТ

Такі ж самі перетворення інформації відбуваються в ІТ за ознаками відповідності вимог забезпечення безпеки довкілля до ресурсного потенціалу та виконання НРП завдання, що у формульному вигляді можна представити, як $F^i_{міста} = f(x, y, q)_{міста}$ з системними обмеженнями ІТ: $F_{IT} = f(x, y, q)_{IT}$ на ресурси (x), НРП функціонування (y) та наявність можливих служб подолання НС (персонал) (q) (рис. 2.8).

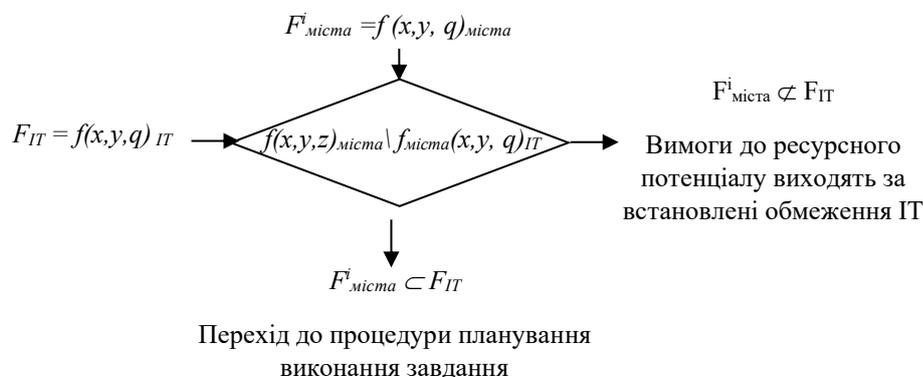


Рисунок 2.8 – Блок перетворення інформації за ознаками відповідності ресурсного потенціалу

На третьому етапі адаптації цільової функції ІТ до вимог безпекової складової міста повинен виконуватися комплекс процедур формування пулу інформації від системи – множини даних, яку потребують ОПР міста для подальших дій з покращення і підсилення безпекової складової (рис. 2.9).

Наведена блок-схема (рис. 2.9) є узагальненою, бо на етапі перевірки вхідної інформації на відповідність та збору первинних даних повинен запуститися і виконатися підпроцес, який передбачає:

- контроль вхідної інформації з рівня міста $F^i_{місто}$;
- відповідність інформації вимогам міста $f(x,y,q)_{місто}$ та статистичним оцінками в ІТ $f(x,y,q)_{IT}$;
- відповідність всієї вхідної інформації системним вимогам $F^i_{місто} = f(x,y, q)_{IT}$;
- формування набору первинних даних;
- систематизація набору первинних даних;
- обробка набору первинних даних $F'_{IT} = \{X; Y; Q\}$ з деталізацією масиву ресурсів (X), переліку НРП виконання (Y) та наявності і повноважень ОПР щодо наявних умов розвитку ситуації (Q).

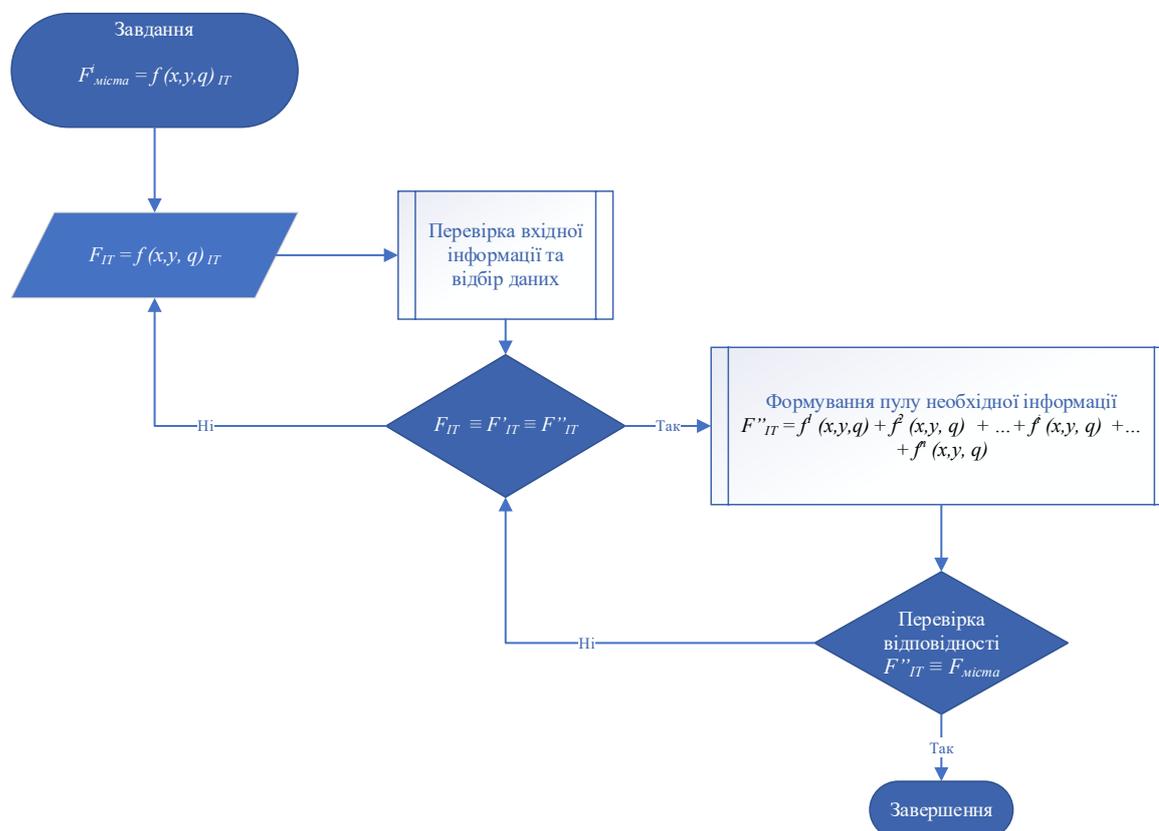


Рисунок 2.9 – Комплекс процедур формування пулу інформації для ОПР

У блоці формування пулу інформації для ОПР подається агрегована інформація, яка за потреб може мати розгорнуту деталізацію.

Комплекс процедур завершується перевіркою відповідності не лише отриманої інформації, а й за наявними ресурсами, НРП та повноваженнями ОПР щодо приведення безпекової складової до стану, що відповідає встановленим нормативним документами та встановленим параметрам функціонування.

З наведеного рис. 2.9 випливає також циклічність процесу перебору необхідної інформації з її наступною обробкою. Ця циклічність проявляється з наступних причин:

– управління життєвим циклом об’єкта, який підлягає моніторингу. З позиції ІТ цей контур управління по відношенню до нього реалізує орган управління містом. За допомогою ІТ здійснюється лише контроль відповідності об’єкта моніторингу вимогам міста, а також моделювання

розвитку стану чи станів в залежності від зміни параметрів. По відношенню міста, як складної системи, інформаційна технологія реалізує цей цикл у повному обсязі;

– управління взаємодією. Цей контур управління містить у собі процедури планування взаємодії міста за допомогою ІТ з навколишнім середовищем: постачання витратних ресурсів, утилізація (видалення відходів функціонування), організація простору під завдання свого функціонування, користування послугами об'єктів середовища (юридичні, медичні, санітарні та ін.);

– управління поточним функціонуванням. Цей контур управління містить у собі процедури організації реалізації поточних завдань. Кількість паралельних завдань визначає кількість паралельних циклів управління;

– управління безпекою через отриману інформацію, як основна функція ІТ. Ці процедури входять до складу всіх контурів управління як контроль за дотриманням штатної ситуації через процедури моніторингу стану ресурсів та НРП, а також процеси відновлення (ремонт, лікування).

Останній пункт підкреслює задачу функціонування інформаційної технології – інформація повинна бути не лише зібрана від давачів і передана ОПР, а й оброблена за вимогами, що були висунуті на етапі проектування системи від міста та ОПР, як представників міста. Враховуючи це, інформація, отримана в процедурі перевірки вхідної інформації та відбору даних, розпадається завдання щодо мети дій (отримання необхідної інформації про стан об'єкта) на складові за схемою (рис. 2.10):

- а) типові завдання (1);
- б) поточне завдання (2);
- в) мета реалізації (3);
- г) план (алгоритм) формування (4);
- д) документ, за яким формується необхідна вибірка інформації (5);
- е) деталізація за видами діяльності (6);
- ж) пул інформації, який є результатом обробки.

На етапі реалізації зворотного зв'язку в процесі управління інформація знов агрегується за схемою (рис. 2.10):

- а) дані моніторингу ресурсів та виконання НРП (7);
- б) звіт системи про вибірку (8);
- в) аналіз моделі розвитку ситуації поточного процесу (9);
- г) аналіз стану об'єкта, який підлягає моніторингу, у життєвому циклі (накладання моделі поточної ситуації на модель штатного управління) (10);
- д) модель розвитку можливих подій (11);
- е) корекція роботи об'єкта, який підлягає моніторингу (12).

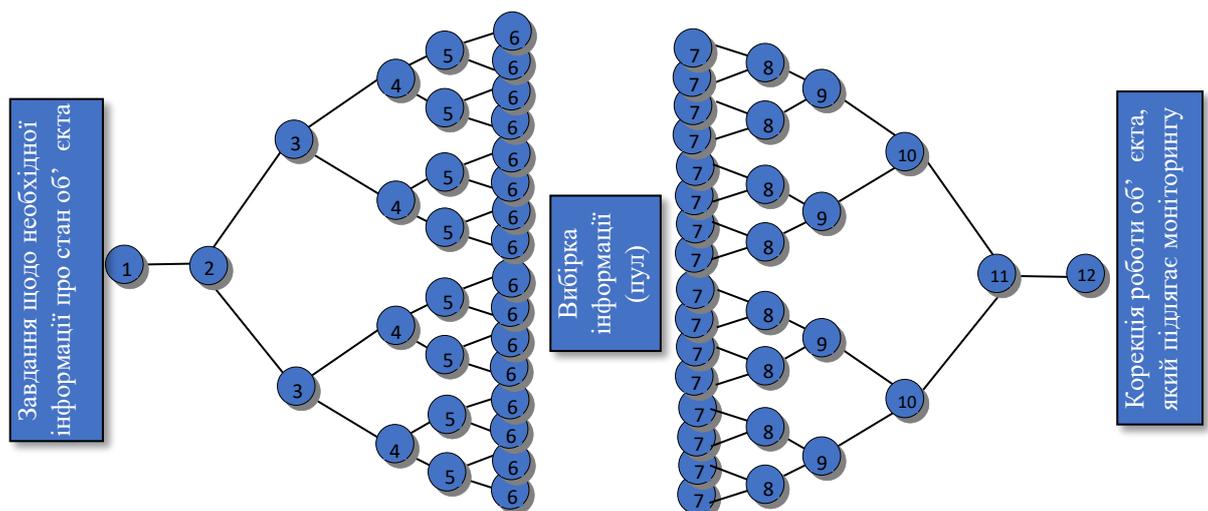


Рисунок 2.10 – Перетворення інформації в процесі обробки даних, отриманих від давачів, до документу для ОПР і дій з корекції роботи об'єкта, який підлягає моніторингу

Процедури 7 – 12 (рис 2.10) дозволяють обробити і співставити наявну інформацію про стан середовища та ресурси, які здатні повернути функціонування підсистеми до штатного режиму роботи:

- моніторинг НРП та повноважень (Y_n, Q_n);
- моніторинг середовища ($X_n|cp$);
- моніторинг ресурсів ($X_n|p$).

У цьому випадку рис. 2.9 можна доповнити додатковим блоком (рис. 2.11), який дозволяє провести розрахунок відповідності ресурсів, дій, повноважень для визначення ситуації:

$$F'''[(X_n \setminus cp + X_n \setminus p), Y_n, Q_n] / F''[(Xcp + Xp), Y, Q].$$

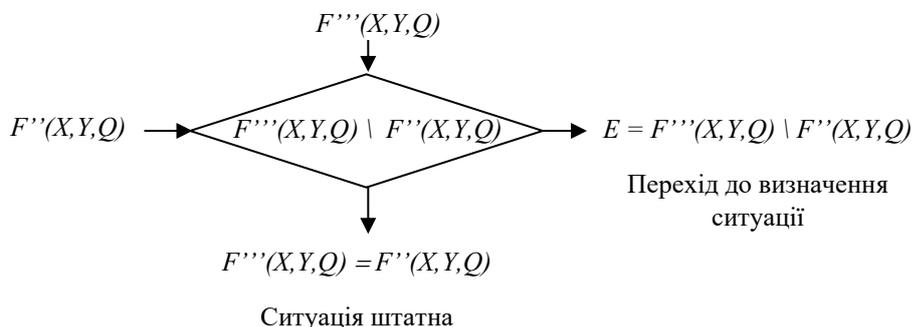


Рисунок 2.11 – Блок ІТ розрахунку відповідності ресурсів

Перехід до визначення ситуації (рис. 2.11) передбачає на основі отриманої інформації перехід до побудови моделі поточного стану об'єкта, який підлягає моніторингу, та корекції обраної стратегії у життєвому циклі міста для забезпечення безпекової складової $E_{min} < E < E_{opt}$, а також формулювання змін $E \rightarrow E_{opt}$ на поточному етапі розвитку складної системи на основі отриманої від ІТ вибірки інформації щодо події $F'''(X, Y, Q) = F(IT) = F(місто)$.

Взаємодія зазначених аспектів роботи ІТ повинна реалізувати її призначення. Суть взаємодії полягає в тому, що ресурси, НРП та рішення ОПР також по черзі стають активним, пасивним фактором та фактором, який балансує. Так, інформація про стан ресурсів породжує рішення, які баланшуються типовими процедурами НРП їх реалізації; НРП регулюється рішеннями за умов балансу визначених ресурсів для їх реалізації та ін. При цьому цільова функція лишається незмінною на протязі життєвого циклу інформаційної технології.

Із наведеного системного аналізу стає зрозумілим природа і взаємозалежність базових процесів, які протікають при функціонуванні ІТ, та базових функцій складної активної системи міста (табл. 2.7).

Таблиця 2.7 – Природа та взаємозалежність базових процесів та функцій

Ознаки складної системи	Базові процеси функціонування ІТ	Базові задачі управління ІТ
Функціонування в інтересах метасистеми	1. Зростання	1. Синтез інформації
	2. Зміна природи	2. Корекція проведених розрахунків при обробці інформації
Взаємодія з довкіллям	3. Відновлення	3. Моделювання
	4. Деградація	4. Аналіз безпеки ситуації
Функціонування в інтересах безпеки міста	5. Руйнування	5. Формування звітів для ОПР
	6. Споживання	6. Моніторинг

Розуміння природи базових процесів (табл. 2.7) дозволяє уніфікувати при створенні інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста на базі енергоефективних протоколів далекого радіусу дії окремі функції та задачі. З наведеного, лише процес деградації, пов'язаний зі старінням, зношенням ресурсів, використаними ресурсів не за призначенням та не в межах НРП, не є уніфікованим, і призводить до невизначеності, викривлення інформації про наявні ресурси, необхідні для подолання НС, що виникла або може виникнути. В проектних технологіях цьому процесу повинен протистояти процес дотримання безпеки функціонування та чіткого виконання НРП.

2.4 Узгодженість інформаційної технології з потребами системи, щодо якої відбувається моніторинг параметрів стану

Технічну основу управління інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста складають: базова система

зв'язку у складі мереж телекомунікації та базова система інтелектуалізації у складі програмно-апаратних комплексів і систем. Базові технічні системи мають свої технології застосування (B_{mk} , B_{im}), які вносять певний здобуток у загальний комплекс базових типових технологій функціонування ІТ ($B_{\text{бт}}$). Загальна ефективність функціонування залежить від ефективності управління системою її персоналом і складається з ефективності телекомунікацій (B_{mk}), ефективності типових інформаційних технологій (B_{im}) та ефективності обраної моделі управління (функціонування) ($B_{\text{бт}}$).

$$B = B_{\text{бт}} + B_{mk} + B_{im}. \quad (2.3)$$

Таким чином, виходячи з моделі (2.3) шляхами до підвищення ефективності функціонування інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля є: модернізація технічної основи системи управління, підвищення ролі засобів інтелектуалізації та модернізація базової моделі ІТ.

У практиці функціонування подібної ІТ неефективність системи управління виявляється як нездатність своєчасно і повно виконати завдання від ОПР міста, нездатність тримати ІТ у стані стабільної готовності до функціонування за призначенням (своєчасно отримувати та обробляти інформацію від давачів). Як правило, це стає причиною створення ІТ за поставленими задачами згідно технічних вимог (Додаток В), і якщо, навіть використовується типова специфікація та протоколи LoRaWAN, пошук рішення ведеться у напрямку вдосконалення технічної платформи та сервісів обробки інформації з врахуванням керуючих впливів та обмежень об'єкта спостереження:

$$B = B_{mk} + B_{im} \quad \text{при} \quad B_{\text{бт}} = const. \quad (2.4)$$

Але досвід академіка В.М. Глушкова [23, 39] свідчить, що здобуток цих складових у ефективність управління значно менший, ніж здобуток від модернізації базової технології ІТ на засадах підвищення міри визначеності інформації в системі управління.

Тобто здобуток ефективності управління від адекватних до ситуації рішень ОПР значно більший, ніж здобуток ефективності управління від модернізації каналів зв'язку та засобів інтелектуальної підтримки рішень в умовах невизначеності:

$$B = B_{om}, \quad \text{при} \quad (B_{mk} + B_{im}) = const. \quad (2.5)$$

Коли модернізація системи зв'язку та засобів інтелектуалізації проведена, а ефективність управління не відповідає потребам об'єкта управління, настає черга модернізації базових технологій управління.

В моделі перетворення інформації в процесі обробки даних, отриманих від давачів, до документу для ОПР і дій з корекції роботи об'єкта, який підлягає моніторингу (рис. 2.10), наведена технологія поступового переходу від інформаційної невизначеності завдання (п.1) до повної визначеності команд і сигналів на його реалізацію (п.6) і зворотна трансформація від маси неупорядкованих даних моніторингу (п.7) до повного аналізу стану системи (п.10) і її нових можливостей (п.11).

Модель показує потребу в перевірці інформації на різних рівнях її перетворення щодо її несуперечності та повноти. Реалізація такого підходу в практиці управління зустрічається здебільшого в банкових та маркетингових системах, де об'єктом управління є гроші. В організаційних системах цей підхід майже не застосовується. Юридичну перевірку відповідності актів ОПР та облік ресурсів до нормативно-правового поля ще здійснюють, а повнотою та несуперечністю даних про НРП здебільшого нехтують. Неузгодженість програм і планів, суперечність законів та нормативних актів ведуть до зростання ентропії інформації управління.

Ентропія як міра невизначеності інформації, яку продуктує стохастичне джерело в період часу t , має декілька способів її вимірювання. Наприклад, міра невизначеності інформації К. Шенона характеризує здебільшого канали зв'язку та процеси передачі повідомлень. За Хартлі міра різноманіття інформації розглядає процеси вибору переходу станів між системами і характеризує базові процеси. Вимірювання за А. Харкевичем розглядає смисловий сенс інформації з кореляцією до мети дослідження, але не розглядає детермінований цикл управління [90 – 91].

З огляду на те, що для створення інформаційної технології, призначеної для забезпечення моніторингу безпекової складової міста, з використанням типових специфікації та протоколів, розробити власний сервіс отримання вибірки інформації з масиву даних, для забезпечення роботи ОПР міста у деякий час t . А для цього, в свою чергу, змодельовати кількість необхідних датчиків для окремого об'єкта спостереження, а також створити модель визначення відповідності ресурсів, необхідних для подолання НС, яка може виникнути на об'єкті спостереження. У зазначеному випадку, при розробці ІТ, акцент зміщується саме на відповідність поточної інформації, яка визначає конкретний кількісний та якісний стан ресурсів системи (X), кількісний та якісний стан виконання елементарних операцій з НРП (Y), наявність і компетентність ОПР при змінах і станах ресурсів та НРП (Q) до проектних або планових значень цієї інформації.

У цьому випадку міра невизначеності для процесу управління (E) буде відображати відсутність, суперечність та несвоєчасність інформації про ресурси, НРП, некомпетентність ОПР. Для її застосування потрібні системні умови до формування бази даних в ІТ. Такими умовами виступатиме структура записів інформації в бази даних ІТ (табл. 2.8).

Таблиця 2.8 – Вимоги до структури записів до бази даних ІТ

Ім'я запису	Інформація про ресурси	Інформація про НРП	Інформація про рішення з боку ОПР	Інформація про відповідність переданої агрегованої інформації до задач ліквідації НС
1) ...	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Q</i>	<i>E</i>

Системні вимоги до структури записів у базі даних ІТ створюють умови для можливості порівняння записів з метою отримання міри невизначеності інформації, яка надається ОПР для прийняття рішення і дозволяє визначити ефективність створеної технології.

2.5 Висновки за розділом 2

В другому розділі представлені методологічні дослідження формування комплексу системних вимог для реалізації інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста:

1) Розроблена інформаційна модель процесу управління сучасного міста з врахуванням критерію часу, яка дає можливість при створенні ІТ дії усвідомити, що управління ситуацією є процесом підтримання балансу норм, регламентів та протоколів на засадах порівняння екстраполяції поточної ситуації до ідеальної ситуації за критерієм дотримання цільової функції.

2) Представлена системно-технологічна модель циклу управління безпековою складовою міста, як підсистеми складної системи, проведена класифікація процедур циклу управління щодо видів управлінської діяльності, досліджена відповідність процедур циклу управління змісту рішення та виконана класифікація вимог щодо адаптації рекурсивних об'єктів при

розробці інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста.

3) Проведений аналіз системних ознак безпекової складової великого міста за умов невизначеності при змінах цільової функції. Виявлено і доведено, що причиною зміни цільової функції безпекової складової міста може виступити надзвичайна ситуація: в штатному режимі роботи відбувається контроль і моніторинг, у разі виникнення аварійної ситуації – локалізація, ліквідація, мінімізація наслідків та повернення до штатного функціонування.

В процесі роботи розроблена блок-схема комплексу процедур формування пулу інформації для осіб, що приймають рішення.

4) Досліджені особливості щодо узгодженості інформаційної технології з потребами системи, щодо якої відбувається моніторинг параметрів стану. Визначені особливості структури записів у базі даних для можливості порівняння з метою отримання міри невизначеності інформації, яка надається ОПР для прийняття рішення і дозволяє визначити ефективність створеної ІТ.

5) Наведені в другому розділі матеріали були частково представлені у науковій публікації [92].

РОЗДІЛ 3

СЕРВІС ФОРМУВАННЯ ПУЛУ ІНФОРМАЦІЇ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ АНАЛІТИЧНОЇ ФУНКЦІЇ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ

3.1 Визначення множин даних та побудова на цій основі вибірки для створення пулу інформації

Представлена блок-схема комплексу процедур формування пулу інформації для осіб, що приймають рішення (див. рис. 2.9) дозволяє розглянути отримані дані від давачів як деяку множину, з якої за допомогою спеціальної символічної мови вичленовуються дані, з яких формується пул, для представлення ОПР стосовно характеристики події на об'єкті дослідження.

Пулом в інформаційних технологіях розуміється набір фізичних чи віртуальних об'єктів для виконання однієї спільної функції [93]. Інформація пулу формується за необхідністю (за запитом) і після цього її збереження не обов'язкове, адже множина первинних даних знаходиться в базі даних і в будь-який момент можна зробити новий запит на вибірку.

Створення інформаційного пулу може базуватися на наявній у базі даних інформації про ресурси та технології функціонування об'єкта спостереження. Для цього можна використати технологічні карти та мережні графіки процедур, що входить до стандарту специфікації LoRaWAN. Відповідні рішення ОПР щодо управління ситуаціями різних часових періодів також варто формалізувати із занесенням в базу даних. Можливі варіанти такої формалізації у цій роботі не досліджуються і розуміються як дані. Адже повна сукупність знань про об'єкт спостереження або підсистему моніторингу в цілому наведена у нормативно-правових документах і її можна представити формально як суму записів у базі даних, яка використовується для роботи окремих сервісів мережі, як дані про ресурси (X), НРП (Y) та дії ОПР на основі

показників давачів інформації про стан об'єкта, за яким відбувається спостереження (набір даних від давачів) (Q):

$$X(a, b, c, d) = \sum_{i=1}^n x_i(a, b, c, d), \quad (3.1)$$

на множині записів про ресурси $I = \{ i \mid 1 \leq i \leq n \}$,

де:

a – вид, найменування ресурсу;

b – кількість;

c – структурна належність;

d – ознаки останнього рішення, яким чином наявний ресурс був застосований до об'єкта спостереження.

Аналогічно можна представити запис щодо застосування норм, регламентів та протоколів до вирішення поточної або аварійної ситуації на об'єкті спостереження. Тобто, на множині записів про НРП $J = \{ j \mid 1 \leq j \leq m \}$:

$$Y(a, c, d, e) = \sum_{j=1}^m y_j(a, c, d, e), \quad (3.2)$$

де:

a – ім'я елементарної операції з проектних технологій функціонування;

c – структурна належність до технологічної процедури;

d – код ОПР, який задає дію з виконання технологічної процедури щодо об'єкта спостереження;

e – код ОПР, який виконує застосування дій до об'єкта спостереження.

Відповідно, кожна дія, що застосовується до об'єкта спостереження на основі отриманої вибірки інформації та рішення щодо застосування цієї інформації, може бути представлена на множині записів про наявні результати спостереження, тобто, $Q = \{ q \mid 1 \leq q \leq l \}$:

$$Q(a, c, d, e) = \sum_{q=1}^l q_j(a, c, d, e), \quad (3.3)$$

де:

a – ім'я елементарного рішення (зберігати, перемістити, використати і т.п.) з проектних технологій функціонування;

c – структурна належність даних (рядок, вибірка, масив);

d – код запису даних у множині;

e – код запису даних у вибірці.

У цьому випадку міру невизначеності інформації управління E може виступати показник відношення загальної суми неповних записів у базі даних про ресурси, НРП та рішення, що їх регламентують, до ідеально повної бази даних:

$$E(x, y, q) = (\sum_{i=1}^n x'_i + \sum_{j=1}^m y'_j + \sum_{q=1}^l q'_j) / \sum_{i=1}^n x y q, \quad (3.4)$$

що сумуються по означеним множинам записів $I = \{ i \mid 1 \leq i \leq n \}$, $J = \{ j \mid 1 \leq j \leq m \}$, $Q = \{ q \mid 1 \leq q \leq l \}$. Якщо $E(x, y, q) \rightarrow 0$, то виникає проблема невизначеності знань про поточний стан об'єкта, і необхідно сформулювати додатковий пул інформації. При $E(x, y, q) \rightarrow 1$, підвищується визначеність, і наявної інформації є достатньо, додатковий пул інформації формується за необхідністю (за запитом окремого ОПР). У разі $E(x, y, q) = 1$ існує достатня кількість інформації про стан об'єкта. Пул інформації не формується. Наявний пул після використання не зберігається.

Метою формального визначення міри невизначеності інформації управління є отримання показників, за ознаками яких ОПР буде здійснювати критеріальну оцінку стану системи та адекватність своїх рішень до цього стану.

Програмно реалізувати необхідний пул даних можна, наприклад, стандартизованою мовою Haskell, що використовується для вирішення задач загального призначення, або C# без обмежень за його розмірами за допомогою

стандартних бібліотек. Спочатку створюються об'єкти, які потім поєднуються у пул:

```
public ObjectPool(IPoolObjectCreator<T> creator)
{
    if (creator == null) {
        throw new ArgumentNullException("creator can't be null");
    }
    this._objectCreator = creator;
}
/// <summary>Gets an object from the pool.</summary>
/// <returns>An object.</returns>
public T GetObject()
{
    T obj;
    if (this._container.TryTake(out obj)) {
        return obj;
    }
    return this._objectCreator.Create();
}
```

Або за допомогою мови Java (стандартний підхід) [87]:

```
public class PooledObjectPool {
    private static long expTime = 6000; //6 seconds
    public static HashMap<PooledObject, Long> available = new
HashMap<PooledObject, Long>();
    public static HashMap<PooledObject, Long> inUse = new
HashMap<PooledObject, Long>();

    public synchronized static PooledObject getObject() {
        long now = System.currentTimeMillis();
        if (!available.isEmpty()) {
            for (Map.Entry<PooledObject, Long> entry :
available.entrySet()) {
                if (now - entry.getValue() > expTime) {
//object has expired
                    popElement(available);
                } else {
                    PooledObject po = popElement(available,
entry.getKey());
                    push(inUse, po, now);
                    return po;
                }
            }
        }

        // either no PooledObject is available or each has expired, so
return a new one
        return createPooledObject(now);
    }

    private synchronized static PooledObject createPooledObject(long now)
{
        PooledObject po = new PooledObject();
        push(inUse, po, now);
        return po;
    }
}
```

```

    }

    private synchronized static void push(HashMap<PooledObject, Long> map,
        PooledObject po, long now) {
        map.put(po, now);
    }

    public static void releaseObject(PooledObject po) {
        cleanUp(po);
        available.put(po, System.currentTimeMillis());
        inUse.remove(po);
    }

    private static PooledObject popElement(HashMap<PooledObject, Long>
map) {
        Map.Entry<PooledObject, Long> entry =
map.entrySet().iterator().next();
        PooledObject key= entry.getKey();
        //Long value=entry.getValue();
        map.remove(entry.getKey());
        return key;
    }

    private static PooledObject popElement(HashMap<PooledObject, Long>
map, PooledObject key) {
        map.remove(key);
        return key;
    }

```

Приклади лістингу кодів варіантів можливої програмної реалізації інформаційних пулів різними мовами програмування наведено в Додатку Г.

3.2 Вимоги до організації інформації в базі даних для отримання вибірок за запитом

3.2.1 Показник повноти інформації в системі управління джерелами (давачами) інформації

Міра невизначеності інформації управління $E(x,y,q)$ за своєю суттю і є показником неповноти інформації для визначення ситуації та прийняття відповідних до ситуації рішень. Основний критерій оцінки стану об'єкта моніторингу визначається як здатність об'єкта управління функціонувати за

призначенням. Відповідно до системного погляду на складну систему з позиції метасистеми (міста), можна визначити три види ситуації, за якими ОПР міста потребують деталізації інформації і створення певної вибірки даних для прийняття рішення:

– локальна криза А – дані одного з давачів інформації значно відрізняються від даних інших давачів, розташованих у «зірці» (серед аналогічних кінцевих пристроїв, від яких йдуть дані на один сервер);

– локальна криза В – нездатність кінцевого пристрою реалізувати кілька своїх базових функцій в поточному функціонуванні (ймовірна несправність давача);

– криза С на масштабі життєвого циклу – інформація від давачів свідчить про наявність НС.

Показник ситуації на масштабі життєвого циклу $C - E_c(x,y,q)$ буде фільтруватись із загальної суми неповних записів $E(x,y,q)$ за ознаками належності записів до знань про життєвий цикл об'єкта $P_{жц}$.

$$E_c(x,y,q) = E(x,y,q) P_{жц}. \quad (3.5)$$

Ситуацію з (3.5) визначатиме співвідношення $E_c(x,y,q)$ до певного граничного значення $S_{жц}$, перевищення якого перетворює штатну ситуацію у кризову. У цьому випадку ОПР припиняє штатний режим управління і вимагає додаткової інформації для уточнення ситуації та підключення додаткових ресурсів для локалізації і ліквідації кризи. Тобто,

$$E_c(x,y,q) < S_{жц} = const. \quad (3.6)$$

У випадку локальних криз А та В додаткова інформація буде відбиратися із загальної суми неповних записів $P_{неп}$ від давачів. При локальній кризі А: $E_A(x,y,q)$ відбирається до моменту фіксування відмінностей в своїй роботі з $E(x,y,q)$, за ознаками належності записів до бази про виконання

давачем окремих елементарних процедур і операцій в технології виконання поточного завдання:

$$E_A(x, y, q) = E(x, y, q) P_{неп}. \quad (3.7)$$

Ситуацію визначатиме співвідношення $E_A(x, y, q)$ до певного граничного значення $S_{неп}$, зміна якого перетворює штатну ситуацію у локальну кризу на масштабі виконання окремого завдання із забезпечення безпекової складової міста. Порівняння показників від інших давачів дозволяє вирішити кризу А локально:

$$E_A(x, y, q) < S_{неп} = const. \quad (3.8)$$

Аналогічно (3.7) та (3.8) розглядається і ситуація В, однак там порівняння йде за показниками однакових за типом датчиків, розташованих в різних районах міста. Неповнота ситуації визначається на граничному значенні, коли давач інформації перестав реагувати на запити.

3.2.2 Показник несуперечності інформації при її надходженні від давачів

Повнота інформації є необхідною, але недостатньою умовою для створення інформаційного пулу для ОПР. При здійсненні вибору необхідної інформації вона повинна відповідати умові несуперечності. Суперечність може бути виявленою шляхом порівнянь ідентичних ознак у записах про різні види інформації що належать до одного імені:

$$x_i(a, b, c, d) \cong y_i(a, c, d, e) \equiv q_i(a, c, d, e) \text{ при } a = \text{const}, \quad (3.9)$$

де:

a – позначення давача інформації у базі даних;

b – НРП, якими керується цей давач;

c – до якої «зірки» належить давач (місце розташування);

d – інформація про попереднє опитування давача;

e – інформація про контрольне опитування давача.

Вид інформації, виток якої не викликає сумніву, у випадку суперечності приймається за ідеальний, суперечне значення відкидається. Відкидання суперечної інформації робить запис неповним, що збільшує міру невизначеності, однак зменшує наявність недостовірної інформації, використання якої в рішеннях ОПР веде до хибності.

У загальному вигляді показник несуперечності інформації K можна визначити так: якщо інформація не належить хоча б однією своєю характеристикою до визначеної проектом області значень, то така інформація суперечна і має бути перевіреною прямими та непрямими методами.

$$\begin{aligned} x_i(a, b, c, d) &\notin X; \\ y_i(a, c, d, e) &\notin Y; \\ q_i(a, c, d, e) &\notin Q; \\ K &\notin X, Y, Q. \end{aligned} \quad (3.10)$$

Виходячи з (3.10), скасуванню може підлягати та характеристика, яка є суперечною і не піддається перевірці. Замість неї в інформацію додається еталонне значення цієї характеристики, а вся інформація позначається як суперечна.

3.2.3 Показник управління в реальному часі

Ознаку своєчасності інформації можна розглядати за показником здійснення моніторингу системи в реальному часі T . Якщо прийняти, що записи здійснюються в двійковій системі, то своєчасна інформація позначається, як $T = 0$, а несвоєчасна $T = 1$. Відповідно, подібні означення повинні бути застосовані на конкретному визначеному часовому проміжку $(t_0 - t_k)$, бо тільки у цьому випадку можна визначити, чи є інформація в запису є актуальною, чи навпаки.

У загальному вигляді зазначене можна представити як додаткову залежність інформації управління від відрізка часу, на якому вона є актуальною:

$$\begin{aligned} x_i(a, b, c, d, t_0 - t_k) &\in X; \\ y_i(a, c, d, e, t_0 - t_k) &\in Y; \\ q_i(a, c, d, e, t_0 - t_k) &\in Q; \\ T &= 0 \text{ при } t_0 < t < t_k. \end{aligned} \tag{3.11}$$

Крім вже наведених у формулах (3.9 – 3.10) визначень для a, b, c, d, e , додатково у записах бази даних враховуються ознаки актуальності запису у часі на інтервалі актуальності $t_0 < t < t_k$. Інтервал актуальності може бути задано при запиті на вибірку інформації. Вихід інформації за введений інтервал часу робить інформацію неактуальною.

3.3 Застосування рекурсивного копіювання даних для інформування та моніторингу стану об'єкта спостереження

Задавання набору способів визначення та перевірки ситуації шляхом вибору необхідних даних та їх візуалізації, можливо реалізувати на основі системно-технологічної моделі циклу управління безпековою складовою міста, що наведена у розділі 2 (рис.2.5). Застосування до цієї моделі правила рекурсивного копіювання є системно обґрунтованим з огляду на той факт, що технологія змін при обробці інформації в послідовності процедур цієї моделі є за структурою та змістом алгоритмом, до якого можливо застосувати правила з теорії алгоритмів [94 – 95], зокрема, і адаптувати алгоритм Тюрінга [96 – 97]. Так, з огляду на опис системної моделі циклу управління (див. рис. 2.5), представлене трансформується у модель (рис. 3.1), яка визначає правило виклику рекурсивних копій для складних процедур вибору необхідних списків чи кортежів інформації, а також побудова інформації за графом без циклу (рекурсійне дерево) [98], яке пов'яже в собі представлення події за низкою показників з врахуванням періодів, або параметрів на різних часових інтервалах, що характеризують стан об'єкта спостереження.

У наведеній на рис 3.1 моделі поєднуються три контури, за якими інформація щодо безпекової складової, є актуальною на проміжку деякої НС: стан системи, яка підлягає моніторингу, взаємодія із середовищем і процедури щодо повернення системи до штатного режиму роботи. Четвертим контуром виступає саме агрегована інформація – стосовно утримання в межах системних вимог об'єкта, який підлягає моніторингу (результати реалізації НРП). Все це – гілки управління, за якими ОПР потребує вибірку інформації стосовно поточного стану. Зазначені контури об'єднуються «стовбуром» дерева – засобами телекомунікацій разом із засобами відображення інформації, які поєднані в єдину командно-сигнальну систему, що функціонує в реальному часі.

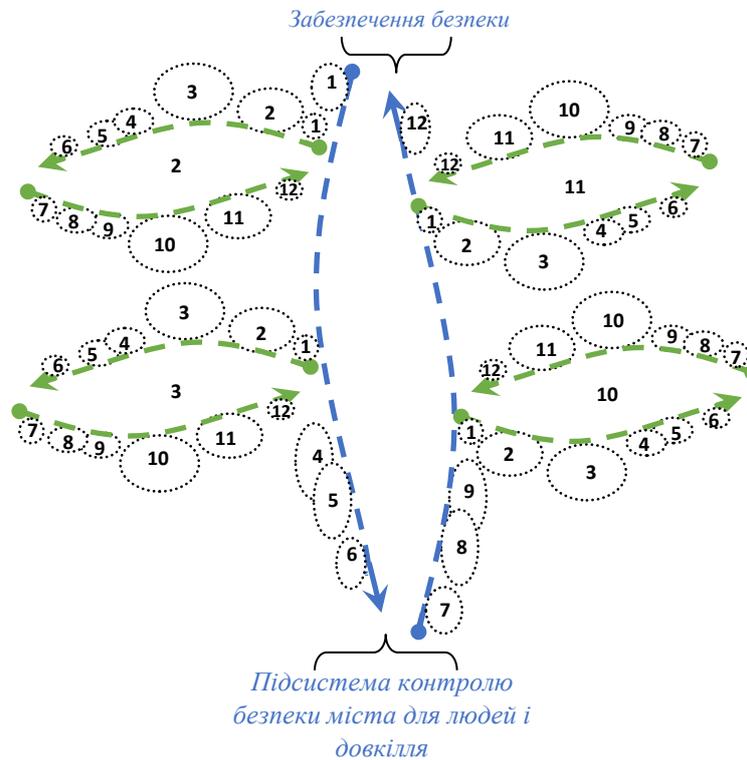


Рисунок 3.1 – Рекурсивне дерево: правила застосування рекурсивного копіювання до системно-технологічної моделі циклу управління безпековою складовою міста

Традиційно подібна вибірка інформації піднімається до другого та першого контуру управління методом послідовної агрегації (рис 3.2). Ієрархічна модель інформування створює системну затримку інформації (T) в кожному контурі управління:

$$T_n = T_3 + (T_2 + T_1) n, \quad (3.12)$$

де:

- $T_{1,2,3}$ – ознаки часового контуру вибірки,
- n – число рівнів ієрархії інформації (даних, що надаються для різних шаблів управління, тобто, для різних шаблів управління можуть бути різні вибірки інформації).

На рис. 3.2 наведена схема ієрархії інформування про дані моніторингу за часовою шкалою.

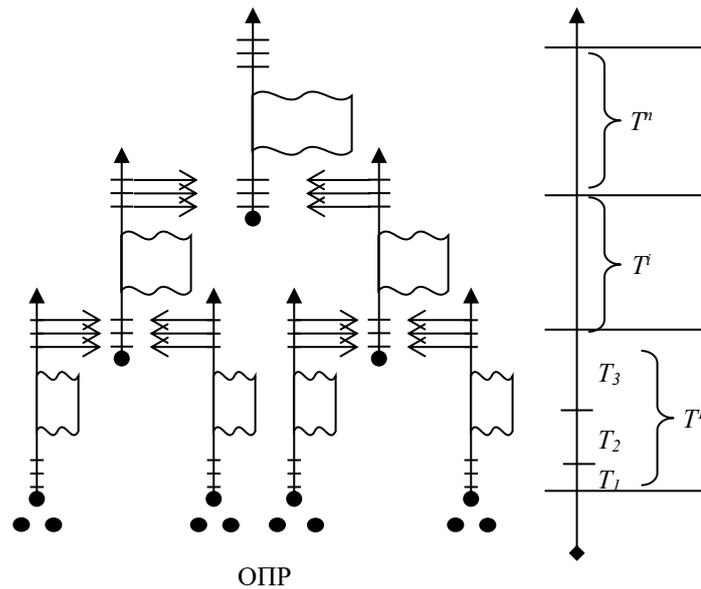


Рисунок 3.2 – Схематичне представлення ієрархії інформування за даними моніторингу

З рис. 3.2 видно, яким чином і в якій часовий період відбувається агрегування інформації за запитами різних шаблів ОПР. Це підтверджується практикою управління – якщо для виконавців (ліквідаторів НС) потрібна інформація від декількох днів до поточного часу, то для вищого рівня управління необхідні окрім оперативних даних, вибірки за місяць, квартал, рік.

Сучасні технології реалізації ІТ дослідження параметрів стану довкілля створюють реальні умови для відмови від ієрархічної моделі організації даних моніторингу і переходу до технології паралельного інформування у реальному часі (рис. 3.3). Ця ілюстрація показує, що дані від персоналу через засоби телекомунікації, за допомогою WEB-технологій, стають доступними всім ОПР в реальному часі $T_n = T_l = T_i \dots$.

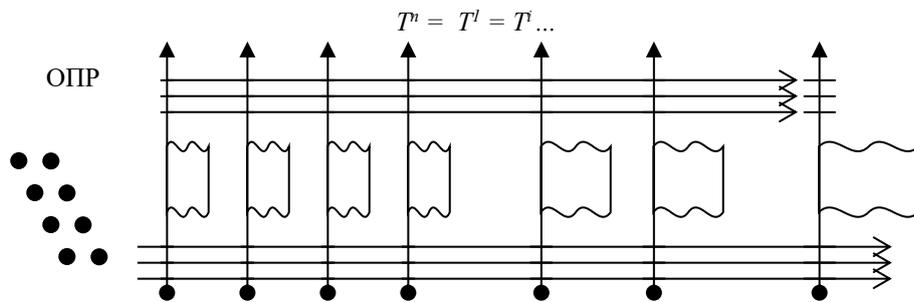


Рисунок 3.3 – Паралельна модель інформування про дані моніторингу

Але найкращим чином для реалізації моніторингу, застосування технології «розумних міст» підходить паралельна модель обробки даних, що дозволяє порівнювати дані параметричного та суб'єктивного моніторингу та обробляти великі масиви даних, що отримуються з різних датчиків (рис. 3.4).

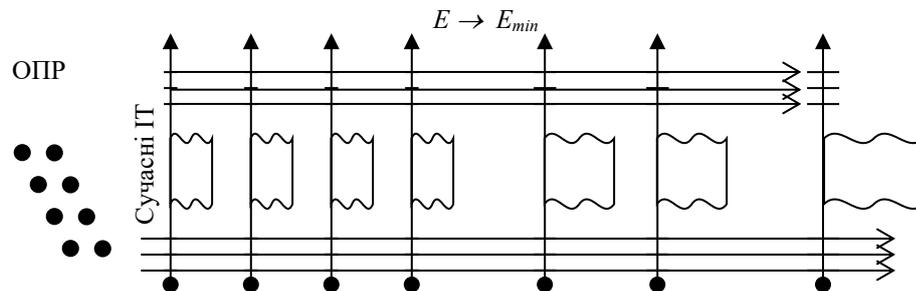


Рисунок 3.4 – Паралельна модель інформування з використанням сучасних ІТ

Міра невизначеності інформації у паралельній моделі інформування прямує до мінімальної: $E \rightarrow E_{min}$. З моделлю (рис. 3.4) у ІТ на технологічному рівні створюються умови суттєвого збільшення ефективності управління, зменшення системної затримки інформації в контурах управління. Зростання об'єктивності інформації в системі управління породжує довіру персоналу до рішень, що приймаються у всіх контурах управління і на всіх рівнях ієрархії органів управління. Номограма (рис. 3.5) порівняльних оцінок моделей,

наведених на рис. 3.2 – 3.4, за методом аналізу ієрархій [99 – 101] дає уяву про загальний здобуток ефективності системи роботи ОПР.

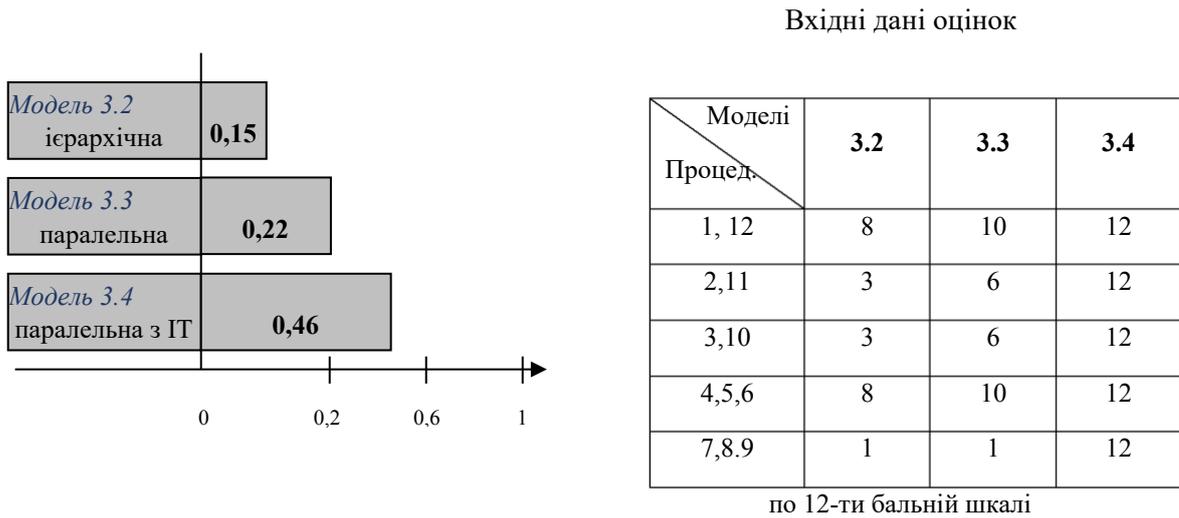


Рисунок 3.5 – Номограма порівняльних оцінок моделей організації управління за критерієм здобутку ефективності ОПР

Порівняння ефективності тих же моделей управління за критерієм своєчасності інформації в контурах управління наведено у номограмі на рис. 3.6, а порівняння за критерієм несуперечності інформації – у номограмі на рис. 3.7.

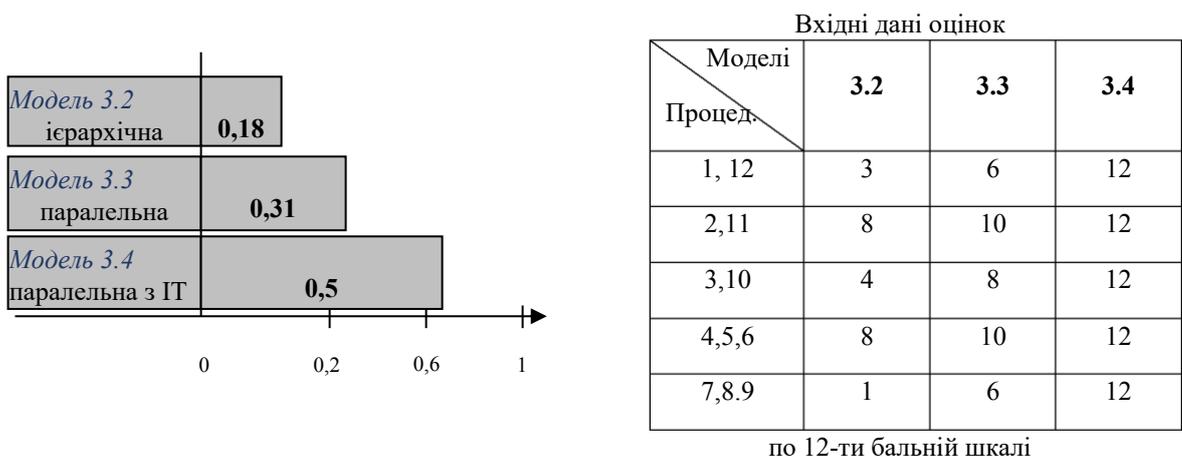
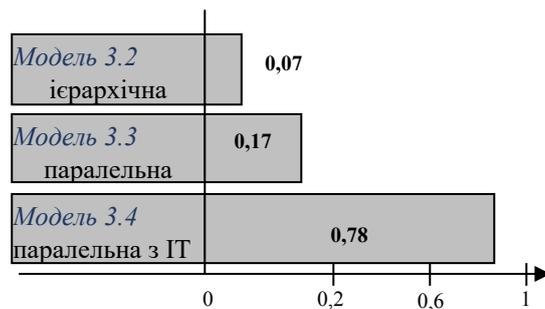


Рисунок 3.6 – Номограма порівняльних оцінок моделей за критерієм своєчасності інформації

При побудові номограми (рис. 3.6) враховано, що у моделі, представленій на рис. 3.2 несуперечність інформації, що отримується верхнім рівнем, практично немає чим перевіряти. У моделі (рис. 3.3) можна порівнювати доповіді персоналу з різних рівнів ієрархії і частково знизити ступінь протиріч у інформуванні.

У моделі, наведеній на рис. 3.4, об'єктивні дані параметричного моніторингу створюють тверду основу для утримання ОПР від викривлення і приховування інформації та перевірки її адекватності до даних моніторингу. Номограма дає уяву про ступінь зростання ефективності управління в моделі (рис. 3.7).



Моделі / Процед.	3.2	3.3	3.4
1, 12	1	3	12
2, 11	1	3	12
3, 10	1	3	12
4, 5, 6	1	3	12
7, 8, 9	1	1	12

по 12-ти бальній шкалі

Рисунок 3.7 – Номограма порівняльних оцінок моделей організації інформації з використанням сучасних ІТ за критерієм несуперечності інформації в системі управління

Наведений аналіз номограм доводить ефективність паралельної моделі інформування з використанням сучасних ІТ (рис. 3.4) для формування пулів інформації як у вигляді кортежів, так і у вигляді списків неозначеної довжини, масивів з використанням візуалізації вибірок за часом, за параметрами моніторингу, за об'єктами спостереження тощо. Паралельна організація інформування дозволяє створити вибірку інформації таким чином, щоб

представити всю актуальну інформацію за обраними параметрами, які можуть бути використані на всіх рівнях ОПР.

3.4 Підходи до формування пакетів формалізації знань

3.4.1 Формування пакету інформації при зміні ситуації на об'єкті управління

Поняття ситуаційного управління переважно застосовується до тих аспектів управління, які пов'язані з розв'язанням питань виходу з кризи, що вже сталася (ліквідації наслідків надзвичайної події). Технології підтримки прийняття рішень у таких ситуаціях спираються на експертні системи, системи прийняття колективних рішень та будуються переважно на нечіткій логіці з врахуванням того, що діяти приходится в умовах невизначеності. Експертні методи доповнюються математичними моделями.

На практиці все зазначене потребує визначення причинно-наслідкового зв'язку між своєчасним застосуванням технології кризового управління до ситуації на об'єкті і намаганням уникнути кризи шляхом застосування технології штатного управління. Саме своєчасність визначення кризової ситуації (КС), що значно відрізняється від штатної ситуації (ШС) і не може бути виправленою методами тільки штатного управління, є загальною проблемою технології управління для класу підсистем, що входять до системи «розумного міста».

У класі активних об'єктів, які під'єднані до мережі, існує нагальна потреба більш детального дослідження саме питань визначення ситуації в реальному часі та підтримки рішень персоналу на технологічному рівні при переході від штатного до кризового управління.

Ситуаційне управління для великого міста складає комплекс технологій, які мають свої особливості при застосуванні їх для попередження НП та для ліквідації їх наслідків. Найбільш важливим питанням, що потребує технологічної та інтелектуальної підтримки в системі управління великим містом, є доповнення технології штатного управління системою кризового моніторингу стану об'єкта. Чітке визначення моменту початку надзвичайної ситуації (НС) на об'єкті дає підтримку ОПР у питаннях своєчасного переходу до технології кризового управління і є нагальною потребою уникнути НП. Адже між наслідками порушень, що призводять до НП, та їх причиною є певний час, яким ще можна скористатись для попередження НП або зменшення масштабу її наслідків.

Дуже корисним для розуміння суті кризового управління може стати оцінка можливого стану об'єкта управління в життєвому циклі об'єкта. Якщо повернутися до рис. 2.5, то впливає, що штатною ситуацією для об'єкта є лише етап функціонування за призначенням. Етап створення, реформування, ліквідації є етапами, до яких застосовується технологія кризового управління, яка в проектній документації переважної більшості організаційних систем взагалі не визначається.

З погляду на весь цикл можливих ситуацій на об'єкті, технологія ситуаційного управління повинна не відокремлюватись від штатної системи управління, а створювати цілісну систему, яка підтримує органи управління в штатних ситуаціях, в питаннях упередження кризи, переходу від штатного до кризового управління і в кризовому управлінні тощо.

При формуванні пакетів інформації про ситуацію, що склалася на об'єкті управління, варто розділити її за технологіями управління цього об'єкта:

– технологія штатного управління, як комплекс процедур управління, які спрямовані на недопущення порушень встановлених НРП. Технологія штатного управління передбачає застосування рішень щодо функціонування об'єкта з набору типових рішень у межах посадових повноважень персоналу цього об'єкта;

– технологія кризового управління, як комплекс процедур управління, які спрямовані на екстрене створення позаштатної системи ліквідації кризової ситуації з наявного на об'єкті ресурсу та в межах повноважень цього об'єкту.

Основою для поєднання технологій кризового і штатного управління є визначення масштабу кризи та здатності об'єкта утворити систему для її ліквідації на своєму рівні компетенції рішень. З наведених визначень та з табл. 2.3 – 2.5 видно, що лише локальні кризові явища у підсистемах досліджуваного об'єкта управління можуть бути ліквідованими в межах компетенції рішень керівництва безпосередньо цього об'єкта управління і тільки за умов наявності вільного ресурсу для екстреного створення окремої системи ліквідації кризи. Якщо вільного запасу ресурсу немає, то без прийняття рішень з рівня компетенції міста систему ліквідації утворити неможливо.

Технологія LoRaWAN, можна сказати, саме і призначена для екстреного проектування та впровадження в експлуатацію такого нового об'єкта, завданням якого є ліквідація наслідків кризової ситуації і створення умов для повернення об'єкта спостереження до штатної ситуації. Основну суть інтелектуальної підтримки повинні складати сформовані пакети з інформацією, які дають можливість розрахувати резерв ресурсів та визначення принципової можливості його застосування для ліквідації кризової ситуації.

Навантаженість на об'єкт при виконанні поточних завдань в штатному режимі управління не може перевищувати $F^i_{міста}$ (див. рис. 2.7 – 2.8), при встановленому ліміті часу на його виконання ($\Delta t_{роб} = const$) у кризовій ситуації змінюється. Локальний масштаб кризи визначається тим, що поточний регламент функціонування об'єкта спостереження має частку вільних ресурсів для ліквідації кризи без припинення виконання поточних завдань. Управління ускладнюється тим, що паралельно з виконанням завдань поточного функціонування потрібно в екстреному режимі виконувати процедури кризового управління $F^i_{міста} + F^{криз}_{міста}$ у той же проміжок часу ($\Delta t_{роб} = const$). Основним наслідком для органу управління є скорочення часу на прийняття рішення, що в загальному результаті підвищує їх неадекватність.

Інформація, потрібна для процесу управління у разі розвитку НС кардинально змінюється при виникненні вже не локальної, а загальносистемної кризи для великого міста. Від такого моменту процес штатного управління руйнується повністю ($F^i_{міста} = 0$). Єдиним адекватним рішенням у такій ситуації є здійснення управління залишками ресурсів, призначених для ліквідації НС на об'єкті спостереження з метарівня міста. Орган управління міста починає працювати в режимі локальної кризи масштабу міста. З огляду на зміст процедур циклу управління (див. рис. 2.10), можуть застосовуватись для моніторингу процедури 7 – 9.

Враховуючи останнє, при формуванні пакету інформації при зміні ситуації на об'єкті управління, повинна враховуватися інформація щодо:

- наявності ресурсів щодо виконання процедур колективного прийняття рішень;
- оперативного контролю ситуації на інших, пов'язаних об'єктах або підсистемах великого міста;
- можливості створення окремих вибірок щодо інших, пов'язаних підсистем.

Подальшими напрямками взаємного доповнення пакетів необхідної інформації щодо технологій кризового й штатного управління в інформаційній технології, створеній на базі технології LoRaWAN мають бути:

- інтеграція штатного й кризового моніторингу стану об'єкта в єдину технологію;
- інтеграція функцій проектування дій під завдання кризової ситуації;
- застосування єдиних методів імітаційного моделювання наслідків НС за інформацією, що виникла;
- доповнення технологій штатного моніторингу методами управління даними (очистка даних, багатомірні сховища даних, кіоски даних, вітрини даних);

– інтеграція методів розвідувального аналізу даних про навколишнє середовище і методів онлайн-аналізу даних моніторингу об'єкта в уніфіковану технологію оперативної оцінки ситуації.

3.4.2 Формалізація знань через дашборди

Дашборд (Dashboard) в перекладі з англійської – «панель приладів». В інформаційних системах (ІС) представляє собою веб-документ з лаконічно наведеними статистичними даними, інфографікою та короткими звітами [102]. За допомогою дашбордів подається інформація для ОПР стосовно ситуації на об'єкті спостереження та управління, як статичної, так і в динаміці.

Рішення кожної посадової особи системи управління регламентуються функціональними обов'язками, статутами, настановами, положеннями, інструкціями. Якщо об'єкт функціонує за призначенням, то рішення ОПР, як правило, суворо регламентовані. Тому будь-яка інформаційна технологія управління має формально примушувати ОПР діяти за регламентом.

У штатній ситуації ІТ на основі технології LoRaWAN працює в фоновому режимі до загальної системи управління. У разі виникнення НС до основної інтелектуальної функції ІТ додаються спеціальні функції, що реалізують процеси підтримки прийняття рішень у режимі кризового управління. На цьому етапі для ОПР важливим є наявність інформації, яка доповнює інтелектуальну функцію загальної системи управління методами онлайн-аналізу даних щодо визначення загрози виникнення кризової ситуації, надає допомогу у вирішенні аналітичних та прогностичних задач (Data Mining, Knowledge Discovery). Візуалізація інформації через дашборди на цьому етапі дозволяє реалізувати асоціативну функцію розуму людини, проектується як властивість ІТ на основі технології LoRaWAN вдосконалити пропозиції щодо асоціативних рішень на основі набутого досвіду попередніх

ситуацій і рішень. Основні структурні складові частини дашборду ІТ, що допоможе ОПР асоціативну функцію може бути наступною (рис. 3.8).



Рисунок 3.8 – Основні структурні складові частини дашборду ІТ для реалізації асоціативної функції

Фактично, таке вичленування інформації на дашборд (рис. 3.8) дозволяє ОПР здійснити перехід на щабель експерта, коли на основі отриманої інформації виникає можливість прийняття рішення завдяки базі знань та вербальній оцінці. Тоді ІТ на основі технології LoRaWAN повинна мати можливість виділити інформацію (вибрати з наявної бази даних на дашборд), щоб забезпечити:

- міркування на засадах символічних перетворень;
- використання як загальних, так і приватних схем міркування;
- рішення важких задач із реальних предметних галузей, що самі є складними;
- переформулювання задач і запитів;
- метаміркування – міркування про роботу ІТ на основі технології LoRaWAN.

Сукупність взаємопов'язаних засобів формального визначення знань і засобів маніпулювання цими визначеннями в рамках ІТ на основі технології LoRaWAN дозволяють виділити на дашборд знання про об'єкт, процес, предметну галузь, функціональні можливості системи безпеки великого міста з ліквідації або, навіть, попередження НС. Для пояснення цієї тези визначимо:

C_{nz} – проектні знання про об’єкт, процес, предметну галузь з позиції функції мети ІТ.

C_{nz} – наявні знання, що отримані з системи поточного моніторингу про об’єкт, процес, предметну галузь, з позиції функції мети ІТ.

Тоді:

$$C_{nz} - C_{nz} = \Delta_{nz}. \quad (3.13)$$

З цього видно, що повнота реальних знань у базі знань відрізняється від проектних на Δ_n . Цей символ можна визначити як показник адекватності бази знань в ІТ дослідження параметрів стану довкілля промислового міста. Ідеальна ІТ на основі технології LoRaWAN повинна вирішувати всі задачі в даній предметній галузі з обов’язковою вимогою $\Delta_{nz} \text{ дод.} \geq \Delta_{zn}$, де $\Delta_{nz} \text{ дод.}$ – значення показника адекватності бази знань в ІТ, що є допустимим для даної предметної галузі.

Неформалізовані знання, що є наявними у системі (H), перетворюються на формалізовані знання (Φ), породжуючи певну неадекватність:

$$C_{nz} - (\Phi + H) = \Delta_{nz}. \quad (3.14)$$

Чим ближче система моніторингу до об’єктивної, тим сума у дужках є більшою, а показник адекватності бази знань, що використовується у ІТ є меншим. В загальному випадку H може мати протилежний знак, що залежить від компетентності або некомпетентності ОПР в предметній галузі. Непрофесійним підходом ОПР посилює невизначеність проблеми і збільшує абсолютне значення Δ_{nz} .

Поєднання формалізованих знань з системи моніторингу із неформалізованими знаннями ОПР дозволяє отримати рішення проблемної задачі. Специфіка знань ОПР така, що досвід дозволяє йому сприймати об’єкт та процеси на ньому як єдину модель, реакції якої на кризові стимули та

управлінські рішення ним прогнозуються. Знання ОПР порогових умов у стані об'єкта дають йому можливість оцінювати ситуацію і пропонувати рішення.

Формування дашборду можна здійснити за продукційним правилом, яке формулюється, як $M\Upsilon \rightarrow M\Phi$, де в лівій частині є визначення ситуації у відповідності до формальних (проектних) правил, а в правій частині – дія за прийнятими рішеннями щодо ситуації.

В системах колективного прийняття рішень (n – ОПР) формулу (3.14) можна навести так:

$$C_{пз} - (\Phi + \sum_{j=1}^n H_j) = \Delta_{пз}. \quad (3.15)$$

Аналіз виразу (3.15) дозволяє визначити основні режими подачі дашбордів для ОПР.

Зокрема, якщо формалізація знань про об'єкт та процеси неможлива ($\Phi = 0$), то:

$$C_{пз} - (\sum_{j=1}^n H_j) = \Delta_{пз}. \quad (3.15)$$

Тобто система моніторингу відсутня, рішення можливі тільки на сукупності передчуттів ОПР. Інформаційна підтримка рішень можлива серед усієї наявної інформації методами причинно-нелогічного висновку.

Для ієрархічної структури системи моніторингу формулу (3.15) можна записати так:

$$\sum_{k=1}^L (C_k - H_k) = \Delta_{пз}, \quad (3.16)$$

де L – кількість рівнів ієрархії підпорядкування об'єктів великої розмірності. Саме тут проявляється чинник, коли з кожним рівнем ієрархії управління відбувається викривлення інформації.

У випадку часткової формалізації знань про об'єкт, процес, предметну галузь дійсна формула (3.15). У випадку, коли можлива повна формалізація знань про об'єкт, процеси, предметну галузь, представлення інформації на дашборд може бути описане моделлю:

$$C_{nz} - \Phi = \Delta_{nz}. \quad (3.17)$$

Проте у такій системі (3.17) повинна бути реалізована технологія організації формалізованої інформації в багатомірні сховища даних для швидкого одночасного доступу до них користувачів (Data Warehouse) через кортежі та списки, а також технологія інформаційної згортки формалізованих даних для їх візуалізації в когнітивній формі (Balanced Scorecard).

Процес переходу від багатомірної множини формалізованих даних до їх інформаційної згортки потребує такої системи їх класифікації, яка б відбивала всі природні властивості об'єкта на всіх стадіях його життєвого циклу і властивості процесів, що відбуваються за всіма різновидами керівної діяльності. Тобто така інформаційна згортка адекватно сприймається ОПР завдяки її відповідності реальному стану системи і когнітивним методам відображення.

3.4.3 Формування інформаційних згорток для дашборду

Велике місто, навіть у його «розумній» реалізації, складається з низки об'єктів управління, за якими здійснюється спостереження та контроль для реалізації своїх функціональних повноважень (завдань). Або – складна система «розумного міста» складається з підсистем, які, у свою чергу, можна розглядати як окремі складні системи в межах метасистеми.

При створенні (проектуванні) об'єкта, в першу чергу, визначають мету створення об'єкта (див. (2.2)) та перелік його завдань (див. (2.1)). Структура функціональних завдань у подальшому проектуванні визначає структуру підпорядкованих підрозділів, задля спостереження та контролю за роботою створюється і функціонує ІТ на технології LoRaWAN, де на виході отримується інформація щодо наявності ресурсів для подолання будь-якої НП (X), базових технологій (Y) та НРП до їх застосування (Q). Тобто, у підсумку повинна бути отримана інформація для забезпечення безпекової складової великого міста: $F^i_{міста} = f_{IT}(x,y,q)$.

Коли об'єкт спостереження функціонує за призначенням, його інформаційну модель доповнюють дані про реальне завдання ($F'_{міста}$), яке здійснює об'єкт для забезпечення нормального функціонування міста, про поточну технологію (Y_n), ресурси (X_n) і поле рішень персоналу в межах НРП (Q_n), що використовуються у процесі функціонування.

Сукупність даних інформаційної моделі об'єкта можна представити у символній матричній формі (рис. 3.9), де об'єкт характеризується з трьох точок зору:

а) (X_o, Y_o, Q_o) – з точки зору проектних вимог щодо організації об'єкта спостереження;

б) (X_l, Y_l, Q_l) – з точки зору потреби для реалізації конкретного завдання;

в) (X_n, Y_n, Q_n) – з точки зору поточних значень стану великого міста.

Застосування однотипної інформаційної згортки стану об'єкта спостереження на всіх рівнях ієрархії управління є системною вимогою для адекватного сприйняття ситуації ОПР. Для конкретної реалізації такої інформаційної згортки можна застосовувати типовий інструментарій, наприклад, Balanced Scorecard, який є у більшості стандартних пакетів для розробників типу Oracle.

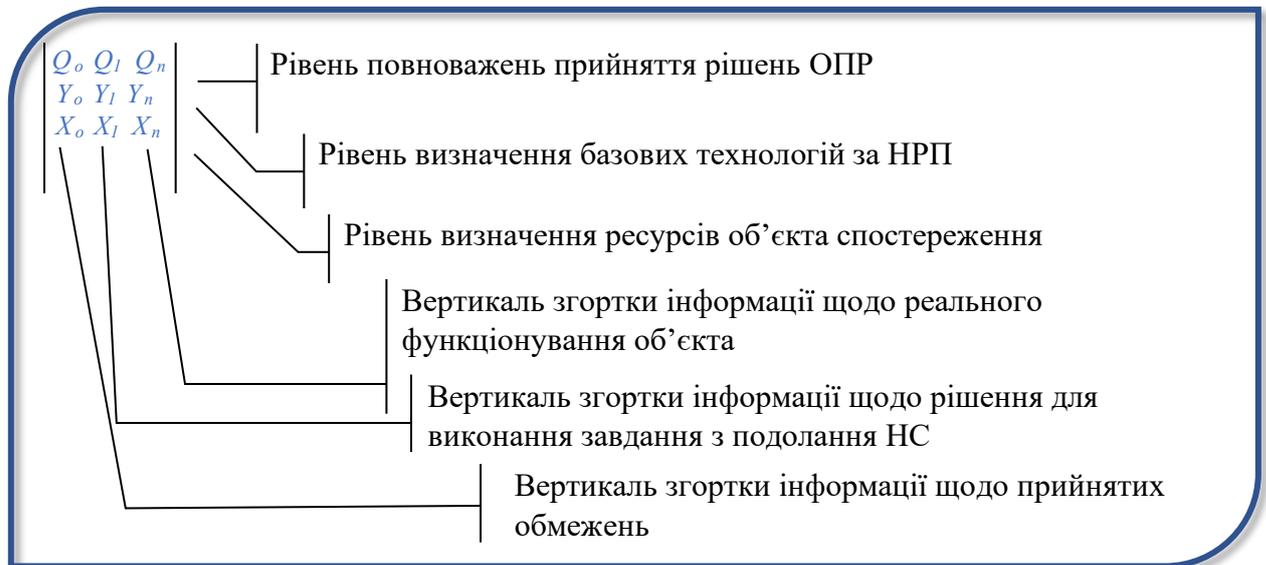


Рисунок 3.9 – Матрична форма представлення когнітивної інформаційної згортки про стан об'єкта спостереження

Кожний рівень ієрархії управління (в ідеалі кожний ОПР) має свій рівень агрегації інформації в таку згортку (і, відповідно, свій дашборд з вибраної, необхідної саме для цього ОПР, інформацією). Вищі рівні ієрархії поглинають інформаційні згортки нижніх рівнів з можливістю їх відображення. Системною вимогою для ступеня деталізації та агрегації інформації для кожного рівня є вимога відображати інформаційну згортку системно: по відношенню до об'єкта спостереження і різних підсистем цього об'єкта одночасно, або на вимогу ОПР. Ступінь агрегації інформаційної згортки – за ознаками повноважень ОПР, а ступінь деталізації може бути обмеженою за ознаками обраних проектних обмежень (швидкість каналів телекомунікації та швидкість обробки інформації в ІТ на своєму рівні) (рис. 3.10).

Формування матричної форми починається ще на стадії обґрунтування варіантів подачі інформації, що надходить від системи спостереження, і продовжується на всіх етапах проектування, комплектування й функціонування ІТ. Приклад інтерпретації позицій матричної форми інформаційної моделі об'єкта, наведений на рис. 3.10, має достатню однозначність, тому використання такої символічної форми у супроводі

текстової- та аудіоінформації має високий рівень когнітивного навантаження і може пропонуватися для використання в ІТ.

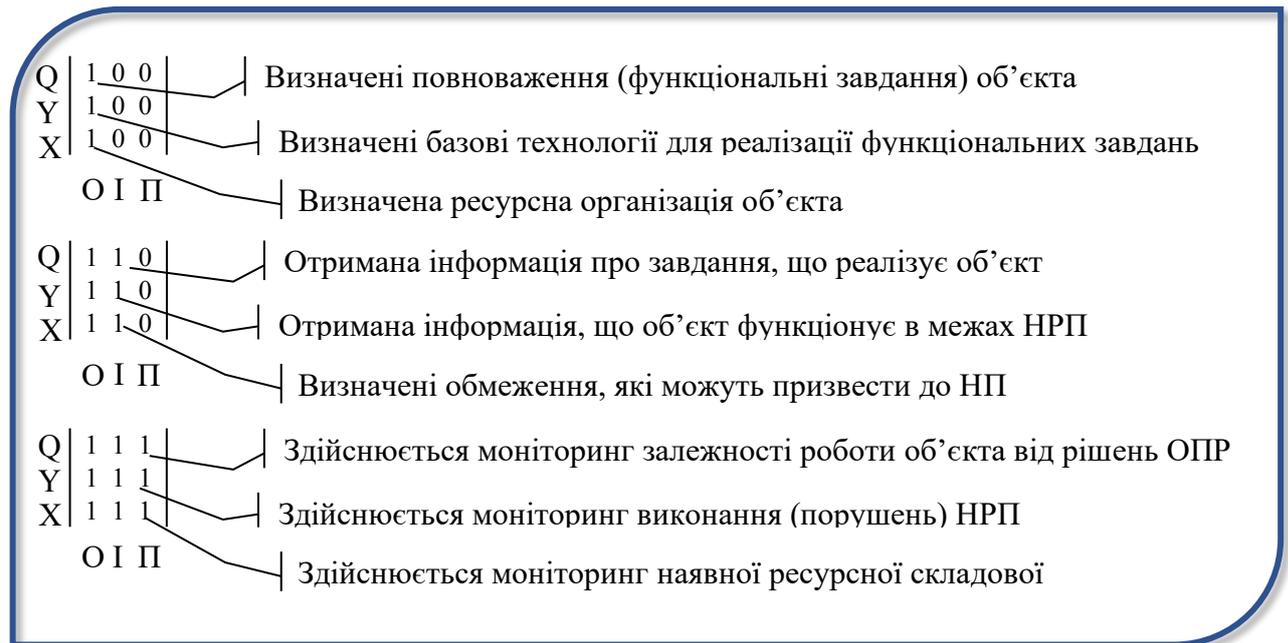


Рисунок 3.10 – Інтерпретація позицій матричної форми згортки інформаційної моделі об'єкта, де: Q – рішення; Y – НРП; X – ресурси; O – проектні обмеження; I – обмеження поточного завдання; $П$ – поточний моніторинг

Кожна позиція матричної символної форми змінюється від «0» до «1», що символізує стан відповідності даного розділу інформації певним вимогам. На цій шкалі можна визначити граничні значення, за межами яких ситуація із штатної перетворюється на надзвичайну. Контроль граничних позицій дозволяє персоналу приймати рішення щодо своєчасного переходу до технології кризового управління.

Очевидно, що за допомогою такої матриці можливо однозначно в символній формі візуалізувати ознаки різних ситуацій на об'єкті (рис. 3.11), яка у такому «згорнутому» вигляді може бути представлена через дашборди ОПР.

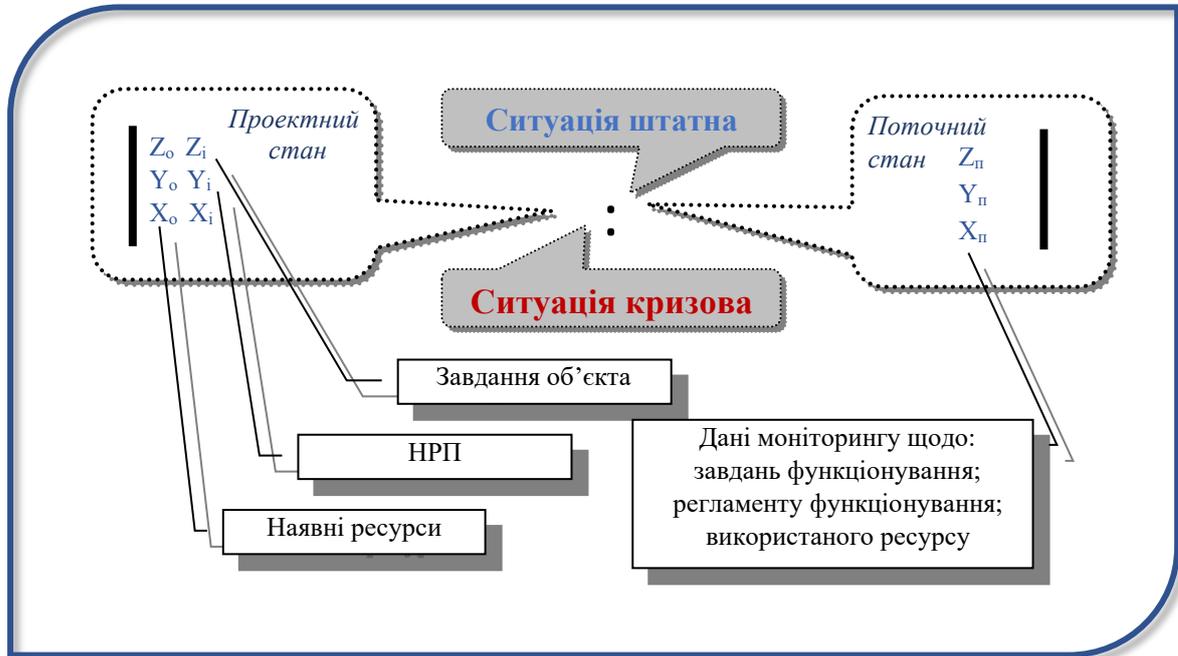


Рисунок 3.11 – Візуалізація ситуації через матричну інформаційну згортку

В процесі функціонування об'єкта значення позицій матриці корегують за даними моніторингу. Таким чином, первинні дані моніторингу за допомогою символної матричної форми їх відображення перетворюються для ОПР кожного рівня ієрархії управління на візуальну модель його частини об'єкта у вигляді дашборду, який адекватно сприймається на всіх рівнях.

Дані щодо параметрів навколишнього середовища, ресурсу взаємодіючих об'єктів можна умовно розглядати як складові ресурсів і технологій самого об'єкта спостереження і додати до них дані моніторингу середовища. Більшість засобів когнітивної візуалізації має інформаційну основу в конкретних даних моніторингу, які у згорнутому вигляді відображаються в позиціях матричної символної форми, що забезпечує повноту відображення даних, їх системність щодо потреб в управлінні складним об'єктом та адекватне сприйняття персоналом системи управління. Символьна матрична форма може виконувати функцію візуалізації для даних поточного аналізу ситуації і для даних моделювання наслідків обраних рішень, що також підвищує когнітивний ефект від її застосування (рис. 3.12).

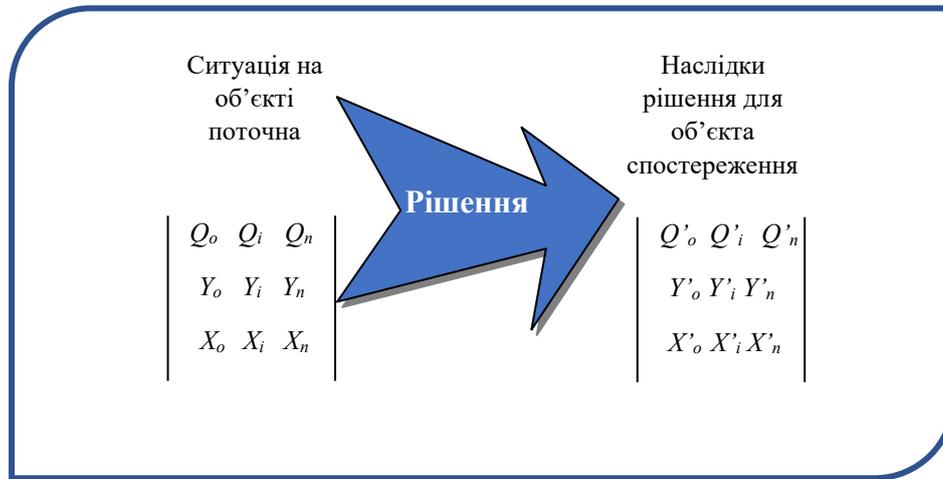


Рисунок 3.12 – Застосування символічної матричної згортки для візуалізації наслідків рішень ОПР

Варто зазначити, що сучасні кейс-технології пропонують багатий вибір різних ілюстративних форм візуалізації результатів балансового моделювання ситуації в управлінні об'єктами, але запропонований підхід до візуалізації даних через дашборди для ОПР, дозволяє представити інформацію стисло і з можливістю оперативного оновлення.

Когнітивне навантаження запропонованої матричної символічної форми полягає в універсальності символу, який дає можливість порівнювати різнопланові напрямки діяльності підсистем однієї системи, за якою здійснюється моніторинг роботи. Вибір відносних одиниць виміру показників ситуації (X, Y, Q) дає можливість порівнювати ситуацію у різнопланових базових процесах функціонування.

3.5 Висновки за розділом 3

В третьому розділі представлені моделі та методи до створення сервісу формування пулу інформації із забезпеченням аналітичної функції та візуалізації:

1) Визначені множини даних, якими оперуватиме ІТ на базі технології LoRaWAN. На цій основі розроблені підходи з метою побудови вибірки для створення пулу інформації. Наведена можливість реалізації цієї задачі мовами програмування з використанням стандартних бібліотек (наприклад, C#) без обмежень за розмірами.

2) Визначені вимоги до організації інформації в базі даних для отримання вибірок за запитом. Зокрема, розглянуто показник повноти інформації в системі управління джерелами (давачами) інформації, де неповнота ситуації визначається на граничному значенні, коли давач інформації перестав реагувати на запити. Показник несуперечності інформації при її надходженні від давачів визначений через порівняння ідентичних ознак у записах про різні види інформації що належать до одного імені. Показник управління в реальному часі розглядається як результати здійснення моніторингу об'єкта спостереження на момент часу T .

3) Наведено підхід із застосування рекурсивного копіювання даних для інформування та моніторингу стану об'єкта спостереження. Підхід реалізовано на прикладі системно-технологічної моделі циклу управління безпековою складовою міста, розробленої в попередньому розділі. Наведений аналіз номограм за яким доведена ефективність застосування паралельної моделі інформування ОПР шляхом інформування пулів інформації про стан об'єкта спостереження.

4) Представлений підхід до формування пакетів формалізації знань про складну систему, яка є об'єктом спостереження. Розроблені підходи до формування пакету інформації при зміні ситуації на об'єкті управління, подачі інформації через дашборди, та створення для цього інформаційних згорток.

5) Деякі аспекти з представленої у третьому розділі інформації були частково представлені у наукових публікаціях [103 – 104].

РОЗДІЛ 4

РЕАЛІЗАЦІЯ ОКРЕМИХ ЗАДАЧ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ ПРОМИСЛОВОГО МІСТА

4.1 Сервіс отримання інформації для обробки

Основною метою для впровадження у практику методу інформаційної згортки є забезпечення збереження всіх даних, що надходять у сховище, для їх подальшої обробки, вибору за запитом і візуалізації. Даний метод був реалізований у якості сервісу інформаційно-телекомунікаційної системи (ІТС) «Платформа великих даних» для отримання та обробки даних від екологічних сенсорів Oizom Polludrone та Talkpool OY1210 зі збереженням та візуалізацією.

Функціональні елементи інтеграції окремих пристроїв, від яких збиралася інформація для наступного формування інформаційної згортки, наведена на рис. 4.1.

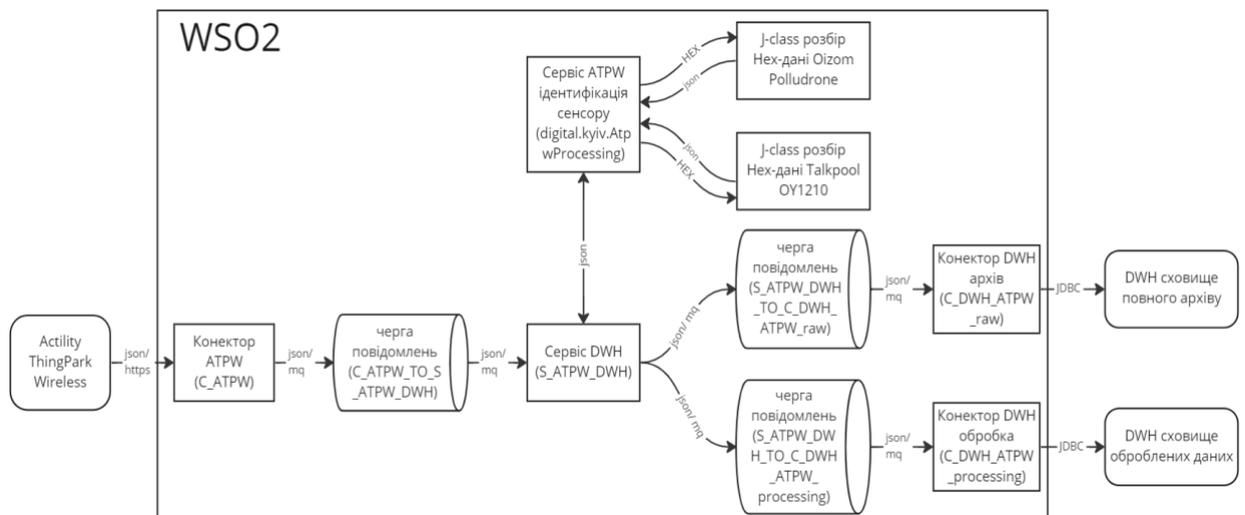


Рисунок 4.1 – Елементи інтеграції ІТС «Платформа великих даних»

Складовими частинами інтеграційної схеми (рис. 4.1) виступили:

- IC Actility ThingPark Wireless – джерело даних (давачі інформації);
- конектор ATPW (C_ATPW) – забезпечує прийом даних від IC ATPW та збереження у внутрішній черзі повідомлень C_ATPW_TO_S_ATPW_DWH для подальшої обробки за розробленими методом;
 - черга повідомлень C_ATPW_TO_S_ATPW_DWH – зберігає вхідні повідомлення для подальшого їх обробки;
 - сервіс DWH (S_ATPW_DWH) – призначений для передачі необроблених даних для користувача DWH та підготовки оброблених даних для користувача DWH та їх збереження у внутрішніх чергах S_ATPW_DWH_TO_C_DWH_ATPW_raw та S_ATPW_DWH_TO_C_DWH_ATPW_processing;
 - сервіс ATPW ідентифікація сенсора (digital.kyiv.ATPWProcessing) – призначений для визначення типу сенсора за його унікальним ідентифікатором, та для розбору закодованих в HEX-форматі даних від сенсорів Oizom Polludrone та Talkpool OY1210;
 - черга повідомлень S_ATPW_DWH_TO_C_DWH_ATPW_raw – зберігає необроблені дані для користувача DWH;
 - черга повідомлень S_ATPW_DWH_TO_C_DWH_ATPW_processing – зберігає оброблені дані для користувачів DWH;
 - конектор DWH архіву (C_DWH_ATPW_raw) – призначений для передачі повідомлень з черги повідомлень S_ATPW_DWH_TO_C_DWH_ATPW_raw користувачу DWH автоматично при появі повідомлення у черзі. Дані зберігаються в таблиці необроблених даних;
 - конектор DWH обробки (C_DWH_ATPW_processing) – призначений для передачі повідомлень з черги повідомлень S_ATPW_DWH_TO_C_DWH_ATPW_processing користувачу DWH автоматично при появі повідомлення у черзі. Дані зберігаються в таблиці оброблених даних;

– сховище даних DWH – утримує кінцеву згортку обробленої інформації, яка візуалізована для кінцевого користувача на дашборді.

На схемі (рис. 4.2) наведена реалізація процедури приймання даних від ATPW.

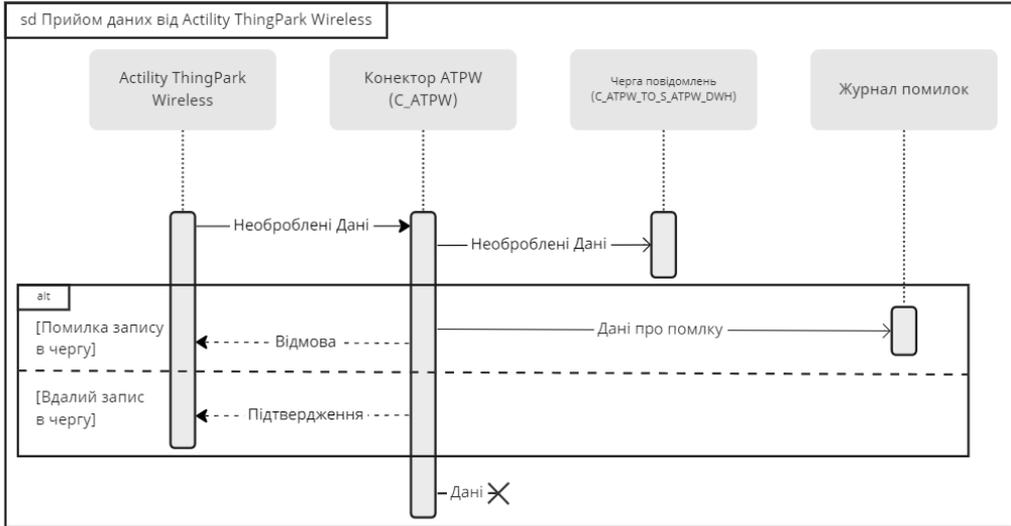


Рисунок 4.2 – Прийом даних від ATPW

Дані розподіляються за чергами, які формуються автоматично із зазначенням помилок у разі наявності. У разі наявності помилок можна сформувати додатковий запит до давача.

Користувачу можна передати необроблені дані (рис. 4.3), які після отримання переміщуються до сховища ІС.

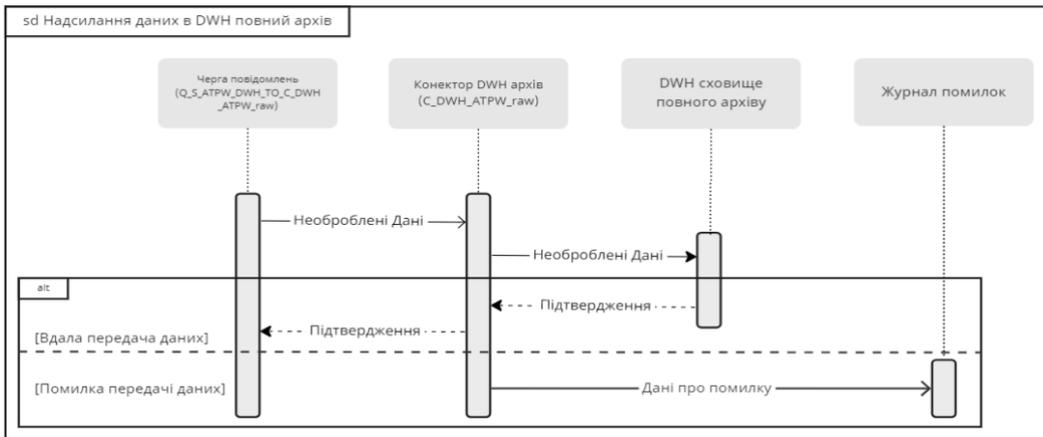


Рисунок 4.3 – Відправка необроблених даних ATPW користувачу

Оброблені дані (рис. 4.4) можна представити у вигляді таблиць (кортежів) і списків. Ця процедура реалізується через сховище оброблених даних. На збереження таких даних встановлюються часові проміжки або такі дані можуть зберігатися до наступного запиту на вибірку.

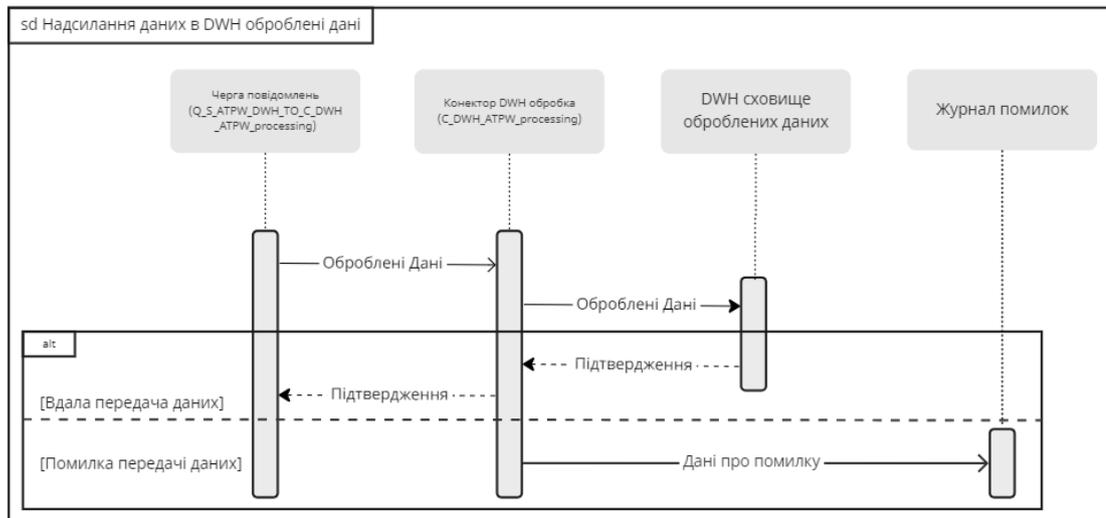


Рисунок 4.4 – Відправка оброблених даних ATPW користувачу

Безпосередньо процес обробки інформації про стан доквілля, яка отримується через мережу, відбувається за наступним алгоритмом (див. рис. 4.5):

- 1) отримуються та обробляються дані з черги повідомлень C_ATPW_TO_S_ATPW_DWH;
- 2) надсилається отримане повідомлення без обробки до черги повідомлень S_ATPW_DWH_TO_C_DWH_ATPW_raw;
- 3) DWH звертається до сервісу ATPW щодо ідентифікації дачача інформації і передає йому отримане повідомлення без обробки;
- 4) від сервісу ATPW отримується відповідь про ідентифікацію сенсора згідно зі стандартним протоколом опису оброблених даних ATPW;
- 5) в разі отримання типу сенсора «unknown» обробка даних припиняється;

б) в разі отримання помилки, сервіс вносить інформацію про помилку в систему логування і обробка даних припиняється;

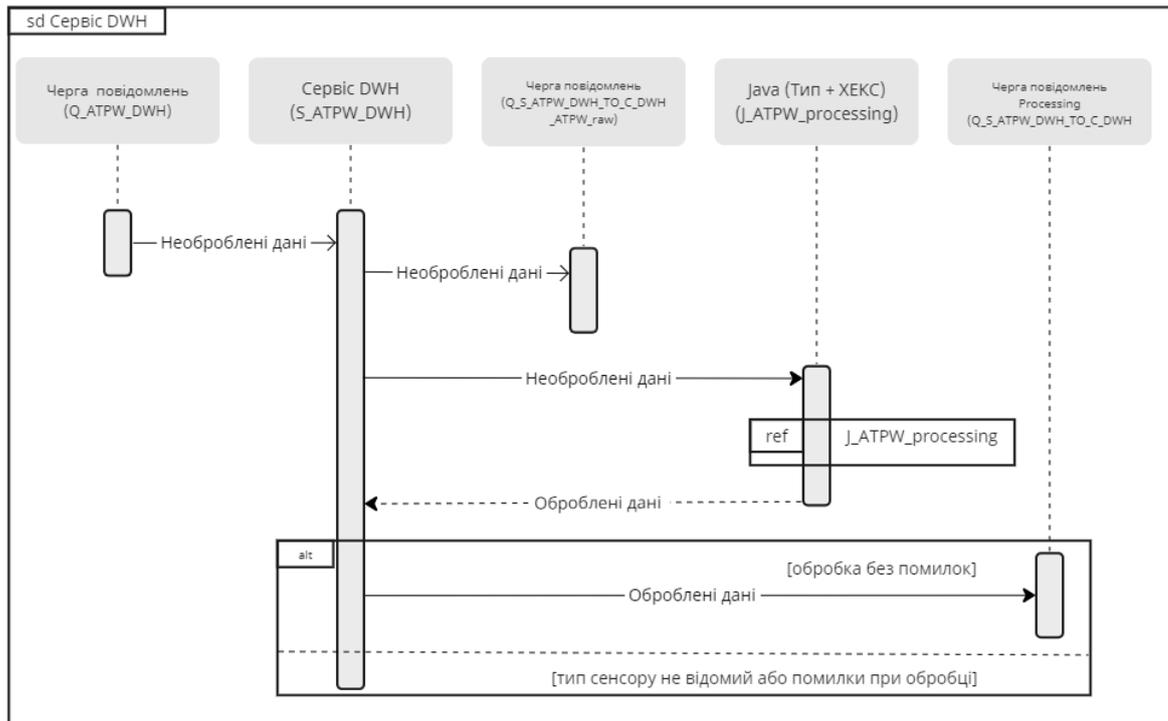


Рисунок 4.5 – Сервіс DWH

7) в разі отримання типу сенсора «есо» сервіс надсилає дані до черги повідомлень S_ATPW_DWH_TO_C_DWH_ATPW_processing;

8) після перевірки кроків 5 – 7 сценарій переходить до обробки наступного повідомлення у черзі повідомлень C_ATPW_TO_S_ATPW_DWH.

Конектор ATPW надає підключення для IC ATPW згідно з наступними вимогами:

- дійсні записи системи доменних імен DNS, доступні IP-адреси та робочі сервери протоколів передачі гіпертексту HTTP;
- маршрути, пов'язані лише з однією цільовою URL-адресою, мають бути налаштовані в режимі in Order (також відомому як Sequential);
- усі HTTP-сервери та проксі-сервери, які використовуються як сервери додатків для мереж IoT LPWAN, повинні бути налаштовані зі значенням примусового відключення протоколів керування передачею даних (TCP) принаймні 30 хвилин;

– сервер додатків повинен відповідати на HTTP-запит менш ніж за 100 мс. Щоб гарантувати цю максимальну затримку, повинна бути реалізована асинхронна обробка HTTP-запитів.

Конектор зберігає отримані дані у чергу повідомлень C_ATPW_TO_S_ATPW_DWH та дає відповідь IC ATPW про результат прийому даних.

Сервіс ATPW отримує запит у форматі згідно з протоколом IC (рис. 4.6). Визначення приналежності сенсора до типу «есо» відбувається на основі DevEUI сенсора. Для даної IC до «есо»-сенсорів належать сенсори номери яких починаються з послідовності «3CC1F6050003».

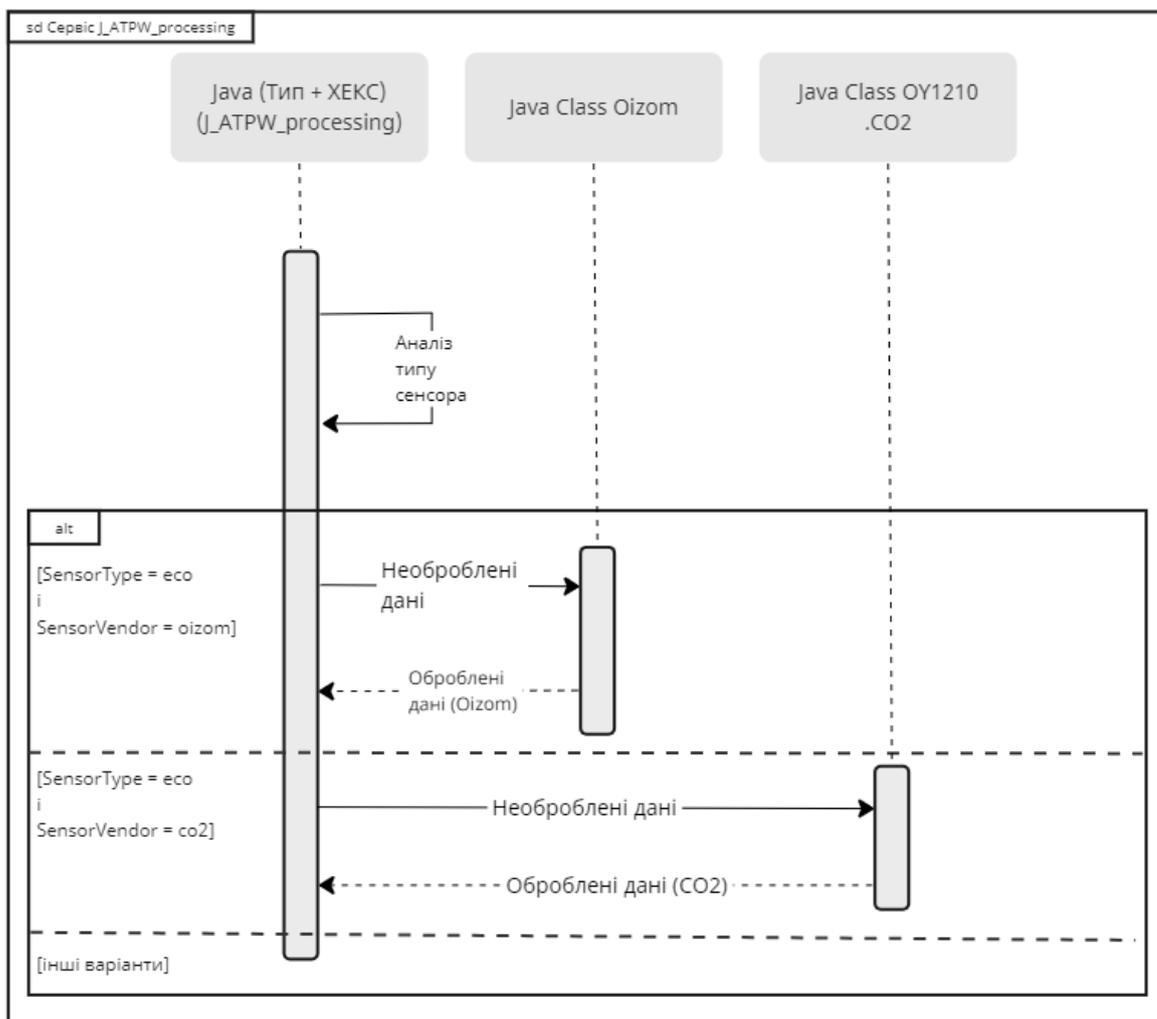


Рисунок 4.6 – Сервіс ATPW ідентифікація сенсора

Оброблена інформація ІС відправляється у архів DWH сховища. Конектор реалізує підключення до користувача DWH шляхом отримання повідомлення із черги повідомлень S_ATPW_DWH_TO_C_DWH_ATPW_raw від користувача, що задав вибірку інформації згідно встановлених ним параметрів. В разі успішної відправки Конектор видаляє повідомлення з черги S_ATPW_DWH_TO_C_DWH_ATPW_raw. В разі помилки доступу до користувача або помилки запису даних, Конектор обробляє дані згідно з налаштуваннями: кількість спроб запису, інтервал між спробами запису.

Обробка інформації відбувається наступним чином:

- конектор DWH обробка реалізує підключення до користувача DWH;
- отримує повідомлення із черги повідомлень S_ATPW_DWH_TO_C_DWH_ATPW_processing та надсилає повідомлення в DWH;

- в разі успішної відправки Конектор видаляє повідомлення з черги, а у випадку помилки доступу до користувача або помилки запису даних, обробляє дані згідно з налаштуваннями: кількість спроб запису, інтервал між спробами запису.

Для створення запитів на вибірку були реалізовані черги повідомлень (Додаток Д) з наступними налаштуваннями:

а) C_ATPW_TO_S_ATPW_DWH:

- глибина черги 5000 повідомлень;
- при переповненні черги – видаляється найстаріше повідомлення;
- читання з черги – без підтвердження.

б) S_ATPW_DWH_TO_C_DWH_ATPW_raw:

- глибина черги 5000 повідомлень;
- при переповненні черги – видаляється найстаріше повідомлення;
- читання з черги – з підтвердженням.

в) S_ATPW_DWH_TO_C_DWH_ATPW_processing:

- глибина черги 5000 повідомлень;
- при переповненні черги – видаляється найстаріше повідомлення;

– читання з черги – з підтвердженням.

Сама процедура створення запиту на обробку даних відбувається наступним чином.

Необроблені дані – надходять від ІС АТРВ до модуля Конектор АТРВ (С_АТРВ) і представляють собою JSON-об'єкт з певним набором полів. В табл. 4.1 приведені лише ті поля, які необхідно враховувати при подальшій обробці даних.

Таблиця 4.1 – Необроблені дані на вхідному запиті

Поле	Тип	Обов'язковість	Опис	Приклад
DevEUI_uplink	об'єкт	так	кореневий об'єкт, що містить решту полів та об'єктів	
Time	рядок	так	час генерації пакету	2021-07-09T16:06:38.49+02:00
DevEUI	рядок	так	ідентифікаційний номер сенсора	3CC1F605000373C6
payload_hex	рядок	так	інформація про стан сенсору представлена в 16-ричному вигляді	004300dc00e3011703e500000000420f1eb80000000042c3b8520000000000000000000000000000447c9d710001634ebbec
CustomerData	об'єкт	так	об'єкт, що містить користувацьку інформацію щодо сенсора	
loc	об'єкт	так	об'єкт, що містить інформацію про географічні координати сенсора	
lat	рядок	так	географічна широта сенсора	43.58081
lon	рядок	так	географічна довгота сенсора	1.4421667

LoRaWAN, подібний до MAC-адреси для пристрою TCP/IP. Завдяки чому чітко визначається локація давача та виключається дублювання чи втрата даних в загальному масиві записів у базі даних. Для решти сенсорів системи, що не задіяні в моніторингу повітря, встановлюється тип «unknown».

Для «есо»-сенсорів сервіс звертається до відповідного Java-класу об'єктів у ІТС «Платформа великих даних» в залежності від виробника давача, який проводить розбір HEX-даних (спеціальний формат файлу, що надає дані у текстовому вигляді). Java-клас отримує запит у форматі згідно з прийнятим протоколом опису даних для АТРW. Далі вхідні дані приводяться до формату, необхідного для обробки.

4.2 Алгоритм представлення рекурсивних структур даних для створення списків, кортежів та рекурсивного дерева пошуку

Кортежі дозволяють утримувати велику кількість різнорідних даних, які за запитом користувача вибираються для роботи. Списки – поліморфна структура даних, де можуть використовуватися різнотипні сутності, над якими в подальшому можуть виконуватися різні маніпуляції з обробки.

Для реалізації алгоритму представлення рекурсивних структур обрана мова Haskell. Ця мова обрана через наявність засобів взаємодії з кодами на інших мовах програмування, а також через систему типізації та основну керуючу структуру мови – функцію [105].

Враховуючи модель (3.4) попереднього розділу, пул інформації можна сформувати з кортежів. Наприклад, давач інформації можна представити через його координати у вигляді пари чисел. За допомогою Haskell пару можна задати, перерахувавши компоненти через кому в дужках – (a, b). Компоненти пари не обов'язково повинні належати одному типу: можна скласти пару,

першим елементом якої буде рядок, а вторим – число і т. інш., що дає маневр для задавання вибору необхідної інформації.

Припустимо пара (a, b) має тип (Integer, Integer); пара (1, 'a') належить типу (Integer, Char). Можна навести й більш складний приклад: пара ((1, 'a'), 1.2) належить типу ((Integer, Char), Double).

Для роботи з парами в мові Haskell існують стандартні функції `fst` і `snd`, які повертають, відповідно, перший і другий елементи пари (назви цих функцій походять від англійських слів `first` (перший) і `second` (другий)). Таким чином, їх можна використовувати в такий спосіб:

```
Prelude> fst (5, True)
5 :: Integer
Prelude> snd (5, True)
True :: Bool
```

Крім пар, аналогічним чином можна визначати трійки, четвірки і т.д. Їх типи записуються аналогічним чином:

```
Prelude> (1,2,3)
(1,2,3) :: (Integer, Integer, Integer)
Prelude> (1,2,3,4)
(1,2,3,4) :: (Integer, Integer, Integer, Integer).
```

Останній приклад і є кортежем. У кортежі може зберігатися фіксована кількість різнорідних даних. Функції `fst` і `snd` визначені тільки для пар і не працюють для інших кортежів.

Елементом кортежу може бути значення будь-якого типу, в тому числі і інший кортеж. Для доступу до елементів кортежів, складених з пар, може використовуватися комбінація функцій `fst` і `snd`. Наступний приклад демонструє витяг елемента 'a' з кортежу (1, ('a', 23.12)):

```
Prelude>
fst (snd (1, ( 'a', 23.12)))
'A' :: Char.
```

Список у мові Haskell – це сімейство типів, що складається з типів списку з елементами з «а», для будь-якого типу «а». Список [1,2,3] в Haskell насправді є скороченою формою запису для списку 1: (2: (3: [])), де:

[] – це порожній список,

: – інфіксий оператор, який додає свій перший аргумент в початок свого другого аргументу (деякого списку).

За допомогою списків можна додавати як окремі елементи, так і інші списки. Списки можна також розділяти та видаляти окремі елементи, а також поставити умови на список. Все це дозволяє маніпулювати зі списками, як з множинами.

Використання кортежів і списків для вибору необхідної інформації, яка потім може бути сформована у пул, можна реалізувати за допомогою машини Тюрінга. Для цього пропонується наступний алгоритм:

1) Вибір необхідної структури даних.

Машина Тюрінга задається багатьма станами Q . Кожен з цих станів на мові Haskell буде реалізований за допомогою константи `machine`, що дорівнює списку кортежів, кожен з яких має структуру $(q_i, a_j, a_{j1}, d_k, q_{i1})$;

2) Задаємо внутрішній алфавіт машини Тюрінга, як '1', '2', '3', '4', '5', '6', '7', '8', '9', '0', з порожнім символом – '_';

3) Задається стрічка списком символів.

Оскільки у мові Haskell є стрічковий тип даних, що представляє собою список символів, то число розміщується в лапках – "";

4) Опис машини Тюрінга задається константою, що дорівнює списку кортежів;

5) Визначається список основних функцій: `get_next`, `get_direction`, `get_new_symbol`, `get_new_state`, `rewrite_symbol`, `get_structure`, `get_n_elem`, `get_second_elem`, `get_first_elem` `turing`;

6) Створюється функція `start` для запуску машини Тюрінга (функції `turing`), використовуючи стартовий стан `Q1`;

7) Рядок символів `str` реверсується.

На початок і наприкінці рядку символів додаються символи «`_`», які «обмежують» рядок. Спочатку символ «`_`» додається в початок списку, потім список реверсується, і знову додається порожній символ в початок списку. Реверсування списку необхідно, так як множення відбуватиметься починаючи з останнього розряду, для реалізації можливості перенесення одиниці в старший розряд;

8) Функція `get_next` в залежності від обраного напрямку отримує номер наступного елемента.

Якщо необхідний рух праворуч, то до значення поточного положення додається одиниця, якщо необхідний рух ліворуч, то одиниця віднімається. В іншому випадку значення залишається незмінним;

9) Функція `get_direction` отримує необхідний напрям руху зчитування символу з кортежу первинної інформації (значення `d`);

10) Функція `get_new_symbol` отримує з кортежу символ, який потрібно записати (значення `c`);

11) Функція `get_new_state` отримує з кортежу новий стан машини (значення `e`);

12) Функція `rewrite_symbol` вставляє новий символ на потрібну позицію замінюючи старий;

13) Новий символ повертає функція `get_new_symbol`;

14) Функція `get_structure` знаходить в списку `machine` потрібний кортеж по заданим його першим елементам;

15) Функція `get_n_elem` знаходить в списку `n`-й елемент;

16) Функції `get_first_elem` і `get_second_elem` повертають відповідно перший і другий елемент кортежу;

17) Функція `turing` запускає машину Тюрінга і якщо переданий як параметр стан не є кінцевим, то викликає рекурсивно сама себе.

Лістинг коду реалізованого алгоритму з використанням кортежів і списків наведено у Додатку Ж.

Реалізація рекурсивного дерева (див. рис. 3.1) для характеристики системи, за якою здійснюється спостереження, з виводом агрегованої інформації можна реалізувати через звичайне бінарне дерево пошуку (рис. 4.8).

```
"ghci>" data Tree a = EmptyTree | Node a ( Tree a ) ( Tree a ) deriving (Show, Read , Eq)
"ghci>" |
```

Рисунок 4.8 – Приклад реалізації бінарного дерева пошуку

Завдяки мові Haskell до створення рекурсивного дерева можна підійти через функцію, яка формує дерево шляхом вбудови вузла із значенням (інформацією, списком), яке задане для пошуку. Для цього виконується простий алгоритм:

Крок 1: порівнюється значення, яке потрібно вставити, із значенням у кореневому вузлу дерева;

Крок 2: якщо значення менше, ніж кореневе, то:

- переміщуємося вліво,
- інакше, переміщуємося вправо;

Крок 3: виконати процедуру для кожного вузлу дерева;

Крок 4: при досягненні кінця дерева вставляємо вузол (вибірку інформації) згідно заданого пошуку.

Тип подібної функції можна в загальному вигляді описати, як:

$$a \rightarrow \text{Tree } a \rightarrow \text{Tree } a'$$

Функція бере значення і дерево та повертає нове дерево, в яке вбудовано новий елемент із цим значенням (гілка на дереві). Ця функція повинна:

- якщо множина (дерево) порожня, то створюється дерево елементом та порожніми піддеревими;
- якщо множина не є порожньою, то виконується крок 2 алгоритму;

– якщо елемент має збіг, то він залишається в новій гілці.

Лістинг реалізації коду такої функції:

```
data Tree a = EmptyTree | Node a (Tree a) (Tree a) deriving
(Show, Read, Eq)
singleton :: a -> Tree a
singleton x = Node x EmptyTree EmptyTree

treeInsert :: (Ord a) => a -> Tree a -> Tree a
treeInsert x EmptyTree = singleton x
treeInsert x (Node a left right)
  | x == a = Node x left right
  | x < a  = Node a (treeInsert x left) right
  | x > a  = Node a left (treeInsert x right).
```

Функція `singleton` є допоміжною функцією для створення вузла, який має усередині якийсь значення і два порожні піддерева. У функції вставки спочатку перевіряється крайова умова. Тобто, якщо порожнє дерево досягнуто, то додається вузол з новими даними. Ці дані можуть бути виведені на дашборд, як це представлено у раніше зазначеному Додатку Д.

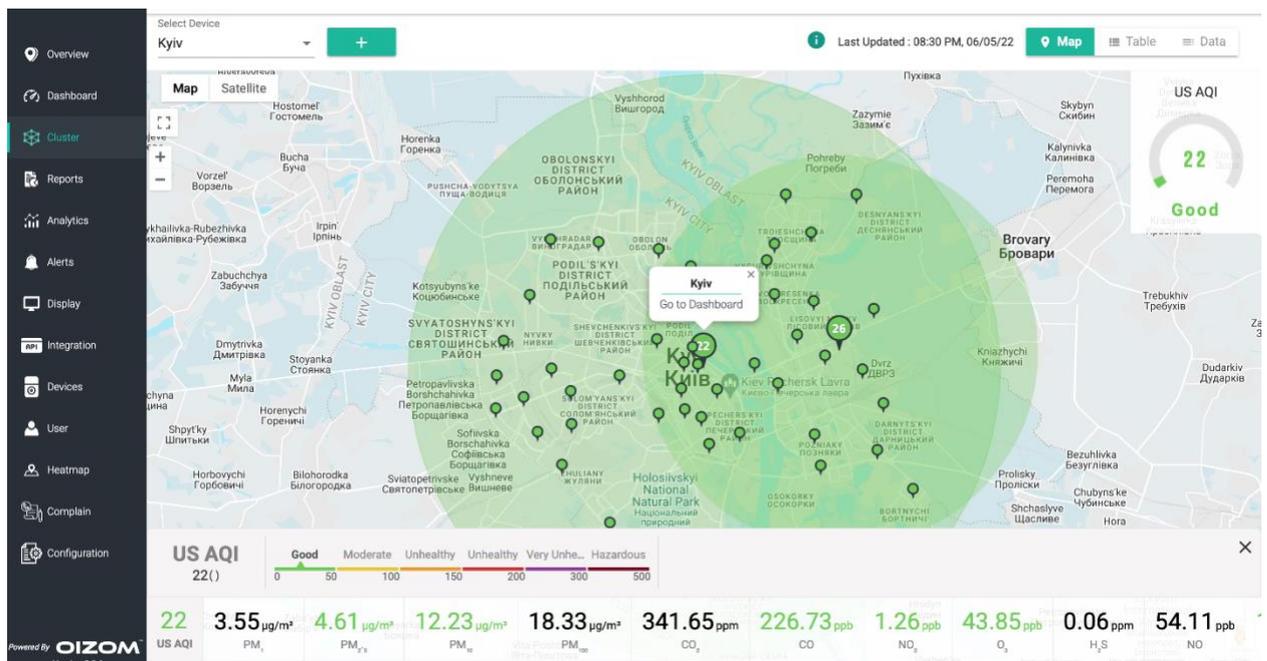
4.3 Вирішення задачі програмування необхідної і достатньої кількості давачів інформації для об'єкта, що під'єднаний до мережі «розумного міста» на основі технології LoRaWAN

4.3.1 Виконання динамічного програмування розподілу необхідних давачів технології дослідження параметрів стану довкілля

Динамічне програмування доволі широко використовується дослідниками для вирішення різноманітних завдань автоматизації процесів.

Принцип оптимальності Беллмана піднімає питання, чим є оптимальність окремого елемента системи з погляду оптимальності всієї системи. Враховуючи це, відбувається узагальнення рівня і побудова деякого оптимального шляху. Тому функція $W_i(S)$ виступає умовним оптимальним виграшом деякої функції $W(S)$. Таким чином, процес оптимізації за методом динамічного програмування розгортається від кінця до початку, а потім від початку до кінця.

Мережа оповіщення про виникнення аварійної ситуації отримує інформацію з датчиків, розміщених в різних куточках міста (рис. 4.9).



Рисунк 4.9 – Скріншот екодавачів мережі на основі технології LoRaWAN

Періодично давачі потребують заміни через несправності, що виникають від погодних факторів, або з метою тестування. Проте велику кількість давачів закупати і зберігати на складах немає сенсу – технології змінюються, морально застарілі датчики також замінюються новими. Враховуючи зазначене, слід визначити необхідну кількість давачів d_k , в яких виникне потреба в кожному з n місяців періоду, який планується, із

забезпеченням мінімальних витрат на закупку та утримання запасів. На початок періоду є z_0 давачів на складі. В кожному з періодів, який планується, закуповується не більше A давачів. Але одночасно на складі зберігається не більше, ніж B давачів, включаючи ті, що повернуті на обслуговування. Витрати, пов'язані із зберіганням та обслуговуванням давачів X_k , у деякий місяць k є сумою умовно-постійних витрат C тис. грн. та змінних витрат V тис. грн. на кожну одиницю. Витрати, які обумовлені зберіганням протягом місяця одного датчика, дорівнюють h тис. умовних одиниць (у.о.).

За основу досліджень береться класична задача розподілу ресурсів, яку можна вирішити за наступною методикою.

Є деякий початковий капітал k_0 . Його можна розподілити між декількома об'єктами управління P_1, P_2, \dots, P_n . X_{ij} – кількість засобів, що будуть вкладені у i -тому році, у деякий об'єкт j . У підсумку буде отримано ефект:

$$W_{ij} = f(X_{ij}) \quad (4.1)$$

В загальному випадку, (4.1) є нелінійною функцією, і необхідно розподілити початковий капітал (ресурс) так, щоб сумарний ефект за всіма об'єктами за всі роки був максимальним. Тобто,

$$W = \sum f(X_{ij}) \rightarrow \max_{\sum X_{ij} \leq k_0} \quad (4.2)$$

Враховуючи, що функція W є нелінійною, то вираз (4.2) є класичною задачею лінійного програмування з дуже великою кількістю змінних. Крім того, у багатьох випадках X_{ji} може мати дискретні значення. І в цьому випадку, наведену задачу (4.1) можна вирішити послідовно, проводячи оптимізацію на кожному кроці.

За стан S деякої системи приймається один чи кілька параметрів системи. Наприклад, якийсь ресурс управління на i -тому кроці U_i – це деякий

вплив, який відчуває система, змінює свій стан S . Тоді, враховуючи зазначене, за i -ий крок можна отримати деякий виграш, який позначається $\omega_i(S_i, U_i)$, при цьому стан S переходить у S' :

$$S \rightarrow S' = \varphi_i(S, U_i). \quad (4.3)$$

Аналізуючи вираз (4.3), приймається, що функції $\omega_i(S_i, U_i)$ і $\varphi_i(S, U_i)$ відомі (рис. 4.10).

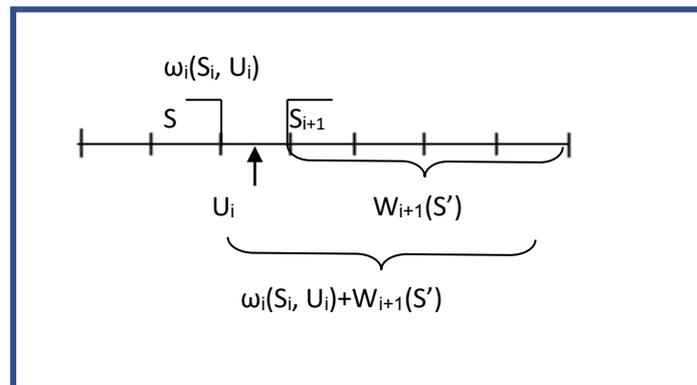


Рисунок 4.10 – Графічний аналіз переходу стану системи

Для представлень, аналогічних (4.3), Беллман ввів поняття умовного оптимального виграшу $W_i(S)$. Ця функція показує оптимальний виграш (найкращий результат), отриманий за всі кроки від i -го і до кінця, якщо i -ий крок починається зі стану S . Тоді згідно з принципом оптимальності Беллмана, аналізуючи технічні системи, за умов прийняття рішення на i -му кроці, можна вибрати U_i так, щоб виграш був максимальним від i -того кроку до кінця.

Роботу будь-якої динамічної системи можна представити як рух у фазовому просторі. Цей простір станів системи можна виразити вектором координат: $S = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_L)$. А керування простором станів можна покроково. Тобто, процес управління складною динамічною системою буде складатися з m кроків, а безпосередньо управління відбувається на будь-якому i -му кроці.

Як вже зазначалося вище, виграшна функція може бути представлена, як $\omega_i(S, U_i)$ і S – стан перед i -м кроком, U_i – керування на i -му кроці.

Варто пам'ятати, що величина $\omega_i(S, U_i)$ повинна бути відомою до початку динамічного програмування. Якщо стан перед i -м кроком був S , а потім було виконане якесь управління U_i , то стан системи вже буде описуватися $S' = \varphi_i(S, U_i)$.

Проте, ця функція також повинна бути відомою. Якщо вони не задані, їх треба сформулювати. Наприклад, ввести функцію умовного оптимального виграшу $W_i(S)$. Цей виграш є виграш за всіма етапами з початку і до кінця, якщо i -тий крок починається зі стану S .

Досліджується кількість у m кроків. Припускається, що з $(i+1)$ -го кроку щодо системи виконується оптимальне управління. Тоді величина виграшу складе $W_{i+1}(S')$. На i -ому кроці буде застосоване довільне управління U_i , тоді $\tilde{W}_i(S)$ – неоптимальний виграш. Щоб від i -того кроку і до кінця задачі отримати оптимальний виграш, слід змінити U_i так, щоб отримати функціональне рівняння Беллмана:

$$\begin{aligned} W_i(S) &= \max_{U_i} \{ \omega_i(S, U_i) + W_{i+1}(S') \} \quad S' = \varphi_i(S, U_i) \\ W_i(S) &= \max_{U_i} \{ \omega_i(S, U_i) + W_{i+1}[\varphi_i(S, U_i)] \} \end{aligned} \quad (4.4)$$

Для вирішення рівняння (4.4) дії починають виконувати з кінця за наступним алгоритмом:

1) $i = m$;

$$W_m(S) = \max_{U_m} \{ \omega_m(S, U_m) \} .$$

2) $i = m - 1$;

$$W_{m-1}(S) = \max_{U_{m-1}} \{ \omega_{m-1}(S, U_{m-1}) + W_m[\varphi_{m-1}(S, U_{m-1})] \} .$$

3) Отримуються наступні вирази:

$$W_m(S), W_{m-1}(S), \dots, W_1(S)$$

$$U_m(S), U_{m-1}(S), \dots, U_1(S)$$

4) Перехід в початковий стан $W_1(S)$, можна підставити $S = S_0$ та $W_1(S_0) = W_{max}$. Це і буде безумовним виграшом за задачею.

5) Отримуються безумовні оптимальні рівняння шляхом від початку до кінця за ланцюгом:

$$S=S_0 \rightarrow U_1(S_0)=U_1^* \rightarrow \varphi(S_0, U_1^*)=S_1^* \rightarrow U_2(S_1^*)=U_2^* \rightarrow \varphi(S_1^*, U_2^*) \dots$$

6) Знаходиться оптимальне рішення:

$$U_1^*, U_2^*, \dots, U_m^*; W_{max}$$

Комп'ютерний експеримент за наведеним алгоритмом був виконаний у пакеті MATLAB. Основні результати наведені нижче.

4.3.2 Побудова моделі оптимальної кількості давачів системи моніторингу для оповіщення про надзвичайні (аварійні) ситуації

За показниками щодо місячної потреби в датчиках (табл. 4.2), та витратами на зберігання (табл. 4.3) було проведене коригування наявних запасів давачів на складі, за умов змінної кількості давачів, що замінюються щомісяця.

Таблиця 4.2 – Показники місячної потреби в датчиках

Показник	Кількість
Період планування, n, місяць	6
Мінімальна необхідна кількість давачів щомісяця (постійно), d_k , од.	7
Максимальна кількість давачів, що закуповується щомісяця, A , од.	7
Максимальна кількість давачів, що зберігаються на складі, B , од.	6

Закінчення табл. 4.2

Показник	Кількість
Витрати на зберігання 1 датчика протягом одного місяця, h , тис.грн.	5
Кількість давачів на початок/кінець періоду, який планується, z_0/z_n , од.	2/0
Постійні витрати, C , тис.у.о.	4
Змінні витрати, V , тис.у.о./од.	3

Таблиця 4.3 – Витрати на зберігання

Обсяг, x_k , од.	0	1	2	3	4	5	6	7
Витрати зберігання, $C(x_k)$, тис.грн.	0	7	10	13	16	19	22	25

За наведеними таблицями можна побудувати модель планування закупки, заміни та зберігання давачів відповідно до наступного алгоритму моделювання задач динамічного програмування:

1) Вибір способу поділу процесу управління на кроки.

Процес планування закупки, заміни та зберігання давачів протягом n місяців дозволяє розглядати його як n -кроковий процес, тобто, за номер k кроку можна обрати номер k місяця ($k = \overline{1;n}$);

2) Вибір параметрів, що характеризують стан системи на початку k -того кроку та змінних керування на k -му кроці:

Z – початковий стан системи – рівень запасу готової продукції початку k -того місяця;

j_k – кінцевий стан системи – рівень запасу готової продукції на кінець k -го місяця;

$X^*k(Z)$ – умовно-оптимальне управління на k -тому кроці – обсяг продукції, виробленої у місяць k задля забезпечення мінімально можливих витрат за закупку, заміну і зберігання.

4.3.3 Формулювання принципу Беллмана та цільової функції для поставленої задачі

Для поставленої задачі принцип оптимальності Беллмана буде звучати наступним чином: оптимальний план закупівлі давачів для будь-якого місяця повинен мати властивість оптимальності з точки зору витрат на закупівлю, обслуговування та зберігання без врахування того, скільки давачів було закуплено минулого місяця.

У цьому випадку цільова функція може бути записана у вигляді суми:

$$F = \sum_{k=1}^n (C(x_k) + h \cdot j_k) \rightarrow \min . \quad (4.5)$$

Основне рекурентне співвідношення за Беллманом дозволяє знайти умовно оптимальні значення цільової функції на якомусь кроці при відомих її умовно-оптимальних значеннях на попередньому кроці.

Нехай $F_k^*(z)$ – мінімальні (умовно-оптимальні) витрати на придбання та зберігання продукції за k -тий місяць, за умови, що рівень запасів давачів на початок місяця становить z .

Обчислювальний процес виконується за схемою зворотного ходу (від кінця до початку), враховуючи при цьому, що сумарні витрати у наступні місяці мають бути мінімальними. Таким чином, рекурентне співвідношення Беллмана матиме вигляд:

$$F_k^*(z) = \min_{x_k \in U} \{C(x_k) + h \cdot j_k + F_{k+1}^*(j_k)\}, \quad (4.6)$$

де:

U – множина значень x_k за умов:

а) $x_k \leq A$ – можна закупити не більше, ніж A давачів;

б) $z(j_k) \leq B$ – запас давачів не може бути більше, ніж кількість місць B для цих давачів на складі.

На кінець періоду запас давачів не повинен бути більше 0, а на кроці $k+l$ нічого не купується і не зберігається. Тоді для останнього кроку рівняння Беллмана за поставленою задачею матиме вигляд:

$$F_n^*(z) = \min_{x_n \in U} \{C(x_n) + 0 + F_{n+1}^*(0)\},$$

або

$$F_n^*(z) = \min_{x_n \in U} \{C(x_n)\}, \quad (4.7)$$

Рівень кількості давачів для заміни на складі на кінець k -того місяця дорівнюватиме:

$$j_k = z - d_k + x_k. \quad (4.8)$$

Умовна оптимізація може бути проведена послідовно для кроків $k, k-1, k-2, \dots, 2, 1$ з використанням оптимізаційної таблиці (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Оптимізаційна таблиця для k -го кроку

$z \backslash j_k$	0	1	...	B	$F_k^*(z)$	$X_k^*(z)$		
0	x_k	$F_k(z)$	x_k	$F_k(z)$...	x_k	$F_k^*(0)$	$X_k^*(0)$
...
B	x_k	$F_k(z)$	x_k	$F_k(z)$...	x_k	$F_k^*(B)$	$X_k^*(B)$

Значення x_k – кількість давачів, придбаних у k -тому місяці, визначається з формули станів (4.8). При заповненні оптимізаційних таблиць слід враховувати виконання умов формули (4.6). В задачі, яка аналізується, постійно щомісяця використовується мінімум $d_k=7$ давачів, відповідно, формула (4.8) приймає вигляд:

$$x_k = j_k - z + 7.$$

При оптимізації останнього кроку $k=6$, рівняння Беллмана приймає вигляд:

$$F_6^*(z) = \min_{x_6 \in U} \{C(x_6)\} = c(x_6).$$

Особливістю вирішення цієї задачі є те, що наприкінці періоду планування кількість давачів повинне бути нульовим, тобто, кінцевий стан на даному кроці дорівнюватиме $j_6=0$, а табл. 4.4 буде мати нульовий стовпчик.

Тоді для рівняння Беллмана алгоритм виконання виглядатиме покроково наступним чином:

1) $k=5$:

$$F_5^*(z) = \min_{x_5 \in U} \{C(x_5) + h \cdot j_5 + F_6^*(j_5)\};$$

2) $k=4$:

$$F_4^*(z) = \min_{x_4 \in U} \{C(x_4) + h \cdot j_4 + F_5^*(j_4)\};$$

3) $k=3$:

$$F_3^*(z) = \min_{x_3 \in U} \{C(x_3) + h \cdot j_3 + F_4^*(j_3)\};$$

4) $k=2$:

$$F_2^*(z) = \min_{x_2 \in U} \{C(x_2) + h \cdot j_2 + F_3^*(j_2)\};$$

5) $k=1$:

$$F_1^*(z) = \min_{x_1 \in U} \{C(x_1) + h \cdot j_1 + F_2^*(j_1)\}.$$

Враховуючи, що кількість давачів на початок періоду досліджень відоме і складає $z=2$, то оптимізаційна таблиця для 1-го кроку теж скорочується, але до одного рядка. Проводячи розрахунки з первинними даними можна отримати мінімальні витрати на придбання та зберігання давачів. За результатами розрахунків вони складають 144 тис. у.о.

4.3.4 Безумовна оптимізація процесу заміни давачів в мережі

Для безумовної оптимізації процесу у пакеті MATLAB на основі покрокових таблиць відбувається розрахунок від кінця до початку, тобто, від кроків $k=1$ до $k=6$.

Були отримані результати, що для досягнення мінімальних витрат у 144 тис. у.о. на придбання та утримання на складі давачів по місяцях, слід:

- в 1-й місяць придбати 5 давачів, встановити – 7 давачів;
- у 2-й місяць придбати 7, встановити – 7;
- у наступні місяці – те ж саме, що й у 2-й місяць.

Контроль обчислень можна провести з використанням формули (4.5):

$$F = \sum_{k=1}^n (C(x_k) + h \cdot j_k) = (19 + 5 \cdot 0) + (25 + 0) + (25 + 0) + (25 + 0) + (25 + 0) + (25 + 0) = 144$$

тис.у.о.

Тепер за допомогою оптимальної програми покупки та встановлення давачів можна скоригувати план для умов змінної кількості встановлення давачів для системи (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 – Змінна кількість давачів за місяцями

n , місяць	1	2	3	4	5	6
d_k , давачі, які потребують заміни	2	5	4	6	7	4

В результаті обчислень отримано результат, що для досягнення оптимального плану придбань давачів для системи за умов змінної кількості давачів, що потребують заміни, за розробленою моделлю необхідно:

- в 1-й місяць придбати 0 давачів, замінити 2 давачі;
- у 2-й місяць придбати 5 давачів, замінити 5 давачів;
- у 3-й місяць придбати 4 давачі, замінити – 4;
- у 4-й місяць придбати 6, замінити – 6;
- у 5-й місяць придбати і замінити по 7 давачів;
- у 6-й місяць придбати і замінити по 4 давачі;

При цьому обсяг витрат складатиме за формулою (4.5):

$$F = \sum_{k=1}^n (C(x_k) + h \cdot j_k) = (0 + 5 \cdot 0) + (19 + 0) + (16 + 0) + (22 + 0) + (25 + 0) + (16 + 0) = 98 \text{ тис. у.о.}$$

Тобто, витрати скорочуються на 46 тис. у.о. або на 31,9%, що підтверджує досягнення мети зі зменшення витрат на утримання давачів та дозволяє запропонувати більш оптимальний план обслуговування давачів мережі. Результати прикладу, в якій був розглянутий лише один район міста (див. рис. 4.9), дають можливість стверджувати, що початкова кількість ресурсів, які необхідно розподілити, є скінченною величиною. Проте простий

план, без оптимізації, привносить лише стабільні витрати при нестабільній заміні давачів. Ресурс, який використовується, не приносить доходу, а витрати є стабільними.

4.4 Висновки за розділом 4

В четвертому розділі роботи були розроблені моделі, алгоритми та реалізовані сервіси, які дозволяють реалізувати основні задачі інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля на базі технології LoRaWAN:

1) Розроблено сервіс отримання інформації від давачів для наступної обробки та представлення через дашборди. Для цього було застосовано метод інформаційної згортки. Розроблений сервіс було реалізовано у інформаційно-телекомунікаційній системі «Платформа великих даних» для отримання та обробки даних від екологічних сенсорів Oizom Polludrone та Talkpool OY1210. Особливістю розробленого сервісу є розподіл даних за автоматичними чергами із обов'язковою фіксацією помилок для повторного опитування давачів. Результати формуються у вигляді HTTP кодів.

2) Розроблено алгоритм представлення рекурсивних структур даних для створення списків, кортежів з наступною програмною реалізацією вибору окремої інформації з масиву даних на основі машини Тюрінга. Представлено алгоритм реалізації рекурсивного дерева пошуку. Зазначене дозволяє утримувати велику кількість різномірних даних, які за запитом користувача вибираються для роботи та формують інформаційний пул для подальшої роботи користувача.

3) На базі функціонального рівняння Беллмана була побудована модель оптимальної кількості давачів системи моніторингу для оповіщення про аварійні ситуації для застосування цієї моделі при розробці сервісу

оповіщення про аварійні та надзвичайні ситуації. У підсумку був отриманий оптимальний план заміни датчиків системи із можливістю скорочення витрат у 31,9% на покупку і зберігання нових датчиків.

4) Наведені в четвертому розділі матеріали були частково представлені у роботах [92, 106].

ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні вирішена наукова задача з розробки підходу, моделей та алгоритмів створення інформаційної технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста (на прикладі м. Києва).

Отримані результати дозволяють зробити наступні висновки:

1. Досліджені особливості організації, специфіка існуючих підходів, методів та моделей створення інформаційних технологій дослідження параметрів стану довкілля, зокрема: розробка моделей та алгоритмів інформаційної технології для реалізації безпечного для громадян міста, на основі енергоефективних протоколів, з вивірною кількістю датчиків та пристроїв, що сигналізують про зміни параметрів систем, які контролюються, для їх обробки, виводу результатів з метою подальшого використанні в управлінській діяльності.

2. Сформований та обґрунтований комплекс системних вимог для реалізації технології дослідження параметрів стану довкілля з відокремленням рекурсивного об'єкту (шаблону), яким можна скористатись для розбудови ІТ, доповнення її змістовними блоками для покращення моделей і прогнозів, з аналізом системних ознак безпекової складової великого міста за умов невизначеності при змінах цільової функції.

3. Представлено підхід до створення сервісу, що дозволяє представити інформаційний пул із забезпеченням аналітичної функції та візуалізації згідно запиту користувача, запропонована реалізація інформаційної згортки, використання дашбордів для візуалізації інформації.

4. Обґрунтовані та представлені алгоритми, на їх основі розроблений сервіс отримання інформації від давачів для наступної обробки та представлення. Розроблений сервіс було реалізовано у інформаційно-телекомунікаційній системі «Платформа великих даних» для отримання та

обробки даних від екологічних сенсорів Oizom Polludrone та Talkpool OY1210, також побудована модель оптимальної кількості датчиків системи моніторингу для оповіщення про аварійні ситуації для застосування цієї моделі при розробці сервісу оповіщення про аварійні та надзвичайні ситуації, яка дозволяє формувати оптимальний план заміни датчиків системи із можливістю скорочення витрат. За проведеного моделювання у одному з районів Києва, що підключений до ІТС «Платформа великих даних», було отримано зниження витрат у 31,9% на покупку і зберігання нових датчиків, що надають інформацію про стан довкілля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Плєскач В.Л. Інформаційні системи і технології на підприємствах: підручник /В.Л. Плєскач, Т.Г. Затонацька. – К. :Знання, 2011. – 718с.
2. Davidson, James Duncan; Coward, Danny (1999). Java Servlet Specification ("Specification") Version: 2.2 Final Release. Sun Microsystems. pp. 43–46.
3. Acharjya, D.P.; Geetha, M.K., eds. (2017). Internet of Things: Novel Advances and Envisioned Applications. Springer. p. 311. ISBN 9783319534725.
4. Rowland, C.; Goodman, E.; Charlier, M.; et al., eds. (2015). Designing Connected Products: UX for the Consumer Internet of Things. O'Reilly Media. p. 726. ISBN 9781449372569.
5. Технології інтернету речей. Навчальний посібник [Електронний ресурс]: навч. посіб. Для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології», спеціалізація «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем» / Б. Ю. Жураковський, І.О. Зенів; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 12,5 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 271 с.
6. Thomas, Jayant; Traukina, Alena (2018). Industrial Internet Application Development: Simplify IIoT development using the elasticity of Public Cloud and Native Cloud Services. Packt Publishing. p. 25. ISBN 978-1788298599.
7. Stephenson, W. David (2018). The Future Is Smart: how your company can capitalize on the Internet of Things--and win in a connected economy. HarperCollins Leadership. p. 250. ISBN 9780814439777.
8. Енергоефективність в муніципальному секторі. Навчальний посібник для посадових осіб місцевого самоврядування /А.Максимов, І.Вахович, Т.Гутніченко, П.Бабічева, Н.Вакуленко, Н.Ігольнікова, Т.Цифра, О.Молодід, О.Молодід, О.Бєлєнкова, Ю.Ячменьова, Ю.Дорошук, А.Скрипник,

А.Ваколюк, В.Бойко, М.Сегедій, Д.Вахович/ Асоціація міст України – К., ТОВ «ПІДПРИЄМСТВО «ВІ ЕН ЕЙ»,2015. –184 с.

9. "Потрібно готувати населення": експерт пояснив наслідки блекауту (27 листопада 2022) рік. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://glavred.net/ukraine/nuzhno-gotovit-naselenie-ekspert-obyasnil-posledstviya-blekauta-10428296.html>

10. Гойко А. Ф. Ефективність інвестування реконструкції і технічного переоснащення діючих підприємств / Гойко А. Ф // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин: зб. наук.праць. - К.: КДТУБА, 2009. – сс. 64-74.

11. Енергетична стратегія України на період до 2030 року [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://eircenter.com/images/Strategiya.pdf>

12. Shepard, Mark (2011). *Sentient City: Ubiquitous Computing, Architecture, and the Future of Urban Space*. New York City. Architectural League of New York. The Architect's Newspaper. ISBN 978-0262515863.

13. "Uncovering the Early History of "Big Data" and the "Smart City" in Los Angeles". Boom California. 16 June 2015. Retrieved 7 January 2022.

14. Batty, M.; et al. (2012). "Smart Cities of the Future". *European Physical Journal ST*. 214: 481–518. Bibcode:2012EPJST.214..481B. doi:10.1140/epjst/e2012-01703-3.

15. Stratigea, Anastasia (30 October 2012). "The concept of 'smart cities'. Towards community development?". *Networks and Communication Studies*. 36 (3/4): 375–388. doi:10.4000/netcom.1105. Retrieved 28 August 2022.

16. Townsend, Antony (2013). *Smart Cities: Big Data, Civic Hackers, and the Quest for a New Utopia*. W. W. Norton & Company. ISBN 978-0393082876.

17. Moir, E.; Moonen, T.; Clark, C. (2014). "What are future cities – origins, meaning and uses" (PDF). Foresight Future of Cities Project and Future Cities Catapult.

18. Viitanen, J.; Kingston, R. (2014). "Smart cities and green growth – outsourcing democratic and environmental resilience to the global technology

sector". *Environment and Planning A*. 46 (4): 803–819. doi:10.1068/a46242. S2CID 145283799.

19. Mohanty, Saraju P.; Choppali, Uma; Kougianos, Elias (July 2016). "Everything You wanted to Know about Smart Cities" (PDF). *IEEE Consumer Electronics Magazine*. 6 (3): 60–70. doi:10.1109/MCE.2016.2556879. S2CID 206450227.

20. Cavada, M.; et al. (2016). "Do smart cities realise their potential for lower carbon dioxide emissions?". *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability*. 169 (6): 243–252. doi:10.1680/jensu.15.00032.

21. Caragliu, Andrea; D Bo, Chiara; Kourtit, Karima; Nijkamp, Peter (1 January 2015). "Smart Cities". *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (Second ed.). Elsevier. pp. 113–117. doi:10.1016/b978-0-08-097086-8.74017-7. ISBN 9780080970875.

22. Zhou, Yong; Xiao, Fan; Deng, Weipeng (23 March 2022). "Is smart city a slogan? Evidence from China". *Asian Geographer*: 1–18. doi:10.1080/10225706.2022.2052734.

23. Глушков В.М. Кибернетика. Вопросы теории и практики. – М.: Наука, 1986. – 488 с.

24. Горошко, Мирослав. [Що таке “розумне місто” і чи вдасться Україні перейняти світовий досвід?](#). Українська правда _Життя. Архів [оригіналу](#) за 19 червня 2019. Процитовано 04.12.2022. [Електронний ресурс] – Режим доступу <https://web.archive.org/web/20190619211646/https://life.pravda.com.ua/columns/2018/11/27/234336/>

25. Єршова О. Л. , Бажан Л. І. Розумне місто: концепція, моделі, технології, стандартизація *Статистика України*. 2020 № 2–3 С 68–77 Doi: 10.31767/su 2-3(89-90)2020 02-03 08.

26. Приходько В. П., Єгорова О. О., Кропова А. С. «Розумні міста» у процесах інноваційного розвитку Європейського Союзу: таргетування, ресурси та потенціал // *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. - Випуск 24, частина 3. – 2019 – сс. 53-59.

27. Тур О.В. Концепція розумного міста як основа сталого розвитку територій. Східна Європа: економіка, бізнес, управління. 2018. Вип. 4(15). С. 287–289.
28. Поспелов Д. А. Ситуационное управление. Теория и практика. - М.: Наука, 1986. - 216 с.
29. Поспелов Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления.- М.: Энергоиздат, 1981.- 232 с.
30. Задорожна Н.Т. Підхід до проектування інформаційних систем в органах державного управління// Искусственный интеллект.-2002.-№2.-С. 410 - 419.
31. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. – 2-е изд. – М.: Наука; Главная редакция изданий для зарубежных стран, 1983. – 344 с.
32. Эшби У. Росс. Введение в кибернетику: Пер. с англ.- 2-е изд.- Москва, 2005.- 432 с.
33. Биченок М.М., Трофимчук О.М., Проблеми природно-техногенної безпеки в Україні. — К.: УІНСіР. — 2002 – 153 с.
34. Довгий С.О., Красовський Г.Я., Радчук В.В., Трофимчук О.М., Андреев С.М. та інші. Сучасні інформаційні технології екологічного моніторингу Чорного моря. — К.: Інформаційні системи. — 2010. – 260 с.
35. Довгий С.О., Бідюк П.І., Трофимчук О.М. Системи підтримки прийняття рішень на основі статистично-ймовірнісних методів. — К.: Логос. — 2014. – 419 с.
36. Довгий С. О., Бідюк П. І., Трофимчук О. М., Савенков О. І. Методи прогнозування в системах підтримки прийняття рішень. – К.: Азимут-Україна. – 2011. – 608 с.
37. Згуровський М.З. Системний аналіз. Проблеми, методологія застосування / М.З. Згуровський, Н.Д. Панкратова. – К.: «Наукова думка», 2011. – 728с.

38. Волошин О.Ф., Машченко С.О. Теорія прийняття рішень. - Київ: ВПЦ «Київський університет», 2006.-303 с.
39. Глушков В.М. Автоматизированная комплексная территориальная отраслевая система планирования (АКТОСП): Препр. / АН Украины. Ин-т кибернетики; 78-67. –Київ: 1978. – 87 с.
40. Кунц Г., О’Доннел С.. Управление: Системный и ситуационный анализ управленческих функций: Пер. с англ. / Под общей ред. Д.М. Гвишиани. – М.: Прогресс, 1981. – 491 с.
41. Gunder, Michael (2003). "Passionate Planning for the Others' Desire: An Agonistic Response to the Dark Side of Planning". *Progress in Planning*. 60 (3): 235–319. [doi:10.1016/s0305-9006\(02\)00115-0](https://doi.org/10.1016/s0305-9006(02)00115-0).
42. J. Ploennigs, J. Cohn, A. Stanford-Clark, The future of IoT, *IEEE Internet Things Mag.* 1 (1) (2018) 28–33, <http://dx.doi.org/10.1109/IOTM.2018.1700021>.
43. U. Raza, P. Kulkarni, M. Sooriyabandara, Low power wide area networks: an overview, *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 19 (2) (2017) 855–873, <http://dx.doi.org/10.1109/COMST.2017.2652320>.
44. LoRaWAN Specification v1.1, LoRa Alliance, 2017, URL https://loralliance.org/resource_hub/lorawan-specification-v1-1/.
45. T. Elshabrawy, J. Robert, Interleaved chirp spreading lora-based modulation, *IEEE Internet Things J.* 6 (2) (2019) 3855–3863, <http://dx.doi.org/10.1109/JIOT.2019.2892294>.
46. F. Adelantado, X. Vilajosana, P. Tuset-Peiro, B. Martinez, J. Melia-Segui, T. Watteyne, Understanding the limits of LoRaWAN, *IEEE Commun. Mag.* 55 (9) (2017) 34–40, <http://dx.doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600613>.
47. T. Polonelli, D. Brunelli, A. Marzocchi, L. Benini, Slotted aloha on LoRaWAN - design, analysis, and deployment, *Sensors* 19 (4) (2019) <http://dx.doi.org/10.3390/s19040838>.
48. M.O. Farooq, D. Pesch, A search into a suitable channel access control protocol for LoRa-based networks, in: 2018 IEEE 43rd Conference on Local

Computer Networks, LCN, 2018, pp. 283–286, <http://dx.doi.org/10.1109/LCN.2018.8638225>.

49. M. El-Aasser, R. Badawi, M. Ashour, T. Elshabrawy, Examining carrier sense multiple access to enhance LoRa IoT network performance for smart city applications, in: 2019 IEEE 9th International Conference on Consumer Electronics, ICCE-Berlin, 2019, pp. 168–173, <http://dx.doi.org/10.1109/ICCE-Berlin47944.2019.8966182>.

50. M. Baddula, B. Ray, M. Chowdhury, Performance evaluation of aloha and CSMA for LoRaWAN network, in: 2020 IEEE Asia-Pacific Conference on Computer Science and Data Engineering, CSDE, 2020, pp. 1–6, <http://dx.doi.org/10.1109/CSDE50874.2020.9411539>.

51. A. Triantafyllou, P. Sarigiannidis, T. Lagkas, I.D. Moscholios, A. Sarigiannidis, Leveraging fairness in LoRaWAN: A novel scheduling scheme for collision avoidance, *Comput. Netw.* 186 (2021) <http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2020>.

52. D. Zorbas, K. Abdelfadeel, P. Kotzanikolaou, D. Pesch, TS-LoRa: Time-slotted LoRaWAN for the industrial internet of things, *Comput. Commun.* 153 (2020) 1–10, <http://dx.doi.org/10.1016/j.comcom.2020.01.056>.

53. D. Zorbas, X. Fafoutis, Time-slotted LoRa networks: design considerations, implementations, and perspectives, *IEEE Internet Things Mag.* 4 (1) (2021) 84–89, <http://dx.doi.org/10.1109/IOTM.0001.2000072>.

54. C. Pham, Investigating and experimenting CSMA channel access mechanisms for LoRa IoT networks, in: 2018 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, WCNC, 2018, pp. 1–6, <http://dx.doi.org/10.1109/WCNC.2018>.

55. A. Triantafyllou, P. Sarigiannidis, T. Lagkas, I.D. Moscholios, A. Sarigiannidis, Leveraging fairness in LoRaWAN: A novel scheduling scheme for collision avoidance, *Comput. Netw.* 186 (2021) <http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2020>.

56. Repa, Vaclav (2012). [Information Modeling of Organizations](#). Bruckner Publishing. 110 p. [ISBN 978-80-904661-3-5](#).

57. Petajajarvi J., Mikhaylov K., Roivainen A., Hanninen T., Pettissalo M. On the coverage of LPWANs: Range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology. Proceedings of the 14th International Conference on ITS Telecommunications; 2015 Dec 2–4; Copenhagen, Denmark, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., Piscataway(2015), pp. 55–59.

58. Влах-Вигриновська Г. І., Вигриновський М. А., Іванюк О. О. Огляд і порівняльний аналіз технологій LPWAN для розгортання мереж інтернету речей / Вісник Національного університету «Львівська політехніка». - № 907. - 2018. – сс. 67 – 73.

59. John Chen, Emily Walz, Brian Lafferty, Joe McReynolds, Kieran Green, Jonathan Ray, and James Mulvenon. (2018). China’s Internet of Things. Research Report Prepared on Behalf of the U.S.-China Economic and Security Review Commission. P. 212.
https://www.uscc.gov/sites/default/files/Research/SOSi_China%27s%20Internet%20of%20Things.pdf

60 LoRaWAN Technology, May 2021. [Online] Available: <https://www.lora-alliance.org/What-Is-LoRa/Technology>

61. NB-IoT, May 2021. [Online] Available: <https://www.gsma.com/iot/narrow-band-internet-of-things-nb-iot>

62. Ramon Sanchez-Iborra; Maria-Dolores Cano (2016). "State of the Art in LP-WAN Solutions for Industrial IoT Services". Sensors. 16 (5): 708. doi:10.3390/s16050708

63. Jesus Sanchez-Gomez; Ramon Sanchez-Iborra (2017). "Experimental comparison of LoRa and FSK as IoT-communication-enabling modulations". IEEE Global Communications Conference (Globecom'17). doi:10.1109/GLOCOM.2017.8254530

64. 802.11ah-2016 – IEEE Standard for Information technology— Telecommunications and information exchange between systems – Local and

metropolitan area networks—Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 2: Sub 1 GHz License Exempt Operation. doi:10.1109/IEEESTD.2017.7920364

65. Hilbert, Martin; López, Priscila (2011). "The World's Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information". *Science*. 332 (6025): 60–65. doi:10.1126/science.1200970

66. Jaynes, E. T. (1957). "Information Theory and Statistical Mechanics". *Phys. Rev.* 106 (4): 620. doi:10.1103/physrev.106.620

67. Beynon-Davies, P. (2002). *Information Systems: an introduction to informatics in Organisations*. Basingstoke, UK: Palgrave. ISBN 978-0-333-96390-6.

68. Willis, Anthony (1 August 2005). "Corporate governance and management of information and records". *Records Management Journal*. 15 (2): 86–97. doi:10.1108/09565690510614238

69. Мороз О. Управління // Філософський енциклопедичний словник / В. І. Шинкарук (гол. редкол.) та ін. — Київ : Інститут філософії імені Григорія Сковороди НАН України : Абрис, 2002. — С. 657. — 742 с. — 1000 екз. — ББК 87я2. — ISBN 966-531-128-X.

70. Mintzberg, H. (1979). *The structuring of organizations*. Englewood Cliffs NJ: Prentice Hall. P. 512.

71. Технічний регламент // Митна енциклопедія : у 2 т. / І. Г. Бережнюк (відп. ред.) та ін.. — Хм. : ПП Мельник А. А., 2013. — Т. 2 : М — Я. — С. 393. — 536 с. — ISBN 978-617-7094-10-3.

72. Іцкович В.Є., Кряжич О.О. Інтернет речей в управлінні складними системами // XI наукова конференція «Наукові підсумки 2022 року». Збірка наукових праць. – Харків, Х.: Технологічний Центр, 2022. – сс. 19. e-ISBN 978-617-7319-62-6.

73. Іцкович В.Є. «Інтернет речей» в управлінні складними системами / Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток // Колективна

монографія за матеріалами XXI Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 14-16 листопада 2022 р.) / За заг. ред. С.О. Довгого. – К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2022. – сс. 193 – 194. ISBN 978-617-7854-76-9

74. "SOA Source Book - What Is SOA?". collaboration.opengroup.org. Retrieved March 30, 2021. <https://collaboration.opengroup.org/projects/soa-book/pages.php?action=show&ggid=1314>

75. Haken, H. (1984). *The science of structure : synergetics*. New York: Van Nostrand Reinhold. ISBN 0442237030.

76. Забуский И. *Nonlinear partial differential equations* — N. Y.: Acad. press, 1967, с. 223

77. H. Haken. *Synergetik*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1982, ISBN 3-8017-1686-4

78. Haken, Hermann (2006). *Synergetik in der Psychologie Selbstorganisation verstehen und gestalten (in German)*. Göttingen, Bern, Wien, Toronto, Seattle, Oxford, Prag: Hogrefe. ISBN 3-8017-1686-4.

79. 802.11ah-2016 – IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks—Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 2: Sub 1 GHz License Exempt Operation. doi:10.1109/IEEESTD.2017.7920364. ISBN 978-1-5044-3911-4.

80. Benbya, H.; McKelvey, B. (2006). "Using coevolutionary and complexity theories to improve IS alignment: a multi-level approach". *Journal of Information Technology*. 21 (4): 284–298. doi:10.1057/palgrave.jit.2000080

81. Boisot, M.; McKelvey, B. (2011). "Complexity and organization-environment relations: revisiting Ashby's law of requisite variety". *P. Allen, the Sage Handbook of Complexity and Management*: 279–298.

82. Adelantado, Ferran; Vilajosana, Xavier; Tuset-Peiro, Pere; Martinez, Borja; Melia-Segui, Joan; Watteyne, Thomas (2017). "Understanding the Limits of

LoRaWAN". IEEE Communications Magazine. 55 (9): 34—40. DOI:10.1109/mcom.2017.1600613. ISSN 0163-6804.

83. Kluge. Etymologisches Wörterbuch der deutschen Sprache. 23. Auflage. Walter de Gruyter, Berlin 1999. ISBN 3-11-016392-6. Eintrag: „ereignen“, S. 229.

84. Шейко В.М., Кушнаренко Н.М. Організація та методика науково – дослідницької діяльності. – К.: Знання-Прес, 2003. – 295 с.

85. Magnus Ramage and Karen Shipp. 2009. Systems Thinkers. Springer. P. 326. ISBN: 978-1848825246

86. Глушков В.М. Основы безбумажной информатики. Изд.2-е, испр. – М.: Наука, Гл. Ред. физ.-мат. лит., 1987. – 552 с.

87. Shah, Hiral; Nowocin, Walter (October 2015). Guide to the engineering management body of knowledge. American Society of Mechanical Engineers (4th ed.). Huntsville, AL. ISBN 9780983100584.

88. Теорія та практика побудови організаційних систем управління: Навчальний посібник / О.П. Ващенко.- Київ: ДУТ, 2017. – 112 с.

89. Causey, Robert L. (2006). Logic, sets, and recursion (2nd ed.). Sudbury, Mass.: Jones and Bartlett Publishers. ISBN 0-7637-3784-4.

90. Arndt, C. (2004), Information Measures: Information and its Description in Science and Engineering, Springer, ISBN 978-3-540-40855-0 (англ.)

91. Cover, T. M., Thomas, J. A. (2006), Elements of information theory, 2nd Edition. Wiley-Interscience. ISBN 0-471-24195-4.

92. Kryazhych, O., Itskovych, V., Iushchenko, K., Kuprin, O. (2023). Features in solving individual tasks to develop service-oriented networks using dynamic programming. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (4 (121)), 34–40. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023>. (Scopus, Q3)

93. Kircher, Michael; Prashant Jain (2002). "Pooling Pattern" (PDF). EuroPLoP. Germany. <http://www.kircher-schwanninger.de/michael/publications/Pooling.pdf>

94. Michael Sipser (2013). Introduction to the Theory of Computation 3rd. Cengage Learning. ISBN 978-1-133-18779-0.

95. Martin Davis (2004). *The undecidable: Basic papers on undecidable propositions, unsolvable problems and computable functions* (Dover Ed). Dover Publications. ISBN 978-0486432281.

96. Alan Turing (1937). "On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem". *Proceedings of the London Mathematical Society*. IEEE. 2 (42): 230–265. doi:10.1112/plms/s2-42.1.230

97. Hodges, Andrew (2012). *Alan Turing: The Enigma* (The Centenary ed.). Princeton University Press. ISBN 978-0-691-15564-7.

98. Bronson, Nathan & Casper, Jared & Chafi, Hassan & Olukotun, Kunle. (2010). A Practical Concurrent Binary Search Tree. *ACM SIGPLAN Notices*. 45. 257-268. 10.1145/1693453.1693488.

99. Forman, Ernest H.; Saul I. Gass (July 2001). "The analytical hierarchy process—an exposition". *Operations Research*. 49 (4): 469–487. doi:10.1287/opre.49.4.469.11231

100. Munier, Nolberto (2021). *Uses and Limitations of the AHP Method A Non-Mathematical and Rational Analysis*. Management for Professionals. Switzerland: Springer Nature. doi:10.1007/978-3-030-60392-2

101. Saaty, Thomas L. *Mathematical Principles of Decision Making (Principia Mathematica Decernendi)* (2009). Pittsburgh: RWS. ISBN 1-888603-10-0.

102. Dashboard 24. Focus on key business metrics, set goals and achieve them. <https://dashboard-24.com/en>

103. Кряжич О.О., Ющенко К.С., Іцкович В.Є., Купрін О.М. Особливості алгоритмізації процесів мінімізації похибок апроксимації при вирішенні прикладних задач. *Математичні машини і системи*. – 2023 - №1 – сс. 118 – 129. (кат. Б).

104. Kryazhych O., Itskovych V., Iushchenko K., Hrytsyshyna V., Bruvier D., Nykytyuk V., Bodnarchuk I. (2023) The use of abstract moore automaton to control the sensors of a service-oriented alarm and emergency notification network. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 109, no 1, pp. 111–120. (кат. Б).

105. Thompson, Simon (2011). Haskell: The Craft of Functional Programming (3rd ed.). Addison-Wesley. ISBN 978-0201882957.

106. Kryazhych, O., Kovalenko, O., Itskovych, V., & Iushchenko, K. (2023). The modeling of changes in the specific activity of tritium in plants. EUREKA: Physics and Engineering, (3), 3-14. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2023.002877> (Scopus, Q2)

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Документи, що підтверджують впровадження результатів дисертації

ВИКОНАВЧИЙ ОРГАН КИЇВСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ
(КИЇВСЬКА МІСЬКА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ)

ДЕПАРТАМЕНТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КОМУНАЛЬНЕ ПІДПРИЄМСТВО
«ГОЛОВНИЙ ІНФОРМАЦІЙНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ ЦЕНТР»
(КП ГІОЦ)

вул. Космічна, 12-А, м. Київ, 02192, тел.: (044) 366 81 05, (044) 366 81 55,
e-mail: secretari.gioc@kyivcity.gov.ua, Код ЄДРПОУ 04013755

«Затверджую»

Директор Комунального підприємства

«Головний інформаційно-
обчислювальний центр»



Шевченко Д.Д.

АКТ

впровадження результатів досліджень і розробок, отриманих при виконанні дисертаційної роботи **Іцкович Вікторії Євгенівни** на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Цей АКТ складено про те, що матеріали роботи «Інформаційні технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста», які розроблені Іцкович Вікторією Євгенівною, аспіранткою Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (м. Київ), в рамках комплексу науково-дослідних робіт, впровадженні в роботу Комунального підприємства «Головний інформаційно-обчислювальний центр» для вдосконалення сервісів обробки даних, зокрема:

- моделі та методи до створення сервісу формування пулу інформації із забезпеченням аналітичної функції та візуалізації

- елементи моделі циклу управління опитування давачів системи моніторингу якості атмосферного повітря при роботі в штатному та кризовому режимі роботи, що дозволило алгоритмізувати окремі
- процеси передачі інформації, її збереження.

Заступник директора
з організації виконання міської
цільової програми

Начальник департаменту
управління проектами

Заступник начальника департаменту
програмних-апаратних комплексів



Цвігун Д.В.

Ревенок О.О.

Сальніков П.Є.

ВИКОНАВЧИЙ ОРГАН КИЇВСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ
(КИЇВСЬКА МІСЬКА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ)
ДЕПАРТАМЕНТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
**СПЕЦІАЛІЗОВАНЕ КОМУНАЛЬНЕ ПІДПРИЄМСТВО
“КИЇВТЕЛЕСЕРВІС”**
(СКП «КИЇВТЕЛЕСЕРВІС»)

вул. Хрещатик, буд. 10, м. Київ, 01001 (юридична адреса), а/с 38, м. Київ-04071 (для листування),
тел.: (044) 366 85 00, e-mail: kts@kyivcity.gov.ua, код ЄДРПОУ 31815760

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

В.о. директора Спеціалізованого
комунального підприємства «Київтелесервіс»



Павло ЧЕРНІКОВ

20____ р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Іцкович Вікторії Євгенівни

за напрямом «Інформаційні технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста», представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Цим актом підтверджується, що результати досліджень, які проводилися в межах роботи «Інформаційні технології дослідження параметрів стану довкілля промислового міста», впроваджені в роботу Спеціалізованого комунального підприємства «Київтелесервіс», що є провайдером мережі LoRaWAN та всіх складових інтернету речей в м. Київ.

Отримані в дисертаційній роботі нові науково-технічні результати були використані:

- 1) для вдосконалення механізму систем опитування давачів інформації – застосовано інформаційну модель поєднання різних рівнів управління давачами та пристроями мережі та систему обмежень при моніторингу роботи окремих об'єктів, включаючи методику обробки даних;
- 2) для підвищення ефективності роботи Спеціалізованого комунального підприємства «Київтелесервіс» в цілому – використано підхід, який дозволяє обґрунтувати необхідну кількість давачів сервіс-орієнтованої мережі за критерієм доцільної необхідності та можливості обслуговування і заміни без утримування надмірної кількості запасних частин на складах ремонтно-сервісної служби;

- 3) для навчальних цілей з метою підвищення кваліфікації персоналу підприємства були використані окремі елементи інформаційної моделі «розумного міста» з алгоритмами реалізації окремих результатів.

Перший заступник директора



Олександр БИСТРУШКІН

Начальник відділу кадрів



Ірина ЛЬСНКО

ДОДАТОК Б

**Технічні вимоги на розробку ескізного проекту
«Побудова опорної безпроводової мережі для створення систем раннього
оповіщення від техногенних загроз, екологічного моніторингу»**

**Інформація про технічні, якісні та кількісні характеристики щодо
закупівлі послуги з розробки ескізного проекту на створення
автоматизованої системи «Побудова опорної безпроводової мережі для
створення системи раннього оповіщення від техногенних загроз,
екологічного моніторингу» на виконання пункту 12.2. «Побудова опорної
безпроводової мережі для створення системи раннього оповіщення від
техногенних загроз, екологічного моніторингу» напрямів та заходів
Комплексної міської цільової програми «Електронна столиця» на 2019-
2022 роки, затвердженої рішенням Київської міської ради від 18.12.2018
№ 461/6512**

На підтвердження відповідності пропозиції технічним, якісним та кількісним характеристикам предмета закупівлі в складі своєї пропозиції Учасник повинен надати інформацію про можливість надання послуг замовнику з урахуванням вимог наведених нижче.

1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1. Предмет закупівлі

Розробка ескізного проекту на створення автоматизованої системи (далі – АС).

1.2. Призначення

Своєчасне отримання об'єктивної інформації від датчиків, лічильників, сенсорів та інших пристроїв сумісних з технологією LoRaWan, в усіх районах міста Києва.

1.3. Мета створення

Створення автоматизованої системи побудови опорної безпроводової мережі для створення системи раннього оповіщення від техногенних загроз, екологічного моніторингу.

1.4. Вимоги чинного законодавства та перелік основних керівних документів

1.4.1. Закон України “Про інформацію” від 02.10.92 № 2658-ХІІ, зі змінами.

1.4.2. Закон України від 13.01.2011 № 2939-VI «Про доступ до публічної інформації» зі змінами.

1.4.3. Закон України “Про захист інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах”, від 05.07.94 № 80/94-ВР, зі змінами.

1.4.4. ГОСТ 34.201-89 Інформаційна технологія. Комплекс стандартів на автоматизовані системи. Види, комплектність і позначення документів при створенні автоматизованих систем.

1.4.5. ГОСТ 34.601-90 Інформаційна технологія. Комплекс стандартів на автоматизовані системи. Автоматизовані системи. Стадії створення.

1.4.6. ГОСТ 34.602-89 Інформаційна технологія. Комплекс стандартів на автоматизовані системи. Технічне завдання на створення автоматизованої системи.

1.4.7. РД 50-34.698-90 Методичні вказівки. Інформаційна технологія. Комплекс стандартів і керівних документів на автоматизовані системи. Автоматизовані системи. Вимоги до змісту документів.

2. ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Перелік послуг

2.1.1. Проведення обстеження об'єкту автоматизації.

2.1.1.1. Розробка номінального планування радіомережі.

2.1.1.2. Визначення кількості та місця розташування базових станцій (далі - БС).

2.1.2. Розробка технічного завдання.

2.1.3. Розробка ескізного проекту.

2.2. Вимоги до складу та змісту послуг

2.2.1. Вимоги до складу та змісту обстеження об'єкту автоматизації.

2.2.1.1. Розробка номінального планування радіомережі.

2.2.1.2. Визначення кількості та місця розташування БС.

2.2.2. Вимоги до складу та змісту Технічного завдання

2.2.2.1. Загальні відомості.

2.2.2.1.1. Повне найменування системи та її умовне позначення.

2.2.2.1.2. Шифр проекту або шифр (номер) договору.

2.2.2.1.3. Найменування розробника та замовника АС та їх реквізити.

2.2.2.1.4. Перелік документів на підставі яких створюється АС.

2.2.2.1.5. Строки виконання робіт зі створення АС.

- 2.2.2.1.6. Джерело фінансування.
- 2.2.2.1.7. Порядок оформлення і пред'явлення замовнику результатів робіт зі створення АС.
- 2.2.2.2. Призначення та мета створення системи.
 - 2.2.2.2.1. Призначення системи.
 - 2.2.2.2.2. Мета створення системи.
- 2.2.2.3. Характеристики АС.
- 2.2.2.4. Умови експлуатації АС.
 - 2.2.2.4.1. Характеристики навколишнього середовища.
 - 2.2.2.4.2. Вимоги до розміщення обладнання АС.
- 2.2.2.5. Вимоги до АС.
 - 2.2.2.5.1. Загальні вимоги.
 - 2.2.2.5.2. Функціональні вимоги.
 - 2.2.2.5.3. Вимоги до видів забезпечення.
- 2.2.2.6. Склад і зміст робіт зі створення АС.
 - 2.2.2.6.1. Перелік документів що будуть надані по закінченню робіт.
 - 2.2.2.6.2. Вимоги до надійності системи.
 - 2.2.2.6.3. Стадія проектування.
 - 2.2.2.6.4. Етапи робіт
- 2.2.2.7. Порядок контролю та приймання системи.
 - 2.2.2.7.1. Види, склад та методи випробувань системи та її складових частин.
 - 2.2.2.7.2. Загальні вимоги з приймання робіт, порядок погодження та затвердження приймальної документації.
 - 2.2.2.7.3. Статус приймальної комісії.
- 2.2.3. Вимоги до складу та змісту ескізного проекту.

Склад технічного проекту повинен відповідати ГОСТ 34.201-89. Зміст документів відповідно до вимог РД 50-34.698-90
- 2.2.3.1. Книга 1. Загальносистемні рішення.
 - 2.2.3.1.1. Відомість ескізного проекту.
 - 2.2.3.1.2. Пояснювальна записка до ескізного проекту.
- 2.2.3.2. Книга 2. Рішення з технічного забезпечення.
 - 2.2.3.2.1. Опис комплексу технічних засобів.
 - 2.2.3.2.2. Номінальне планування радіомережі.
 - 2.2.3.2.3. Відомість обладнання і матеріалів.
 - 2.2.3.2.4. Схема функціональної структури.
 - 2.2.3.2.5. Загальна структурна схема АС.
 - 2.2.3.2.6. Структурна схема комплексу технічних засобів електроживлення.
 - 2.2.3.2.7. Структурна схема підключення комплексу технічних засобів до заземлення.
 - 2.2.3.2.8. Структурна схема комплексу технічних засобів блискавкозахисту.
 - 2.2.3.2.9. Комплект матеріалів для встановлення БС.
 - 2.2.3.2.10. План розміщення обладнання в шафі.

2.3. Загальні технічні вимоги. Вихідні дані які повинні бути враховані під час проектування

2.3.1. Вимоги до архітектури та складу АС.

2.3.1.1. Архітектура АС LoRaWAN.

Мережа АС LoRaWAN повинна складатися з наступних елементів:

- керуючий модуль у складі серверу керування та мережевого серверу;
- комплект БС для прийому даних від кінцевих пристроїв.

Керуючий модуль - комплекс програмного забезпечення для керування БС з можливістю встановлення на гіпервізорі.

Базова станція забезпечує зону покриття мережі та прозору двосторонню передачу даних між кінцевими пристроями і сервером.

2.3.1.2. Вимоги до АС.

2.3.1.2.1. Функціональні вимоги до АС.

При проектуванні має бути враховано, що відповідне технічне рішення повинно забезпечувати стабільний та безперервний зв'язок з кінцевими пристроями за технологією LoRaWAN. Забезпечувати централізоване керування системою та моніторинг усіх її компонентів на мапі. Можливість інтеграції з існуючими та майбутніми системами аналізу та керування. Мати можливість розширення покриття шляхом додаткового встановлення базових станцій.

У АС повинен здійснюватися захист на програмному рівні від несанкціонованих спроб змінити налаштування режиму роботи підсистем.

2.3.1.2.2. Технічні вимоги до АС. Підтримка специфікацій «LoRa».

Підтримка функцій забезпечення безпеки (IPsec з відкритим вихідним кодом). 2.3.1.3. Вимоги до можливості розвитку, модернізації та інтегрування АС. Передбачити можливість підключення нового обладнання до АС на рівні мереж передачі даних та з використанням існуючих в АС форматів обміну даних. Для подальшого розвитку та модернізації АС передбачити можливість встановлення додаткового обладнання.

2.3.1.4. При проектуванні повинні бути визначені вимоги до технічного захисту інформації, зокрема підтримка АС та її компонентами функції забезпечення безпеки:

- аутентифікація на рівні пристрою та оповіщення при спробах несанкціонованого доступу;

- підтримка IPsec (з відкритим вихідним кодом);
- інфраструктура публічних ключів (PKI);
- простий протокол реєстрації сертифікатів;
- трансляція мережевих адрес (NAT);
- безпечне завантаження керуючої мікропрограми;
- перевірка автентичності мікропрограми перед оновленням;

Віддалене підключення до мережевого серверу та серверу додатків повинно бути організовано по захищених лініях зв'язку, які будуються на використанні технології IPsec VPN та технічних засобів. Доступ до глобальної мережі Інтернет відсутній.

2.3.1.5. При проектуванні повинні бути визначені вимоги до засобів зв'язку для інформаційного обміну між компонентами системи зокрема:

Зв'язок між компонентами АС повинен забезпечуватися за допомогою кабельних ліній зв'язку або каналів зв'язку, використовуючи пряме підключення за допомогою виділеної лінії зв'язку або захищеного підключення через публічну мережу Інтернет, з використанням протоколу IP.

Швидкість обміну інформацією в мережах повинна бути достатньою для задоволення потреб по швидкості реакції АС на події, що виникають.

Верхній рівень інформаційного обміну організовується в мережах передачі даних, побудованих по технології «Ethernet» з використанням стеку протоколів TCP/IP .

2.3.1.6. Вимоги до санітарної та епідеміологічної безпеки.

Відповідно до чинного законодавства та нормативно-правових актів України з питань санітарного та епідеміологічного благополуччя населення. У разі необхідності проект або його окремі частини (об'єкти) у встановленому порядку погодити з органами, що здійснюють регулювання у сфері санітарно- епідеміологічної безпеки.

2.3.2. При проектуванні має бути враховано, наступні загальні вимоги до обладнання АС.

2.3.2.1. Керуючий модуль.

Керуючий модуль (комплекс програмного забезпечення) повинен керувати базовими станціями з можливістю встановлення на гіпервізорі.

2.3.2.2. Шлюз мережі LoRaWAN.

Шлюз мережі LoRaWAN повинен відповідати наступним характеристикам:

- підтримка специфікацій «LoRa»;

- захист від впливу навколишнього середовища – IP67;
- можливість монтажу на стіну та стовп;
- пасивне охолодження;
- мережевий інтерфейс Ethernet з підтримкою швидкості не менше ніж 100Мб/с та живлення по мережевому кабелю (PoE); 2.3.2.3. Кабельна інфраструктура.

Кабельна інфраструктура включає в себе:

- коаксіальні з'єднувальні кабелі між шлюзом LoRaWAN та антенами;
- Ethernet кабелі типу вита пара;
- кабелі електроживлення, блискавкозахисту та заземлення.

2.3.2.4. Антени LoRaWAN. Характеристики антени LoRaWAN:

- тип - всеспрямований;
- захист від впливу навколишнього середовища – IP67;
- кріплення антени до трубостійки.

2.3.3. Вимоги до програмного забезпечення (ПЗ).

Вимоги до програмного забезпечення будуть надані в технічному завданні на проектування.

2.3.4. Вимоги до розміщення обладнання на об'єктах.

Проектом передбачити:

- типові рішення для встановлення обладнання на об'єктах;
- типові схеми прокладання фідерів на мачті, даху та в будівлі;
- типові креслення металоконструкцій (у разі необхідності).

2.3.5. Умови експлуатації

Устаткування АС повинне експлуатуватися в цілодобовому режимі.

Навколишнє середовище не повинно містити струмопровідного пилу, вибухонебезпечних і інших сумішей, агресивних домішок шкідливо діючих на компоненти устаткування.

2.3.6. Характеристики навколишнього середовища для обладнання та устаткування, що встановлюється на відкритих майданчиках.

- температура навколишнього середовища – від мінус 25°C до плюс 45°C;
- відносна вологість – до 98% при температурі плюс 25°C;
- атмосферний тиск – 84,0 ... 106,7 кПа (630...800 мм рт. ст.);
- випадання атмосферних опадів – до 3 мм/хв;
- максимальна швидкість вітру – 15 м/с, з поривами до 30 м/с;

- максимальне снігове покриття – 0,3 м;
- атмосферні конденсовані опади – роса, іній, зледеніння.

2.3.7. Вимоги до розміщення обладнання АС.

Для розміщення обладнання використовувати передбачувану проектом комутаційну шафу. Захист комутаційної шафи від зовнішнього впливу – не нижче IP55. Противандальне виконання корпусу. Характеристики та місця розміщення комутаційних шаф визначаються в процесі проектування.

2.3.7.1. Вимоги до електроживлення.

Електроживлення однофазне, ~220В, 50Гц. Категорія щодо надійності електропостачання – III. Тип та спосіб підключення обладнання до електроживлення визначається на етапі проектування.

2.3.7.2. Вимоги до блискавкозахисту.

В разі потреби БС повинна бути захищена блискавкозахистом у відповідності до вимог правил улаштування електроустановок (ПУЕ).

2.3.7.3. Вимоги до захисного заземлення.

Обладнання повинно бути заземлене у відповідності до вимог правил улаштування електроустановок (ПУЕ) до заземлення, захисних заходів електробезпеки.

2.3.7.4. Вимоги до кабельних мереж.

Кабельні мережі повинні складатися з самостійних кабельних ліній, призначених для передачі інформації та електроживлення пристроїв системи. Прокладання кабелів повинно відповідати нормам та стандартам. Доцільно використовувати існуючі кабельні канали (короба).

2.3.7.5. Вимоги до безпеки.

Розміщення комутаційних шаф, боксів та іншого обладнання АС не повинно:

- перекривати технологічні проходи;
- перешкоджати дотриманню правил експлуатації електроустановок та техніки безпеки.

2.4. Вимоги до рішень що проектуються

Рішення що проектуються повинні забезпечувати наступне:

2.4.1. При виборі місця розміщення БС пріоритетним є розміщення на об'єктах житлового та нежитлового фонду комунальної власності.

2.4.2. Площа покриття АС території м. Києва не менше 70%.

2.4.3. АС повинна дозволяти отримувати інформацію від датчиків, лічильників, сенсорів та інших пристроїв сумісних з технологією LoRa, з подальшою передачею до серверу додатків (Application Server).

2.4.4. Передбачити роботу АС в частотному діапазоні 868,0-868,6 МГц.

2.5. Вимоги до патентної чистоти

За всіма видами технічних і програмних засобів, що застосовуються в системі, повинні дотримуватися умови ліцензійних угод і забезпечуватися патентна чистота, що полягає в тому, що АС може бути вільно використана в Україні без небезпеки порушення діючих патентів виключного права, що належить третім особам (права промислової власності).

2.6. Вимоги по техніці безпеки

Повинні передбачати заходи та процедури по експлуатації, які узгоджуються з вимогами нормативів і стандартів України.

2.7. Порядок приймання послуг

2.7.1. Звіт з Обстеження об'єкту- погоджується з Замовником. Мапа покриття АС м. Києва з розрахунковими рівнями сигналу повинна бути надана Замовнику у форматі PDF

2.7.2. Технічне завдання - затверджується Замовником.

2.7.3. Ескізний проект - погоджується та затверджується Замовником.

2.8. Вимоги до звітної документації

2.8.1. Проектна документація повинна виконуватися відповідно до нормативів і стандартів, які прийняті в Україні.

2.8.2. Документи передаються Замовнику на паперовому та електронному носіях.

2.8.3. Мова документів - українська.

ДОДАТОК В**Технічні вимоги. Інформація про необхідні технічні, якісні, кількісні та інші характеристики предмета закупівлі**

Обладнання, комплектуючі та супутні послуги з побудови системи моніторингу навколишнього середовища для вимірювання індикативних параметрів атмосферного повітря на базі міської опорної мережі LoRaWAN у місті Києві; 32580000-2 -Інформаційне обладнання – за ДК 021:2015 Єдиного закупівельного словника, на виконання заходу 12.1 “Створення, розвиток та супроводження системи оповіщення у разі виникнення надзвичайних ситуацій”, Комплексної міської цільової програми “Електронна столиця” міста Києва на 2019-2022 роки, затвердженої рішенням Київської міської ради від 18 грудня 2018 року № 461/6512 (далі – Програма)

На підтвердження відповідності пропозиції технічним, якісним та кількісним характеристикам предмета закупівлі у складі своєї тендерної пропозиції (Учасник) повинен надати інформацію про можливість постачання Товару та надання послуг Замовнику з урахуванням вимог, наведених нижче.

Учасник має право запропонувати еквівалент конкретної торговельної марки чи фірми, патенту, конструкції або типу предмета закупівлі, джерела його походження або виробника, які можливо вживаються в документації конкурсних торгів, за умови, що такий еквівалент відповідатиме вимогам, встановленим у документації.

Вступ.

Система моніторингу навколишнього середовища для вимірювання індикативних параметрів атмосферного повітря на базі міської опорної мережі LoRaWAN у місті Києві, (далі - Система) має являти собою програмно-апаратний комплекс з датчиків моніторингу навколишнього середовища та атмосферного повітря, які будуть встановлені в спеціально передбачених та попередньо узгоджених локаціях (попередній перелік місць розміщення наведено у таблицях нижче), під'єднанні до мережі електроживлення та міської опорної мережі LoRaWAN.

Отримані дані будуть передаватися з датчиків-сенсорів через міську опорну мережу LoRaWAN, агрегуватися в програмному забезпеченні Системи для відображення історичних та онлайн даних, а також для реалізації можливості предикативної аналітики, попередження відповідних міських служб.

Загальні дані

Інтелектуальні датчики навколишнього середовища зі складу єдиного програмно-апаратного комплексу (далі- ПАК) повинні збирати дані про забруднення, фізичний стан навколишнього середовища (рівень світла та шуму, температура, вологість і атмосферний тиск), рівень газів в місті (забруднення) і будь-яких інших подіях з можливістю налаштування інтервалу передавання даних в інтервалі 1 хвилина -24 години.

Необхідно передбачити можливість інтеграції ПАК з іншими профільними сервісами та програмно-апаратними комплексами за допомогою відкритого API. Це необхідно для своєчасного інформування громадян, виконавчих служб та адміністрації міста як про нагальний екологічний стан так і про події, що будуть спрогнозовані відповідним ПАК.

Предметом данного тендеру є отримання послуг з поставки, монтажу, налагодження, та запуску у дослідну експлуатацію ПАК - у кількості 1шт, та включає в себе:

- A. Постачання комплектів датчиків-сенсорів моніторингу навколишнього середовища та атмосферного повітря- 46 комплектів.
- B. Постачання програмного забезпечення системи моніторингу навколишнього середовища та атмосферного повітря - 1 комплект.
- C. Надання послуг з фізичного встановлення 46 комплектів датчиків-сенсорів в передбачених місцях
- D. Надання послуг з підключення 46 комплектів датчиків-сенсорів до електромережі
- E. Надання послуг з підключення 46 комплектів датчиків-сенсорів до міської мережі LoRaWAN.
- F. Надання послуг з встановлення програмного забезпечення системи моніторингу навколишнього середовища та атмосферного повітря на серверних потужностях Замовника.
- G. Надання послуги з інтеграції програмного забезпечення системи моніторингу з 46 комплектами датчиків-сенсорів та вже існуючою міською мережею LoRaWAN.
- H. Гарантійні зобов'язання на 46 комплектів датчиків-сенсорів.

Функціональні особливості датчиків-сенсорів зі складу ПАК.

1. Датчики навколишнього середовища повинні мати можливість здійснювати індикативні вимірювання стану навколишнього середовища та атмосферного повітря за максимальної кількості параметрів та визначеної якості відповідно до Постанови КМУ №827 від 14.08.2019 «Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» та Директиви 2008/50/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 21.05.2008 р. про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи.
2. Датчики-сенсори навколишнього середовища повинні бути сумісними та підключатися до міської мережі Інтернету речей LoRaWAN, додатково повинні мати можливість підключення через бездротову мережу 4G / LTE та Wi-Fi, як резервний варіант підключення.
3. Датчики повинні мати вбудоване ПЗ, яке повинно дозволяти користувачеві відкалібрувати датчики на місці без будь-якої залежності від віддаленого керування. Вбудоване ПЗ також має забезпечувати можливість завантаження даних локально з датчику-сенсору.
4. Датчики повинні мати можливість керуватися віддалено і локально. Керування включає в себе оновлення датчиків з параметрами калібрування та оновлення вбудованого програмного забезпечення датчика.
5. Адміністратор системи повинен мати можливість налаштовувати параметри датчику-сенсору щодо підключення до мережі за допомогою вбудованого програмного забезпечення датчику, локально під'єднуючись до нього.
6. Датчик повинен забезпечувати захист даних, що передаються до IoT-платформи, від спотворення. Датчик також повинен забезпечити надсилання попереджень у випадках вандалізму, порушень цілісності його корпусу, тощо.
7. Датчики вимірювання газів і твердих часток не повинні піддаватися прямому атмосферному впливу. Повинна бути встановлена система безперервного відбору проб для впуску і випуску навколишнього повітря.

8. Увесь запропонований товар повинен бути новим (не бути таким, що вживався чи експлуатувався), мати оригінальну упаковку.
9. Термін гарантії виробника – 1 рік.
10. Для швидкої заміни датчиків-сенсорів при їх поломці слід передбачити поставку наступних сумісних компонентів запасних частин (далі - ЗІП- комплект), склад ЗІП комплекту :
 - a. Запасний датчик-сенсор 4 шт,
 - b. Запасний блок живлення 4 шт,
 - c. Материнська плата датчика-сенсора 2 шт.
11. Через короткий термін служби сенсорів TVOC(зазвичай один рік, якщо інше не уточнено і не підтверджено виробником) передбачити, в рамках забезпечення гарантійного обслуговування, накласти забор'язання на постачальника : надати комплекти заміни сенсору TVOC для встановлених датчиків, через 1 рік (або через регламентований виробником строк, якщо він менше одного року) після поставки.
12. В період уточнень та розгляду пропозиції учасник торгів, повинен бути готовий на вимогу замовника надати зразок запропонованого датчика навколишнього середовища, на тій же платформі але можливо з іншим набіром параметрів вимірювання, для перевірки його функціональних особливостей та тестової інтеграції його з міською мережею LoRaWAN .

Технічні характеристики комплектів датчиків-сенсорів зі складу ПАК:

№ з/п	Параметр	Специфікація
1	Кількість комплектів датчиків-сенсорів	46 штук
2	Параметри та діапазони якості повітря (повинен виміряти необхідні діапазони)	PM ₁ : від 0 до 5000 мікрограмів / м ³ PM _{2.5} : від 0 до 5000 мікрограмів / м ³ PM ₁₀ : від 0 до 5000 мікрограмів / м ³ TSP: від 0 до 30000 мікрограмів / м ³ NO ₂ : 0 -20 ppb (мінімальне виявлення 20 ppb) SO ₂ : 0 - 20 ppb (мінімальне виявлення 20 ppb) O ₃ : 0 - 20 ppb (мінімальне виявлення 20 ppb) CO : 0 -1000 ppb (мінімальне виявлення on 100 ppb) CO ₂ : 0 - 5000 ppb(мінімальне виявлення 20000 ppb) H ₂ s : 0 - 100 ppb (мінімальне виявлення 10 ppb) CH ₂ O : 0 - 10 ppb (мінімальне виявлення 50 ppb) TVOC : 0 - 20 ppb (мінімальне виявлення 5ppb) Рівень шуму: до 140 дБ (А)

		Індекс якості повітря: $HAQI$, $US\ AQI$, $CAQI$, $EAQI$.
3	Параметри погодних вимірів	Інтенсивність випромінювання : до 1,00,000 Lux UV випромінювання: 0.1- 100,000 $\mu W/cm^2$ Діапазон температур в режимі реального часу: зовнішня - $40^{\circ}C \sim 85^{\circ}C$ Рівень вологості повітря в режимі реального часу: 0-100% RH Атмосферний тиск у режимі реального часу (в hPa, Bars або millibars)
4	Підключення до мережі передачі даних	Основний канал: за технологією LoRaWAN. Резервне підключення за технологіями: 3G, 4G / LTE та WiFi.
5	Споживання енергії	Датчик повинен споживати потужність не більше 10 Вт. Повинен мати можливість підключення системи сонячної генерації енергії з резервним акумулятором не менше ніж 12 годин.
6	Блок живлення та мережа живлення.	Система повинна працювати на джерелі живлення, що відповідає стандартам IEC 61010, IEC 61326, EN61000 з сертифікацією UL 62368-1 & CAN/CSA C22.2 для максимальної безпеки та збереження точності вимірювань. Сам блок живлення Датчику повинен мати можливість живлення від мережі змінного струму 110-230В, 50-60Гц. Блок живлення може бути зовнішнім.
7	Частота даних	Кожен датчик навколишнього середовища повинен мати можливість надсилати дані з інтервалом 120-600 секунд. Частоту передачі даних має бути можливість змінювати на платформі управління датчиком (ПЗ).
8	Принцип вимірювання	Датчики повинні вимірювати якість повітря і параметри шуму знизу (з землі), щоб фіксувати забруднення і шум від транспортних засобів. Датчики повинні вимірювати параметри світла зверху, щоб вловлювати максимальну кількість сонячного світла. Датчики повинні вловлювати тверді частинки знизу, щоб

		уникнути впливу сили тяжіння на вимірювання. Уловлені частинки пилу повинні бути вилучені з системного пост-вимірювання.
9	Вимірювання швидкості потоку	Система повинна вимірювати повітря на основі всмоктування для твердих частинок, а також газів. Моніторинг твердих частинок повинен мати швидкість потоку не менше 1 літр/хв. У той час як для газового моніторингу необхідна швидкість потоку повинна становити не менше 325 мл/проба.
10	Метод періодичного калібрування	Система повинна працювати на основі активних методів відбору проб на основі всмоктування-випуску (впуск-випуск), де повинно бути можливе періодичне калібрування шляхом прикріплення SI-відстежуваних газових балонів на вході в систему. Такі періодичні звіти про калібрування повинні створюватися в програмному забезпеченні даних про навколишнє середовище.
11	Створення резервних копій системи	Система повинна мати внутрішню пам'ять для резервного копіювання даних локально на датчику мінімум на 3 місяці у випадку відмови мережі або циклів технічного обслуговування системи. Має бути функція автоматичної синхронізації для відновлення даних, коли мережа стане доступною.
12	Конфігурація датчика та геопозиціонування	Інтелектуальні датчики навколишнього середовища повинні мати можливість налаштовуватися і оновлюватися за допомогою єдиного програмного забезпечення. Система повинна мати функцію глобального позиціонування для автоматичної ідентифікації свого місця розташування. Маркування геолокації кожного датчика навколишнього середовища повинна виконуватися за допомогою централізованого програмного забезпечення.
13	Корпус датчика-сенсора	Єдиний корпус датчика-сенсора навколишнього середовища повинен вміщувати всі свої апаратні складові та компоненти, залишаючи зовні тільки необхідні для вимірювання сенсорні компоненти, не перевищуючи зовнішні розміри 400 мм X 400 мм X 300 мм. Корпус повинен бути виготовлений із захищеного від несанкціонованого доступу матеріалу зі ступенем захисту не нижче ніж IP66. Корпус повинен мати можливість пломбування.

14	Перевірка даних	Система повинна мати підтвердження (ISO/IEC 17025 Акредитована екологічна лабораторія) для кожного датчику із звітом про випробування для кожного датчику, що зроблений під час виробництва.
15	Сертифікація якості	Виробник обладнання повинен відповідати стандартам якості ISO-9001-2015 та екологічним стандартам ISO-14001-2015.

Вимоги до місць встановлення датчиків-сенсорів зі складу ПАК:

1. Встановлення на висоті 4-5 метрів.
2. Мінімум 1 метр вільного простору внизу та зверху датчику-сенсору.
3. Монтажу на стіні або стовпі.
4. Мінімум 270° вільного простору перед датчиком-сенсором при монтажі на стовпі, та мінімум 180° при монтажі на стіні.

ПЗ зі складу ПАК Системи, функціональні характеристики:

1. ПЗ (далі- ПЗ) повинно мати можливість перегляду миттєвих і історичних даних у вигляді інтерактивних діаграм і таблиць даних. ПЗ також має забезпечувати функціональність для перевірки даних всіх пристроїв за заданий час і дату.
2. ПЗ повинно дозволяти завантажувати та вивантажувати дані в форматі CSV, XML, PDF.
3. ПЗ повинно дозволяти користувачеві виконувати різні типи аналітики даних за минулі періоди, наприклад, перехресне порівняння розташування, перехресне параметричне порівняння, порівняння в часовому інтервалі і т.д.
4. ПЗ повинно дозволяти користувачеві встановлювати граничні значення кожного параметра в якості максимальної межі для генерації попереджень і повідомлень. У разі перевищення порогового значення ПЗ має генерувати повідомлення у програмному забезпеченні, SMS-оповіщення та оповіщення електронною поштою.
5. Різні зацікавлені сторони з визначеними ролями / доступом повинні мати можливість доступу до програмного забезпечення відповідно зі своїми ролями.
6. ПЗ повинно мати можливість створювати карти рози вітрів і рози забруднення в реальному часі.
7. ПЗ повинно дозволяти API-інтерфейси для сторонньої інтеграції, тобто для мобільних додатків, веб-сервісів, вуличного світлодіодного дисплея, веб-сайтів і т.д.
8. ПЗ повинно надавати код iFrame для відображення даних в різних формах порівняння на телевізорі, екранах дисплеїв і т. Д.
9. ПЗ повинно підтримувати можливість динамічного індексу з відповідним кольором і номенклатурою для кращої візуалізації даних.
10. Користувач повинен мати можливість створити групу датчиків відповідно до вимог. Користувач повинен мати можливість призначати різні індекси даних різних груп датчиків, наприклад, промислові, міські, автомобільні і т.д.

11. ПЗ повинно мати можливість створювати готові до друку звіти відповідно до прийнятого на національному або міському рівні формату.
12. Звіти повинні мати можливість автоматично створюватися з можливістю налаштування періодичності і відправлятися на зазначені електронні адреси з налаштованою періодичністю: щодня, щотижня і щомісяця. Користувачі повинні мати можливість вручну завантажувати звіти з програмного забезпечення.
13. ПЗ повинно мати можливість створювати звіти про працездатність всіх пристроїв в щоденному, щотижневому та щомісячному форматі.
14. ПЗ повинно мати можливість розміщувати дані сторонніх сенсорів-датчиків / станцій в тому ж обліковому записі. Таким чином надаючи можливість мати більш повну просторову картину якості повітря завдяки підключенню сенсорів-датчиків інших типів, виробників чи власників.
15. ПЗ повинно вміти автоматизувати роботу сторонніх пристроїв з функціональністю на основі реле.
16. ПЗ повинно дозволяти користувачеві коригувати інформацію про пристрій, таку як ім'я, місце розташування, фото пристрою і т. Д.
17. ПЗ повинно мати API для передачі даних про скарги громадян разом з координатами задля порівняння у ПЗ та аналізу чи відповідають скарги реальній загрозі.
18. ПЗ повинно мати можливість створення безпечних посилань для доступу до даних певних датчиків або певних агрегованих даних в режимі «тільки читання», для можливості організації доступу до даних моніторингу без попередньої авторизації.
19. База даних ПЗ повинна мати змогу розширюватися для додавання нових параметрів та типів вимірювальних параметрів разом з відповідними одиницями виміру.
20. ПЗ повинно бути готовим продуктом, що виробляється і поставляється виробником, і таким, яке було використано раніше щонайменше в декількох проектах міського екологічного моніторингу.

Технічні характеристики ПЗ зі складу ПАК.

№ з/п	Параметр	Специфікація
1	Роль користувача	Повинна бути доступна як мінімум трирівнева ієрархія ролей користувачів з трьох рівнів ролей : адміністратор, оператор, користувач.
2	Захист даних	Шифрування / дешифрування даних має використовувати 256-бітові хеш-функції на основі аутентифікації веб-токена JSON.
3	Середовище хостингу	ПЗ має розміщуватися на локальній інфраструктурі, On-Premis, не у хмарі.

4	Операційна система	Preferably Linux (Kernel версія 4.18 або вище)
5	Вимоги до серверного програмного забезпечення	2 сервери з мінімальними вимогами Quad-core, 8GB оперативної пам'яті та 250GB SSD
6	Тип API	REST HTTP / HTTPS

Супутні послуги.

Всі роботи в ході надання супутніх послуг виконуються частинами, які визначає Замовник шляхом надання Виконавцю відповідних Заявок. Після виконання відповідних Заявок Виконавець складає відповідний акт та узгоджує його з Замовником. Зазначений акт є підставою для взаєморозрахунків.

Проведення вишукувальних робіт.

В ході проведення вишукувальних робіт Виконавець повинен обстежити визначені Замовником місця можливого встановлення датчиків-сенсорів, що зазначені у таблицях нижче, (надалі – локації) та виконати наступне:

1. Розробити та погодити з Замовником розміщення відповідно до можливого місця та методу підключення до електроживлення датчиків-сенсорів.
2. Передбачити кліматичний захист та антивандальне виконання усіх елементів ПАК, що розміщені безпосередньо на локації.
3. Перевірити наявність надійного радіопокриття міською опорною мережею LoRaWAN на локаціях з застосуванням мережевих тестерів з нанесенням на мапу таких параметрів, як SNR, RSSI.
4. Визначити доступність локацій для впровадження датчиків-сенсорів за одним з 4-х розроблених типових варіантів. Розподіл локацій по 4-м типам розміщення та підключення до електроживлення - узгоджується з Замовником.
5. Оцінити необхідність додаткових заходів по отриманню дозволів та умов щодо впровадження датчиків-сенсорів на локаціях з боку балансоутримувачів та відповідних служб.
6. Оцінити забезпечення можливостей підключення до існуючих електромереж та необхідних конструктивних засобів .
7. Визначити кількості необхідного обладнання та матеріалів для розміщення датчиків-сенсорів.

За результатами вишукувальних робіт Виконавець надає Замовнику інформацію , звіт у електронному вигляді, по кожній локації, на якій ним проведено обстеження, з коментарями щодо ефективності та можливостей їх використання, та можливо з пропозиціями по зміні локацій (при необхідності) для впровадження ПАК.

На підставі отриманого звіта Замовник визначає та узгоджує з Виконавцем перелік локацій, на яких Виконавець за завданнями в рамках цього тендеру надає послуги з впровадження ПАК.

Підготовка проектно-технічної документації по встановленню датчиків-сенсорів.

Згідно завданнями Замовника по облаштуванню визначених локацій Виконавець розробляє відповідну проектно-технічну документацію, яка необхідна для виконання монтажних робіт. Комплект документації включає (але не обмежується):

- Структурна схема технічних засобів на локації.
- Схема розташування обладнання на локації (з зазначенням конструктивних елементів або приміщень де розташоване обладнання та, при необхідності, точки підключень).
- Однолінійна схема електроживлення (при необхідності).
- Ескізи монтажних схем встановлення обладнання
- Специфікацію обладнання, виробів та матеріалів, використаних для монтажу цієї локації.
- Перелік технічних умов, дозволів та окремих вимог від зацікавлених організацій та органів державної влади, балансоутримувачами локацій, організаціями з інженерного забезпечення тощо (при необхідності) з додаванням фото локацій та зазначенням розміщення компонентів ПАК на локаціях.

Розроблений комплект проектно-технічної документації Виконавець узгоджує з зацікавленими організаціями (в тому числі балансоутримувачами, орендодавцями, співвласниками локацій тощо) та надає на затвердження Замовнику.

Виконання монтажних та пусконалагоджувальних робіт

За заявкою Замовника та на підставі затвердженої проектно-технічної документації Виконавець отримує від Замовника визначені комплекти датчиків-сенсорів та, при необхідності, здійснює постачання необхідних для впровадження додаткових матеріалів та виробів у відповідності з Додатковими угодами до Договору.

В ході Проведення монтажу та підключень датчиків-сенсорів на локаціях Виконавець повинен здійснити:

1. Підготовку датчиків-сенсорів до впровадження, в тому числі, активацію та встановлення Sim-карт, з терміном дії не менше 6 місяців та достатнім для роботи датчиків-сенсорів трафіком.
2. Монтаж/встановлення датчиків-сенсорів в визначених в проектно-технічній документації місцях.
3. При необхідності, підключення обладнання до електромереж, систем заземлення та блискавкозахисту, а також прокладання кабельних трас.
4. Підключення датчиків-сенсорів до мереж за технологією LoRaWAN.
5. Калібрування з застосування необхідного тестового та вимірювального устаткування(при необхідності).
6. Спеціалізовані налаштування роботи датчиків-сенсорів згідно з технічною документацією на елементи Системи.

За результатами проведення монтажних та пусконалагоджувальних робіт Виконавець по кожній локації повинен оформити комплект Виконавчої документації у складі:

1. Виконавчих креслень, що відображають фактичні схеми та узгоджені зміни до робочих креслень з затвердженої проектно-технічної документації.
2. Відомості встановленого устаткування та використаних матеріалів.
3. Фотографії встановленого обладнання, конструкції та кабельних трас (при наявності).
4. Акти прихованих робіт з фотозвітом по ним (при наявності)
5. Інтеграція встановлених датчиків-сенсорів в Систему

В ході підключення датчиків-сенсорів до Системи Виконавець повинен:

1. Перевірити доступність до конкретного пристрою від мережевого серверу через бездротову мережу (одну або декілька наближених базових станцій з протоколом LoRaWAN)
2. Виконати реєстрацію конкретного пристрою одним з методів:
 - Автоматична реєстрація у Системі груп датчиків-сенсорів або поодинці.
 - У ручному режимі.
3. Провести тестування реакції датчиків-сенсорів на команди з мережевого серверу платформи ThingPark Wireless щодо змін конфігурації.
4. Перевірити відповідність даних, що надходять від датчиків-сенсорів до серверу додатків платформи ThingPark Wireless, згідно функціонального призначення та технічних можливостей конкретного пристрою.
5. Налаштувати моніторинг робочого стану датчиків-сенсорів, який повинен передбачати наступні способи отримання даних:
 - Для датчиків-сенсорів з постійним підключенням – визначення робочого стану пристрою шляхом його «опитування» та отримання безпосередньо від нього відповідної службової інформації.
 - Для датчиків-сенсорів, що не має постійного з'єднання, визначати робочий стан пристрою, встановивши правило отримання даних, в тому числі службової інформації про стан працездатності. Коли Система не отримує дані з датчиків-сенсорів протягом зазначеного періоду часу, вона має мати налаштування, що дозволять сповіщати відповідальних співробітників та надсилати їм сповіщення мінімум трьома способами: e-mail, SMS, сповіщення в обліковому записі - про те що певні датчики-сенсори працюють не в штатному режимі з вказанням типу/критичності відхилення.

**Приклади лістингу кодів варіантів можливої програмної реалізації
інформаційних пулів різними мовами програмування
(існуючі варіанти стандартних рішень)**

Мовою С#

```

namespace DesignPattern.Objectpool;

// The PooledObject class is the type that is expensive or slow to
// instantiate,
// or that has limited availability, so is to be held in the object pool.
public class PooledObject
{
    private DateTime _createdAt = DateTime.Now;

    public DateTime CreatedAt => _createdAt;

    public string TempData { get; set; }
}

// The Pool class controls access to the pooled objects. It maintains a list
// of available objects and a
// collection of objects that have been obtained from the pool and are in
// use. The pool ensures that released objects
// are returned to a suitable state, ready for reuse.
public static class Pool
{
    private static List<PooledObject> _available = new List<PooledObject>();
    private static List<PooledObject> _inUse = new List<PooledObject>();

    public static PooledObject GetObject()
    {
        lock (_available)
        {
            if (_available.Count != 0)
            {
                PooledObject po = _available[0];
                _inUse.Add(po);
                _available.RemoveAt(0);
                return po;
            }
            else
            {
                PooledObject po = new PooledObject();
                _inUse.Add(po);
                return po;
            }
        }
    }

    public static void ReleaseObject(PooledObject po)
    {
        CleanUp(po);

        lock (_available)

```

```
        {  
            _available.Add(po);  
            _inUse.Remove(po);  
        }  
    }  
  
    private static void CleanUp(PooledObject po)  
    {  
        po.TempData = null;  
    }  
}
```

Мовою Python

```

#coding: utf-8
"""
Об'єкт сімейства Shot створюється одноразово.
Після цього залишаємо в пам'яті.
"""
class Shot(object):
    """Сутність із заданими ознаками"""
    def __init__(self, lifetime=5):
        self.lifetime = lifetime

    def update(self):
        self.lifetime -= 1
        return self.lifetime > 0

class ObjectPool:
    """Пул об'єктів"""
    def __init__(self, **kwargs):
        """Створення пулу"""
        self._clsname = kwargs['classname']
        self._args = kwargs.get('args', [])
        self._num_objects = max(kwargs['num'], 0)
        self._pred = kwargs['update_func']
        self._max_objects = kwargs.get('max', self._num_objects)

        # Create the objects
        self._objs = [apply(self._clsname, self._args)
                      for x in range(self._num_objects)]
        self._end = len(self._objs)

    def _extend_list(self, args):
        """Додати одне місце до пулу"""
        self._objs.append(apply(self._clsname, args))
        self._num_objects += 1

    def add(self, *args):
        """Добавить один объект в пул"""
        newend = self._end + 1
        # Якщо є максимум - завершити
        if newend > self._max_objects:
            return None
        # Якщо всі місця зайняті - додається одне
        if newend > len(self._objs):
            self._extend_list(args)
        else:
            self._objs[self._end].reset(*args)
        self._end += 1
        return self._end - 1

    def update(self, *args):
        """Оновити об'єкти пулу"""
        self._end = partition(self._pred, self._objs, 0, self._end, args)
        return self._end

    def update_object(x):
        """Оновити об'єкт"""
        return x.update()

    def partition(pred, seq, first, last, *args):

```

```
"""Функція сортування об'єктів"""
if first > last:
    return 0

for i in range(first, last):
    if not pred(seq[i]):
        break
else:
    return last

for j in range(i+1, last):
    if pred(seq[j]):
        seq[i], seq[j] = seq[j], seq[i]
        i += 1
return i

# Використання пулу
shots = ObjectPool(classname=Shot, update_func=update_object, num=5)
while shots.update():
    pass

print "Done!"
```

ДОДАТОК Д

Формування черг сервісу отримання інформації для обробки

Таблиця Д1 – Налаштування черг обробки інформації

	Message TTL	Max length	Max length bytes	Overflow behaviour	Dead letter exchange	Dead letter routing key
	How long a message published to a queue can live before it is discarded (milliseconds).	How many (ready) messages a queue can contain before it starts to drop them from its head.	Total body size for ready messages a queue can contain before it starts to drop them from its head.	Sets the queue overflow behaviour. This determines what happens to messages when the maximum length of a queue is reached. Valid values are drop-head, reject-publish or reject-publish-dlx. The quorum queue type only supports drop-head.	Optional name of an exchange to which messages will be republished if they are rejected or expire.	Optional replacement routing key to use when a message is dead-lettered. If this is not set, the message's original routing key will be used.
C ATPW TO S ATPW DWH	не вказано	100*100*5 = 5000	не обмежено	drop-head		
		кількість датчиків * 100 повідомлень/день * 5 днів	обмежуємо по кількості меседжів	видаляємо саме ранне повідомлення		
S ATPW DWH TO C DWH ATPW raw	не вказано	100*100*5 = 5000	не обмежено	drop-head		
		кількість датчиків * 100 повідомлень/день * 5 днів	обмежуємо по кількості меседжів	видаляємо саме ранне повідомлення		
S ATPW DWH TO C DWH ATPW processing	не вказано	100*100*5 = 5000	не обмежено	drop-head		

		кількість датчиків * 100 повідомлень/день * 5 днів	обмежуємо по кількості меседжів	видаляємо саме ранне повідомлення		
C 1551 TO C DWH 1551	не вказано	$(5000 + 5000) * 5 = 50000$	не обмежено	drop-head		
		(максимальна кількість звернень + максимальна кількість рішень)* 5 днів	обмежуємо по кількості меседжів	видаляємо саме ранне повідомлення		
C VMS TO C DWH VMS						

Таблиця Д2 – Сценарії налаштування черг

сценарій 1
<i>запис даних з вхідного конектора в чергу</i>
сервіс записує дані в чергу і надалі не тримає його
при недоступності черги - сервіс відкидає повідомлення і робить запис в лог з описом помилки
для інтеграцій де ми отримуємо дані на ендпоінт (приклад - АТПВ) - ми будемо просто втрачати дані, але у нас немає варіантів як їх зберігати. в крайньому випадку ми можемо їх повністю записувати в лог помилок і потім їх обробити
для інтеграцій де ми періодично звертаємось на стороню АПІ чи БД - ми нічого не втрачаємо, тому що при отриманні помилки запису в чергу - конектор не оновить часову мітку і при наступному циклі запиту - поворно зробить запит за цей час
тестування: відключити чергу, надіслати дані у вхідний конектор, отримати запис в лозі про помилку
сценарій 2
<i>внутрішній сервіс зчитує дані з вхідної черги, оброблює їх і записує у вихідну чергу</i>
зчитування даних з вхідної черги відбувається без підтвердження, тобто повідомлення з черги одразу видаляється
сервіс оброблює дані і при необхідності передає їх у вихідну чергу
при недоступності вихідної черги сервіс повинен перейти в режим періодичного намагання записати повідомлення в чергу. при цьому функціонування всього ланцюга припиняється до поновлення роботи черги. При кожній невдалій спробі запису - запис в лог про помилку
є ризик втратити ці дані якщо при цьому буде вимкнено всю систему (перезавантажено і т.п.)
тестування: поки що не розумію яє помістити дані у внутрішній сервіс і відключити черги
сценарій 3

<i>вихідний конектор отримує дані з черги і надсилає користувачу</i>
при недоступності черг - зчитування немає.
при доступності черги - конектор зчитує дані, але не видаляє їх з черги
при вдалій передачі даних користувачу - надати підтвердження в чергу про видалення повідомлення
при невдалій передачі - повідомлення не видаляється з черги - сервіс переходить в режим періодичного намагання зчитати повідомлення і надіслати користувачу
ризик втратити повідомлення: при досить довгій відсутності зв'язку з користувачем є ризик переповнення вихідної черги і втрата найстарших повідомлень
тестування: вимкнути користувача, надіслати повідомлення в інтеграцію, перевірити наявність повідомлення у вихідній черзі, наявність записів в лог про невдалу передачу даних користувачу

Приклади виведення інформації на дашборди

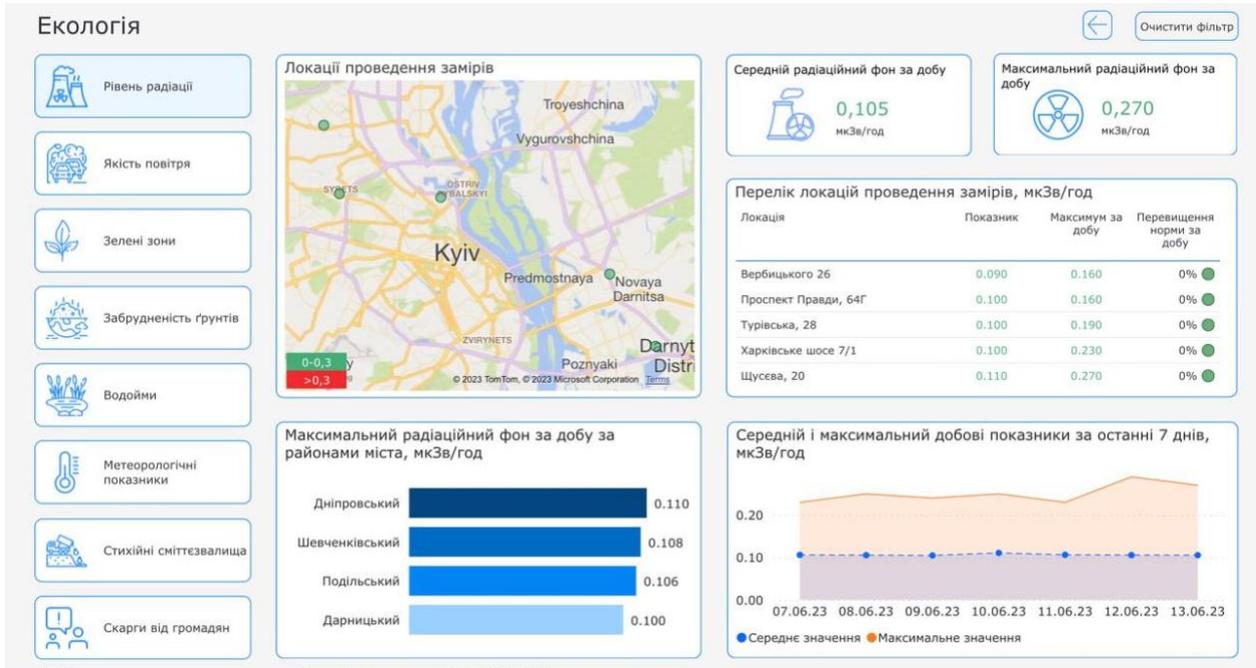


Рисунок Е1 – Дашборд за запитом вибірки щодо радіаційного фону

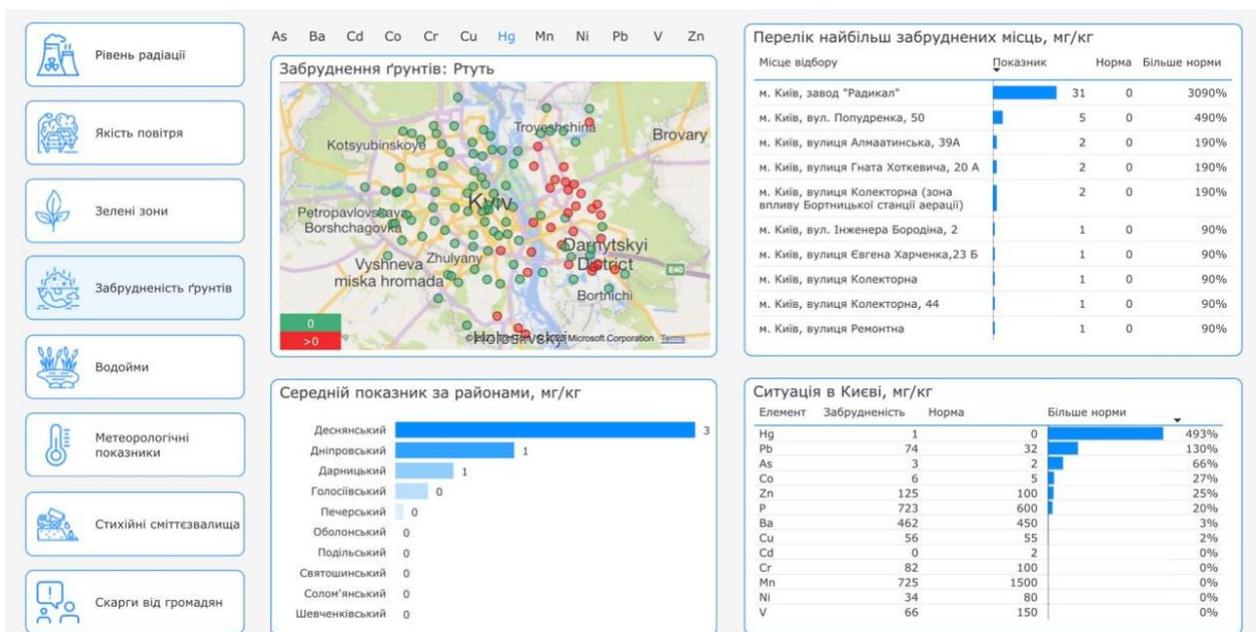


Рисунок Е2 – Дашборд за запитом вибірки щодо найбільш забрудненості ґрунтів

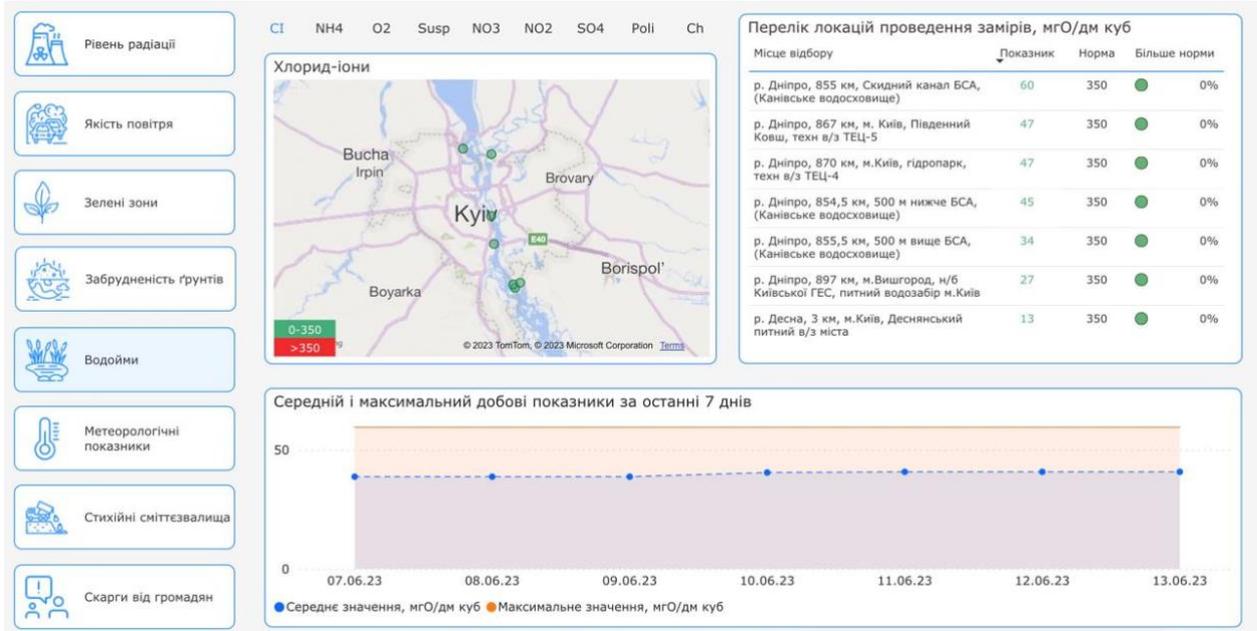


Рисунок Е3 – Дашборд за запитом вибірки щодо стану водойм

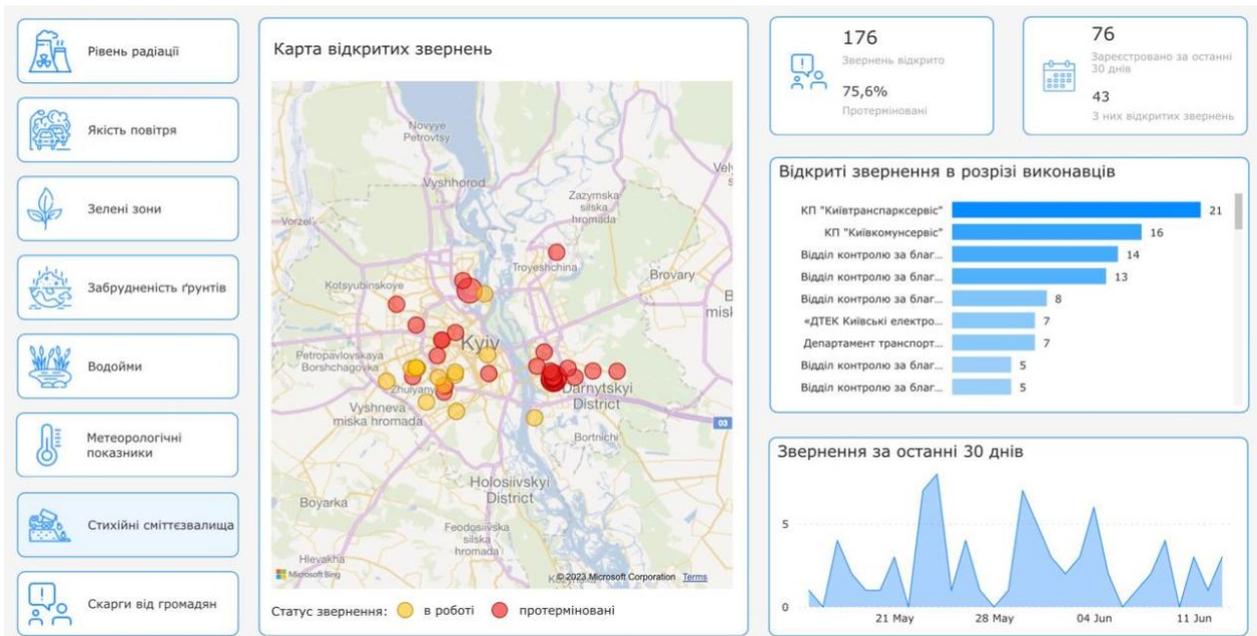


Рисунок Е4 – Дашборд за запитом вибірки щодо стихійних сміттєзвалищ

Лістинг коду реалізованого алгоритму на мові Haskell

```

type Structure a b c = (a, b, b, c, a)
data States = Q0 | Q1 | Q2 | Q3
deriving (Eq, Show, Ord) - - Стан машини
data Directions = Right_ | Left_ | Stop_
deriving (Eq, Show, Ord) - - Переміщення голівки, що зчитує
machine :: [Structure States Char Directions]
machine =
  {-q1-} [(Q1, '_', '_', Right_, Q2),
  {-q2-} (Q2, '_', '_', Stop_, Q0), (Q2, '0', '0', Right_, Q2),
(Q2, '1', '2', Right_, Q2), (Q2, '2', '4', Right_, Q2), (Q2, '3',
'6', Right_, Q2),
  (Q2, '4', '8', Right_, Q2), (Q2, '5', '0', Right_, Q3), (Q2,
'6', '2', Right_, Q3), (Q2, '7', '4', Right_, Q3), (Q2, '8', '6',
Right_, Q3), (Q2, '9', '8', Right_, Q3),
  {-q3-} (Q3, '_', '1', Stop_, Q0), (Q3, '0', '1', Right_, Q2),
(Q3, '1', '3', Right_, Q2), (Q3, '2', '5', Right_, Q2), (Q3, '3',
'7', Right_, Q2),
  (Q3, '4', '9', Right_, Q2), (Q3, '5', '1', Right_, Q3), (Q3,
'6', '3', Right_, Q3), (Q3, '7', '5', Right_, Q3), (Q3, '8', '7',
Right_, Q3), (Q3, '9', '9', Right_, Q3)]
Точка входу
start :: String -> String
start str = turing Q1 (head new_str) new_str 1 - -

```

Викликаємо функцію turing з початковим

```

where new_str = '_': (reverse ( '_': str)) - станом на початок
turing :: States -> Char -> String -> Int -> String
базовий випадок
turing Q0 _ str _ = reverse str

```

Загальний випадок

```
turing state_ char_ string_ n = turing (new_state)
(next_char) (new_string) (new_n)
where
structure = get_structure machine state_ char_ - отримуюмо
```

кортеж з "таблиці"

```
new_state = get_new_state structure - Новий стан машини
new_string = rewrite_symbol (string_) (get_new_symbol
structure) n - - Лента з новим символом
```

new_n = get_next (state_) (char_) n - - Номер наступного символу

next_char = get_n_elem (string_) (new_n) - Наступний символ стрічки

get_first_elem :: (a, b, c, d, e) -> a - Отримує перший елемент кортежу

```
get_first_elem (a, b, c, d, e) = a
```

get_second_elem :: (a, b, c, d, e) -> b - Отримує другий елемент кортежу

```
get_second_elem (a, b, c, d, e) = b
```

```
get_n_elem :: String -> Int -> Char
```

```
get_n_elem (x: xs) 1 = x
```

```
get_n_elem (x: xs) n = get_n_elem xs (n-1)
```

```
get_structure :: [Structure States Char Directions] -> States
-> Char -> Structure States Char Directions
```

```
get_structure list state_ char_
```

```
| (Get_first_elem (head list) == state_) && (get_second_elem
(head list) == char_) = head (list)
```

```
| otherwise = get_structure (tail list) state_ char_
```

```
rewrite_symbol :: String -> Char -> Int -> String
```

```
rewrite_symbol str char_ n = (reverse ((char_): reverse (take
(n-1) str))) ++ (drop n str)
```

Функція отримує новий стан машини

```
get_new_state :: (a, b, c, d, e) -> e
```

```
get_new_state (a, b, c, d, e) = e
```

Функція отримує символ, який потрібно записати

```
get_new_symbol :: (a, b, c, d, e) -> c
```

```
get_new_symbol (a, b, c, d, e) = c
```

Функція отримує напрямок руху голівки, що зчитує

```
get_direction :: (a, b, c, d, e) -> d
```

```
get_direction (a, b, c, d, e) = d
```

Залежно від обраного напрямку отримуємо номер наступного елемента

```
get_next :: States -> Char -> Int -> Int
```

```
get_next state_ char_ n
```

```
  | get_direction (get_structure machine state_ char_) ==
```

```
Right_ = n + 1
```

```
  | get_direction (get_structure machine state_ char_) == Left_
```

```
= n-1
```

```
  | otherwise = n
```