Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет інформаційно-аналітичних технологій та менеджменту
(повна назва)

Кафедра прикладної математики
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Аналіз особливостей побудови систем моніторингу стану довкілля з використанням методів штучного інтелекту
(тема)

Виконав:
студент _2_ курсу, групи _САУм-19-1
Слупська С.Ю.
(прізвище, ініціали)
Спеціальність
124 Системний аналіз
(код і повна назва спеціальності)
Тип програми _освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)
Освітня програма
Системний аналіз і управління
(повна назва освітньої програми)
Керівник доц. Кобзєв В.Г.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ПМ ____________ Тевяшев А.Д.
(підпис) (прізвище, ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет інформаційно-аналітичних технологій та менеджменту
Кафедра прикладної математики
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 124 Системний аналіз
(код і повна назва)
Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)
Освітня програма Системний аналіз і управління
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри ПМ ____________
(підпис)
"____" ______________ 2020 р.

ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Слупській Софії Юріївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз особливостей побудови систем моніторингу стану довкілля з використанням методів штучного інтелекту

затверджена наказом по університету від 23 жовтня 2020 р. № 1420 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 10 грудня 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи статистичні дані щодо екологічного стану довкілля в промислових районах України; документація до засобів побудови програмних модулів системи екологічного моніторингу

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі
   1. Аналіз методів вирішення проблеми моніторингу навколишнього середовища
   2. Вибір та обґрунтування методів і програмних засобів реалізації системи екологічного моніторингу
   3. Структура системи моніторингу
   4. Реалізація системи екологічного моніторингу
   5. Аналіз можливих застосувань

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп’ютерних ілюстрацій

1. Актуальність теми роботи
2. Постановка задачі
3. Системний аналіз проблеми
4. Ілюстрації структури системи моніторингу та її складових
5. Ілюстрації до реалізації системи екологічного моніторингу

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір та вивчення технічної літератури за темою роботи	вересень 2020 р.	виконано
2	Вибір та обґрунтування методу	жовтень – листопад 2020 р.	виконано
3	Розробка структури системи	листопад – грудень 2020 р.	виконано
4	Розробка архітектури системи екологічного моніторингу	листопад – грудень 2020 р.	виконано
5	Робота над текстом пояснювальної записки	грудень 2020 р.	виконано
6	Представлення роботи на рецензію в ЕК	грудень 2020 р.	виконано

Дата видачі завдання _1_ вересня 2020 р.

Студент ___________________________________
(підпис)

Керівник роботи __________________ доц. Кобзєв В.Г.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 77 с., 3 табл., 16 рис., 18 джерел.

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ, ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДЖЕРЕЛ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ, МОДУЛЬНА СТРУКТУРА, МЕТОДИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ІНТЕЛЕКТУ.

Об’єкт дослідження – процеси автоматизованого моніторингу екологічного стану довкілля.

Мета роботи – аналіз особливостей побудови систем моніторингу стану довкілля з використанням методів штучного інтелекту та розробка варіанту системи екологічного моніторингу.

Методи дослідження – системний аналіз, графоаналітичні методи, нечітка логіка, методи оптимізації, комп’ютерне моделювання.

В результаті виконання атестаційної роботи були розглянуті актуальні завдання створення системи екологічного моніторингу стану довкілля з використанням методів обчислювального інтелекту. Розглянуті завдання оцінювання рівня екологічної безпеки довкілля та завдання ідентифікації джерел шкідливих викидів в промислових регіонах, а також запропоновано методи їх вирішення з застосуванням графових моделей, нечіткої логіки та оптимізаційних методів. Запропоновано варіант побудови системи екологічного моніторингу стану довкілля, що має відкриту модульну архітектуру та розглянуто напрямки практичної реалізації функцій окремих модулів.

Запропонована система екологічного моніторингу стану довкілля може використовуватися як автономно, так і в інтеграції з існуючими ГІС екологічного моніторингу регіонального рівня.

ABSTRACT

Introductory note: 77 pages, 3 tables, 16 figures, 18 sources.

ENVIRONMENTAL MONITORING, ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT, IDENTIFICATION OF SOURCES OF ECOLOGICAL HAZARD, MODULAR STRUCTURE, CALCULATION METHODS.

The object of research is the processes of automated monitoring of the ecological state of the environment.

The purpose of the work is to analyze the features of building environmental monitoring systems using artificial intelligence methods and to develop a variant of the environmental monitoring system.

Research methods – systems analysis, graphoanalytical methods, fuzzy logic, optimization methods, computer modeling.

As a result of the attestation work, the urgent tasks of creating a system of ecological monitoring of the state of the environment using the methods of computational intelligence were considered. The tasks of assessing the level of environmental safety and the task of identifying sources of harmful emissions in industrial regions, as well as methods for solving them using graph models, fuzzy logic and optimization methods. The variant of construction of the system of ecological monitoring of a condition of environment having open modular architecture is offered and the directions of practical realization of functions of separate modules are considered.

The proposed system of ecological monitoring of the state of the environment can be used both autonomously and in integration with the existing GIS of ecological monitoring of the regional level.

ЗМІСТ

ВСТУП

На сьогоднішній день наша планета зустрічається з великою кількістю небезпек навколишнього середовища, одні з їх локальні, інші – єдині за метою абсолютно всіх держав. Одна з таких небезпек – забруднення навколишнього середовища, що приводить до екологічної катастрофи. Від цього страждають всі її складові: атмосфера, гідросфера і біосфера.

Аналіз водних ресурсів – це аналіз, який варто проводити для водних ресурсів певної місцевості з певним кліматом, а саме вивчити хімічну і біологічну складові, зрозуміти, наскільки ситуація плачевна або, можливо, цілком задовільна. Далі, вивчивши отриману інформацію, підібрати або, при необхідності, розробити найоптимальніше вирішення проблеми. Також, варто відзначити, що дії повинні в максимально короткі терміни повинні в результаті забезпечити максимально сприятливий результат, поліпшивши стан водойми.

Якщо брати за увагу атмосферу, то слід звернути увагу, що людство вже йде по шляху поліпшення, наприклад, віддаючи перевагу електротранспорту, замінюючи звичні нам об'єкти рутинного життя екологічно – чистими, зменшуючи споживання і збільшуючи повторне вживання.

При аналізі біосфери слід виділити що мова йдеться про живих істот. Від успішності аналізу залежить прийняте рішення, що визначає, спосіб поліпшення ситуації в якому живуть живі істоти.

Проблема необхідності моніторингу екологічної безпеки стала особливо актуальною в останні роки в зв'язку зі зниженням екологічного якості життєвого середовища людини. Сучасні світові тенденції розвитку промисловості характеризуються широким використанням потенційно небезпечних технологій та виробництв і, як наслідок, істотним погіршенням екологічних характеристик окремих регіонів.

Для моніторингу екологічного стану планети використовують спеціальні системи та лабораторії. Але, раніше, їх точність підлягала сумнівам. Та з розвитком технологій в світі в системи почали впроваджувати методи машинного навчання та штучний інтелект. Це дало нове дихання системам моніторингу довкілля, підвищився рівень їх точності та ефективності, виникла можливість прогнозувати майбутній стан довкілля.

Проаналізувавши поточні тенденції, можна виділити, що на даний момент в світі питання екології є одним з найбільш актуальних. Зараз сприяння поліпшенню екологічного стану можна виділити сучасним напрямом. Однак, цей напрям має під собою ефективне і позитивне підґрунтя. Тому кожен, хто вносить свій внесок у створення та розвиток інструментів щодо поліпшення рівня екології, робить свій внесок в майбутнє. Адже проблема вже є, а зараз з ще більшим розвитком людства та збільшення виробничих підприємств, проблема буде тільки загострюватися. Слід зазначити, що математичні моделі і інформаційні технології екологічного моніторингу не використовують можливості структурного об'єднання різних даних екологічного контролю для реалізації швидкої та якісної оцінки ризиків.

Крім детермінованої складової оцінки можливих загроз екології довкілля, одержуваної в результаті прямих періодичних спостережень і обробки інформації, необхідно брати до уваги можливі збитки, пов'язані зі стохастичною складовою техногенного ризику.

Важливим є поширення екологічно-аналітичного підходу до вирішення завдань моніторингу екологічного стану довкілля з використанням методів обчислювального інтелекту.

Актуальною проблемою слід вважати модернізацію системи моніторингу екологічної ситуації, що дозволяє збирати, обробляти, аналізувати, відображати інформацію про стан довкілля та допомагати у прийнятті рішень. щодо поліпшення екологічної ситуації. В атестаційній роботі розглядаються важливі питання вирішення цієї проблеми.

1 СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз методів вирішення проблеми моніторингу навколишнього середовища

1.1.1 Загальний огляд

Останнім часом науково-технічний прогрес вкрай негативно відображається на довкіллі. Різні види забруднення навколишнього середовища викликають тривогу і занепокоєння фахівців-екологів.

Проблема захисту навколишнього середовища стала дуже актуальна для багатьох промислово розвинених країн. Інформація про стан природного середовища необхідна для нашого повсякденного життя, для ведення господарства, будівництва та у разі крайньої потреби. Тим більше зміна стану природи відбуваються не тільки під впливом природних процесів, але і діяльність людини носить негативний характер. Необхідність прогнозу антропогенних змін в природі дуже актуальне завдання.

Екологічна ситуація в промислових районах неоднорідна і залежить від двох основних чинників: викидів від стаціонарних джерел забруднення та автотранспорту. Більшість з великих підприємств застосовують складні технології, які супроводжуються виділенням в навколишнє середовище хімічних речовин і сполук, багато з яких відносяться до 1 і 2 класів небезпеки, що, безсумнівно, негативний вплив на погіршення екологічного стану довкілля. Основною проблемою, пов'язаною із забрудненням атмосферного повітря промисловими підприємствами, є близьке знаходження житлової зони по відношенню до основних промислових районів.

У сучасному світі регулярно ведуться спостереження за кліматичними змінами. Це метеорологічні, фенологічні, сейсмологічні та інші види спостережень стану довкілля. Розширилося коло спостережень за природою, число вимірюваних параметрів, стало більше станцій спостереження. Проблеми моніторингу навколишнього середовища стали більш складними.

Моніторинг навколишнього середовища – це регулярні спостереження природного середовища за заданою програмою, спостереження за природними ресурсами, рослинним і тваринним світом, які дозволяють визначити їх стан і зміни, що відбуваються в них під впливом антропогенної діяльності.

Екологічний моніторинг – це організований моніторинг природи, що забезпечує постійну оцінку екологічних умов середовища проживання людини, біологічних об'єктів і оцінку стану і функціонування екосистем, створення умов для визначення коригувальних впливів, коли певні показники екологічних умов не отримані [1-3].

Аналіз сучасної вітчизняної і зарубіжної інформації стосовно систем екологічного моніторингу довкілля дозволяє відзначити такі проблеми:

– відсутність єдиної концепції і розуміння цілей і завдань моніторингу;

– роботи по створенню галузевих систем екологічного моніторингу не скоординовані, що призводить до неможливості створення систем глобального рівня або створення неефективних систем;

– недотримання принципів єдності (стандартизації), наступності та взаємозв'язку підходів до вирішення проблем контролю і моніторингу систем моніторингу та систем контролю за радіаційним впливом ядерно-енергетичних підприємств на навколишнє середовище;

– недостатня увага приділяється приладовому, метрологічному, методичному забезпеченню робіт по створенню нових і експлуатації наявних систем контролю і моніторингу.

Також не менш глобальною проблемою є і кліматичні зміни, пов'язані як з використанням традиційних викопних джерел енергії, так і наслідками життєдіяльності людини.

Бездротові технології Інтернету речей (Internet of Things, IoT) вже сьогодні дозволяють за допомогою різних типів датчиків прогнозувати зміни клімату та аналізувати екологічний стан практично будь-якого регіону Землі. Чимало їх вже пристосовані і до процесів управління усуненням негативного впливу на природу в місцях великої концентрації людей, зокрема, у великих і середніх містах.

Можливість отримувати безперервний потік даних дозволяє вживати необхідних заходів і уникати багатьох загроз, пов'язаних з аномаліями в навколишньому середовищі. Серед відомих можливостей «розумних» пристроїв – моніторинг метеоумов, сейсмічної небезпеки, стану атмосфери і води. Це хоч і важливі, але далеко не всі сфери застосування IT-технологій в природоохоронній галузі. Сьогодні активно розробляються і проходять апробацію нові продукти на базі IoT-систем, спрямовані на вирішення екологічних проблем. Їх масове впровадження гальмується певними технічними проблемами, наприклад, різними протоколами роботи пристроїв, недосконалістю бездротової інфраструктури, але всі вони знаходяться на стадії вирішення і в найближчій перспективі будуть зняті.

Екологічний захист передбачає різні види рішень, і концепції IoT під силу більшість з них. Але багато екологічних проблем так складні, що їх вирішення вимагає часу на осмислення і розробку способу нейтралізації. Збір необхідних даних є першим кроком на цьому шляху, тому сьогодні мільйони «розумних» пристроїв, з'єднаних в єдину мережу, відстежують вплив на навколишнє середовище продуктів переробки добутих копалин в енергію, відходів життєдіяльності людини, стан лісів, річок, морів та інших екосистем [4, 8].

1.1.2 Дистанційні методи моніторингу

При здійсненні екологічного моніторингу важливе місце відводиться дистанційним методам, здатним безпосередньо представляти дані по великомасштабних змінах.

Лідируючими в таких методах є методи, які використовують космічні засоби, які посіли провідне місце при вивченні природних ресурсів. Особливо ефективні результати по оцінці антропогенних впливів може дати комплексне використання інформації, отриманої за допомогою космічних систем, літаків і наземних систем. До інформації, одержуваної з супутників і використовуваної для цілей екологічного моніторингу, відноситься інформація про стан лісів, сільськогосподарських угідь, про рослинність на суші, про фітопланктоні на море, про стан земної поверхні, наприклад інформація про ґрунтовий покрив, порушення земної поверхні антропогенною діяльністю, ерозійних процесах, урбанізованих зонах, про перерозподіл водних ресурсів, забруднення атмосфери, морів, суші і т.д.

Дистанційне вивчення ґрунтового покриву з штучних супутників Землі можливо шляхом картування ґрунтів, їх районування з яких-небудь ознаками, а також шляхом вивчення найважливіших властивостей ґрунтового покриву - вологості, типу ґрунтів, засоленості, вмісту гумусу, механічного складу, порушеною, наявності рослинності. Ґрунти можуть розпізнаватися за вимірюваннями прямих ознак поверхні, а також непрямих – за геологічними, геоботанічними та геоморфологічними індикаторами.

Для екологічного моніторингу особливе значення має визначення стану рослинності. Ці дослідження також вельми успішно проводяться з використанням супутникових систем.

Спостереження за водосховищами і природними водними об'єктами дозволяють з великою точністю (наприклад по берегової лінії і рівню води) судити про зміну стану цих об'єктів, в тому числі і антропогенного характеру.

На сьогодні екологічний моніторинг навколишнього середовища і природних ресурсів здійснюється зазвичай за допомогою спеціалізованих систем спостережень і подальшої обробки отриманих даних. Комп'ютерна обробка реалістичних картографічних зображень ландшафтних об'єктів в геоінформаційних системах (ГІС) екологічного моніторингу передбачає в загальному випадку реалізацію етапів попередньої обробки, сегментації, розпізнавання і інтерпретації.

Особливий практичний інтерес представляють завдання розпізнавання об'єктів за супутниковими знімками і аерознімками. До основних труднощів такого розпізнавання відноситься зміна видимості об'єктів, що викликається різними внутрішніми та зовнішніми чинниками (освітлення, орієнтація, стан, наявність спотворених фрагментів зображення тощо). Аналіз і інтерпретація знімків є важливою частиною реалізації багатьох ГІС додатків (наприклад, побудова топографічних карт, кадастрових планів, локалізації районів забруднення, моніторинг зміни контурів окремих ділянок зображень під впливом природних і антропогенних факторів).

За допомогою супутникових систем добре ідентифікуються багато антропогенні зміни в навколишньому середовищі, що відбуваються в даний час і що мали місце в минулому, наприклад, лісові пожежі, забруднення атмосфери і підстильної поверхні (різні зміни на багатоспектральних фотознімках), ерозія ґрунтів. Дуже чітко ідентифікуються шари пилу, особливо хмари при пилових бурях. Спостереження за димовими викидами дозволяють за ступенем прозорості встановити щільність частинок в факелах і визначити інгредієнти в них по поглинанню радіації в відповідних зонах поглинання.

Таким чином, слід зазначити, що в даний час вже є великий досвід використання інформації з супутників для вивчення антропогенних змін в біосфері [5, 6].

1.1.3 Біологічні методи моніторингу

В останні роки біологічна наука починає займати важливе місце в моніторингу стану навколишнього середовища. Чимало розділів біології використовуються для розробки теоретичних і практичних основ спостереження за станом навколишнього середовища. Важливим з позицій використання біологічних методів моніторингу стану довкілля є той факт, що перелік і кількість викидів в навколишнє середовище забруднюючих речовин надзвичайно великим (за деякими оцінками до 400 тисяч найменувань).

В основних промислових регіонах екологічним спостереженням, як правило, підлягають речовини, викид яких носить масовий характер, і, отже, забруднення ними є особливо шкідливим. Це, наприклад, діоксид сірки, монооксид вуглецю, пил, що характерно для міського повітря; нафтопродукти, поверхнево-активні речовини для природних вод; пестициди для грунтів. Крім того, на території промислових регіонів мають контролюватися і токсичні речовини. Біологічний моніторинг покликаний розробляти стратегію і тактику не тільки спостереження і контролю, а й оцінку і прогнозу стану навколишнього середовища [5].

1.1.4 Санітарно-хімічний аналіз забруднюючих речовин в навколишньому середовищі

Швидкий розвиток нових методів визначення токсичних речовин у навколишньому середовищі підняло на якісно новий рівень вивчення процесів забруднення повітря, води і ґрунту, фізико-хімічних процесів трансформації речовин, гігієнічну оцінку якості навколишнього середовища. Заходи по захисту навколишнього середовища від викидів виробництв, як правило, вимагають великих економічних витрат, які в деяких випадках можуть досягати 40-50% від вартості основного виробничого будівництва. Тому до якості контролю, його надійності, точності повинні пред'являтися дуже високі вимоги.

Надійність методу залежить головним чином від фізико-хімічних властивостей визначається речовини, правильності вибору методу, його характеристик та ін. Однак вона знижується через необхідність працювати з надзвичайно малими концентраціями токсичних речовин, непостійністю їх якісного і кількісного складу при наявності в навколишньому середовищі таких з'єднань, які можуть надавати заважає вплив, але і сприяти утворенню якісно нових речовин. Тому для більш правильного визначення ступеня забруднення об'єктів навколишнього середовища методи повинні бути досить чутливі і вибагливі.

На сьогодні сформовано список пріоритетних забруднюючих речовин, які слід визначати в першу чергу. Наприклад, більшість нормованих забруднюючих речовин для повітря мають гранично допустиму концентрацію (ГДК) в межах 0,005-0,1 мг / м3. До них зокрема належать пентаоксид ванадію, неорганічні сполуки миш'яку (виключаючи миш'яковистий водень), шестивалентний хром, деякі органічні речовини (ацетофенон, стирол) тощо. До шкідливих речовин з відносно низьким рівнем ГДК слід віднести: металеву ртуть 0,0003 мг / м3, свинець та його сполуки 0 , 0007, карбонілнікель 0,0005, бензопірен 0,000 001 мг / м3. Основна кількість нормованих забруднюючих речовин для води водойм мають ГДК 0,1-1 мг / л. Для багатьох токсичних речовин встановлена ГДК в межах 0,001-0,003 мг / л. Це неорганічні сполуки селену, ртуті, органічні сполуки (ізомерні діхлорбензоли, тиофос). Статистика показує, що, незважаючи на зниження числа надзвичайних ситуацій на виробництвах, середньорічні концентрації високонебезпечних речовин в атмосфері не знижуються з року в рік і часто в кілька разів перевищують гранично допустимі.

При аналізі об'єктів навколишнього середовища необхідно враховувати можливі хімічні, фотохімічні і біохімічні перетворення досліджуваних речовин і міграцію забруднюючих речовин з одного середовища в іншу, особливості їх розподілу в кожній з цих середовищ. Дані про забруднення одного середовища, наприклад, атмосферного повітря, повинні ув'язуватися з даними про забруднення інших, наприклад, із забрудненням води в озерах і річках, забрудненням ґрунту [5].

1.2 Принципи побудови моніторингових систем в режимі реального часу

У ситуації на сьогоднішній день, коли практично будь-яку населену територію можна вважати, як мінімум, зоною напруженої екологічної ситуації, для забезпечення дійсно сталого розвитку, забезпечення адекватного і своєчасного прийняття рішень.

Необхідно відстежувати всі зміни в стані і тенденції зміни навколишнього середовища, оскільки саме вони можуть попередити про катастрофу, що насувається. Основоположним принципом створення сучасної системи екологічного моніторингу є принцип обробки інформації в реальному часі. Це означає, що обробка інформації повинна відбуватися безпосередньо після її отримання, та прийняте по цій інформації рішення повинно керувати таким збором інформації. Також для ефективного дослідження необхідно застосовувати просторове моделювання. Тільки математичне моделювання без візуального представлення його ходу і результатів, можна сказати, «наосліп», істотно знижує ефективність роботи експертів при виявленні характерних ознак вищевказаних явищ. Для візуального представлення результатів просторового моделювання використовуються геоінформаційні (ГІС) системи. В даний час спостерігається швидкий розвиток ГІС з простих програм, призначених для перегляду електронних цифрових карт, в комплексні програмні додатки, призначені для просторового моделювання процесів реального світу.

У великих промислових центрах ступінь забруднення довкілля (зокрема атмосферного повітря) може в ряді випадків суттєво перевищити санітарно-гігієнічні нормативи. Характер часової і просторової мінливості концентрацій шкідливих речовин в атмосферному повітрі визначається великим числом всіляких факторів. Знання закономірностей формування рівнів забруднення атмосферного повітря, тенденцій їх зміни є вкрай необхідним для забезпечення необхідної чистоти повітряного басейну. Основою для виявлення закономірностей служать спостереження за станом забруднення повітряного басейну.

Необхідність організації контролю забруднення атмосферного повітря в зоні інтенсивного антропогенного впливу визначається попередніми експериментальним (протягом 1-2 років) і теоретичними дослідженнями з використанням методів математичного та фізичного моделювання. Такий підхід дозволяє оцінити ступінь забруднення довкілля в місті або будь-якому іншому населеному пункті, де є стаціонарні та пересувні джерела викидів шкідливих речовин. Звичайне розташування джерел викидів і їх параметри відомі або їх можна визначити. Знаючи метеорологічні параметри, можна з використанням математичних і фізичних моделей розрахувати поля концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі для будь-якої ситуації. В той же час адекватність прийнятих моделей реальних ситуацій все одно повинна перевірятися експериментально.

Для отримання репрезентативної інформації про просторову і часову мінливість забруднення повітря, потрібно попередньо провести обстеження метеорологічних умов і характеру просторової і тимчасової мінливості забруднення повітря за допомогою пересувних засобів. Для цього найчастіше використовується пересувна лабораторія, яка проводить відбір, а іноді і аналіз проб повітря під час зупинок. Такий метод обстеження, що називається рекогносцирувальним, знаходить останнім часом досить широке застосування. На карту-схему міста (населеного пункту, району) наноситься регулярна сітка з кроком 0,1; 0,5 або 1,0 км. На місцевості за спеціально розробленою програмою випадкового відбору проб відбираються і аналізуються проби в точках, які збігаються з вузлами сітки, накладеної на карту-схему. Для отримання статистично достовірних середніх значень вимірюваних концентрацій проводиться аналіз комбінацій точок на сітці, об'єднаних в квадрати заданої площини, з урахуванням напрямків вітру за напрямками. Такий метод дозволяє виявити як межі промислових комплексів і вузлів, так і зони їх впливу. При цьому забезпечується можливість порівняння отриманих результатів з розрахунковими даними математичних моделей. Якщо виявляється, що існує ймовірність зростання концентрації шкідливої речовини вище встановлених нормативів, то за її змістом в виявленій зоні слід встановити спостереження. Якщо ж такої ймовірності немає і відсутні перспективи розвитку промисловості, енергетики і автотранспорту, установка стаціонарних постів спостережень за станом атмосферного повітря недоцільна. Такий висновок не поширюється на організацію спостережень за фоновим рівнем забруднення повітря поза населеними пунктами.

Встановивши міру забруднення атмосферного повітря шкідливими речовинами, а також характер зміни полів концентрації домішок по території і в часі з урахуванням карт забруднення повітря, побудованих за результатами математичного і фізичного моделювання, можна розробити схему розміщення стаціонарних постів спостережень на території міста і програми їх робіт. Програма розробляється, виходячи із завдань кожного вимірювального пункту і особливостей мінливості концентрації кожної домішки в атмосферному повітрі. Пост спостережень може давати інформацію про загальний стан повітряного басейну, якщо пост знаходиться поза зоною впливу окремих джерел викидів і здійснювати контроль за джерелами викидів, якщо пост знаходиться в зоні впливу джерел викидів.

При розміщенні постів спостережень перевага віддається районам житлової забудови з найбільшою щільністю населення, де можливі випадки перевищення встановлених граничних значень ГДК. Спостереження повинні проводитися за всіма речовинами, рівні яких перевищують ГДК.

Важливими методами контролю так званого транскордонного перенесення глобальних потоків шкідливих речовин, які переносяться на великі відстані від місця викиду, є система наземних станцій, пов'язаних з математичними моделями поширення цих речовин. Мережа станцій транскордонного переносу обладнується системами відбору газу і аерозолів, збору сухих і мокрих випадінь аналізу вмісту шкідливих речовин у відібраних пробах.

В основі побудови систем екологічного моніторингу реального часу лежить принцип управління станом довкілля на основі аналізу потоку подій. Управління на основі аналізу потоку подій засноване на реєстрації і обробці подій, які безперервно оцінюються за даними про поточний стан навколишнього середовища. На відміну від традиційних систем з жорстко заданою схемою виконання операцій зі збору та обробки інформації, в даному випадку відбувається інтелектуальне управління функціонуванням системи в залежності від потоку даних, надходять на її входи. В ГІС-системах, а особливо для Web-додатків, також до складу ГІС необхідно включати елементи штучного інтелекту, такі як методи логічного висновку, нечіткої логіки, онтології, мультиагентні системи і тощо [5-7, 15].

Ефективне моделювання складних процесів в географічному середовищі, таких як поверхня землі, океан, атмосфера, вимагає інтенсивного використання знань з різних галузей науки і практики. Розробка комп'ютерних систем для подібного моделювання має включати і новітні досягнення в геоінформаційних технологіях, технологіях уявлення і добування знань. У цьому контексті інтелектуальна ГІС може розглядатися, як кінцева мета розробки такої системи.

Під інтелектуальною ГІС (ІГІС) будемо розуміти складний програмний продукт, що включає як безпосередньо саму ГІС, так і різні методи штучного інтелекту для вирішення складних завдань, в тому числі завдання просторового моделювання. Ці методи об'єднані в системі на основі єдиної структури представлення і обробки знань.

Центральною частиною ІГІС є база знань, що включає онтологію, яка представляє собою каркас для подання концепцій і зв'язків між ними в предметної області додатки. Інша частина бази знань заснована на базі об'єктів (сховище примірників абстракцій реальних об'єктів предметної області). Універсальна ІГІС повинна забезпечувати завантаження в базу знань різних онтологій і баз об'єктів і, таким чином, налаштовуватися на різні предметні області.

Наступним важливим компонентом ІГІС є експертна система або машина логічного висновку. Зазвичай вона є орієнтованою на правила систему, призначену для обробки знань, що зберігаються в базі знань. Описи правил так само можуть зберігатися в базі знань, як частина опису предметної області. Експертна система служить для вирішення двох завдань в ІГІС. Перше з них є традиційним для експертних систем і полягає у видачі рекомендацій в складних для прийняття рішення ситуаціях. Друге завдання – управління складними режимами моделювання. Специфічними особливостями таких систем є:

– використання різних одиниць вимірювання для параметрів середовища і параметрів об'єктів із заданою дискретністю зміни їх значень;

– обробка великих обсягів різнотипної інформації з різних джерел;

– реакція системи на події в реальному режимі часу.

Для таких систем найважливішу роль відіграють концепції гармонізації, інтеграції та злиття інформації (даних). Визначальне значення має концепція злиття даних. Злиття даних переслідує такі цілі:

– зменшення обсягів інформації, що циркулює в системі;

– підвищення ступеня достовірності та надійності даних, зменшення ступеня невизначеності;

– збільшення стабільності даних (корекція помилок) [2].

Розглянемо універсальну схему (рис. 1.1) інформаційної системи контролю стану природного середовища, придатну як для системи в цілому, так і для будь-якої геофізичної служби, що входить в цю систему (гідрометеорологічної служби або системи спостережень забруднень – моніторингу забруднень або моніторингу антропогенних змін в біосфері).

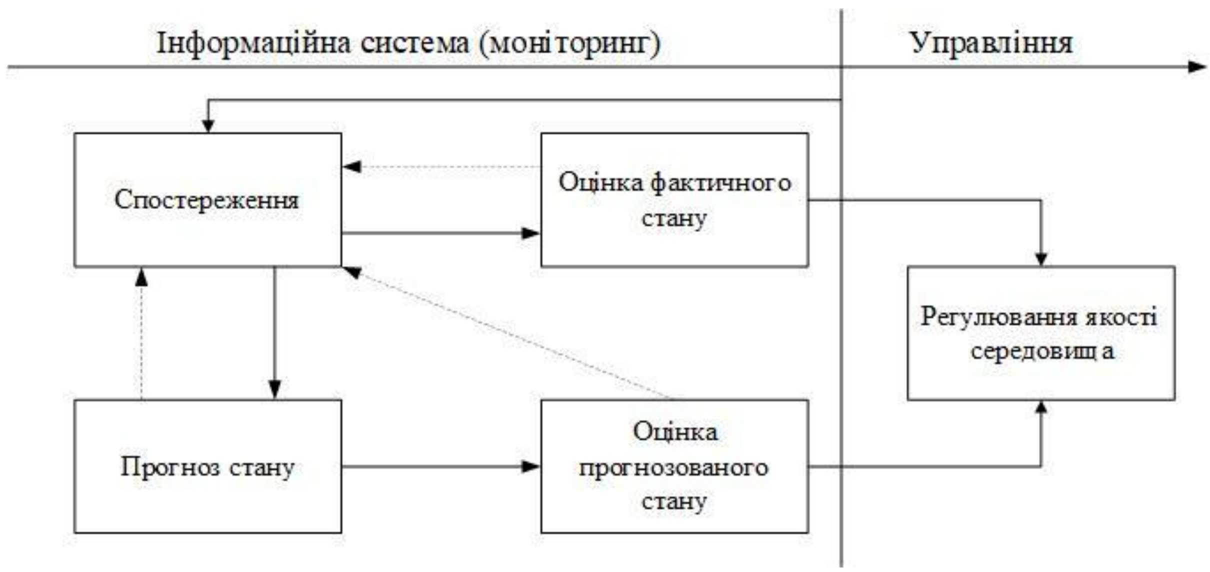

Рисунок 1.1 – Універсальна схема інформаційної системи

Найбільш універсальним підходом до визначення структури системи моніторингу антропогенних змін природного середовища є його поділ на блоки: «Спостереження», «Оцінка фактичного стану», «Прогноз стану», «Оцінка прогнозованого стану». Існуючі геофізичні служби блоки «Спостереження» та «Прогноз» тісно пов'язані між собою, так як прогноз стану навколишнього середовища можливий лише при наявності досить репрезентативною інформації про фактичне стані.

З іншого боку, спрямованість прогнозу в значній ступені повинна визначати структуру і склад спостережної мережі.

Дані, що характеризують стан природного середовища, отримані в результаті спостережень або прогнозу, повинні оцінюватися в залежності від того, в якій області людської діяльності вони використовуються (за допомогою спеціально обраних або вироблених критеріїв). Оцінка має на увазі, з одного боку, визначення збитку від впливу, з іншого – вибір оптимальних умов людської діяльності, визначення існуючий екологічних резервів. При такого роду оцінках мається на увазі знання допустимих навантажень на навколишнє природне середовище [1].

1.3 Постановка задач дослідження

Метою роботи є аналіз особливостей побудови систем моніторингу стану довкілля з використанням методів штучного інтелекту та розробка варіанту побудови системи екологічного моніторингу, що має відкриту модульну архітектуру. Відповідно до зазначеної мети виникає необхідність вирішення наступних завдань:

– аналіз методів вирішення проблеми моніторингу стану навколишнього середовища (зокрема, дистанційних та біохімічних методів);

– аналіз сучасних принципів побудови автоматизованих систем екологічного моніторингу;

– використання методів оцінювання рівня екологічної безпеки довкілля та ідентифікації джерел шкідливих викидів в промислових регіонах з застосуванням графових моделей, нечіткої логіки то оптимізаційних методів;

– вибір програмних засобів для реалізації завдань системи екологічного моніторингу стану довкілля;

– розробка варіанту побудови системи екологічного моніторингу стану довкілля, що має відкриту модульну архітектуру.

2 ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ І ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

2.1 Оцінка екологічної безпеки довкілля

2.1.1 Детермінована компонента

Функція економічного збитку, пов'язаного з перевищенням допустимих норм забруднення навколишнього середовища, враховує кількісні показники забруднень і параметри екологічного ризику та може бути представлена вектором станів втрат:

$$\vec{G}_{s_{kj}} = \left[G_{se\,kj}, G_{N_{kj}}, G_{in_{kj}} \right], \qquad (2.1)$$

де $G_{se_{kj}}$ – економічні втрати, пов'язані з ліквідацією наслідків таких забруднень (викидів) для кожного джерела k- го виробництва j- го об'єкта підвищеної небезпеки;

$G_{N_{kj}}$ – збитки, пов'язані з можливим числом уражених N_{kj} (різного ступеня тяжкості);

$G_{in_{kj}}$ – загальний збиток, пов'язаний з різними обов'язковими виплатами, завданими збитками навколишньому середовищу.

Тоді детермінованою загрозою, що оцінює негативне навантаження регіону від існуючих на території джерел забруднення, можна вважати величину

$$U_d = \frac{\sum\limits_{kj} \left(G_{se_{kj}} + G_{N_{kj}} + G_{in_{kj}} \right)}{t_s}, \qquad (2.2)$$

де підсумовування шкоди проводиться за всіма джерелами забруднення, виявленими в період часу t_s, протягом якого певні негативні події, представлені вектором станів втрат.

Для нормування з метою подальшого порівняння з показниками стохастичного техногенного ризику, необхідно узгодити період t_s з часом нормування, що використовується при визначенні показників техногенного ризику.

С цією метою використаємо коефіцієнт $r = \frac{T_n}{t_s}$, де T_n – період нормування для параметрів техногенного ризику (зазвичай використовується період в один рік).

Тоді нормована величина негативного навантаження регіону може бути записана у вигляді:

$$U_{dn} = r \cdot U_d. \tag{2.3}$$

2.1.2 Стохастична компонента

Для кількісної оцінки стохастичної компоненти загроз екологічній безпеці використовується інша кількісна міра, що представляє собою функцію ризику забруднення для кожного джерела k-го виробництва, j-го об'єкта підвищеної небезпеки з можливими i - ми наслідками:

$$Ri_{kj} = \left\langle \vec{\Theta}_{kj}, \vec{P}_{kji}, \vec{G}_{kji} \right\rangle, \tag{2.4}$$

де $\vec{\Theta}_{kj}$ – вектор сценаріїв виникнення ситуації, що призводить до збитку $\vec{G}_{kji}$, та реалізується з вірогідністю $\vec{P}_{kji}$ за i-м сценарієм розвитку цієї ситуації.

Сумарні втрати стохастичних подій характеризуються очікуваним збитком, або математичним очікуванням втрат, який визначається як добуток можливої шкоди від елементарного події на ймовірність того, що така подія відбудеться. Тоді показник очікуваного збитку визначається як:

$$U_p = \sum_{kji} \left(\vec{G}_{kji} \cdot \vec{P}_{kji} \right). \tag{2.5}$$

Очікуваний збиток за період нормування:

$$U_p n = \frac{U_p}{T_n}. \tag{2.6}$$

Зіставлення отриманого та очікуваного збитку з допустимими показниками ризику дозволяє робити висновок про прийнятність поточного екологічного ризику екологічній безпеці в регіоні.

2.1.3 Алгоритм оцінювання екологічного ризику

Розглянемо послідовність ризикового моніторингу та прийняття рішень з управління ризиком.

В результаті сортування показників можливого і фактичного збитків виділяються списки збитків, сумарне значення яких призводить до неприйнятного підсумкового ризику. Списки упорядковуються за зменшенням коефіцієнта впливу. Для всіх виділених збитків генеруються списки подій і об'єктів, для яких отримані неприйнятні ризики.

Далі реалізується процедура мінімізації прийняття рішень. Для реалізації алгоритму мінімізації в якості вхідних даних використовується така функція рішень:

$$De = \left\langle \vec{S}_{kj}, \vec{P}^{*}_{kji}, \vec{E}_{kji} \right\rangle, \qquad (2.7)$$

де $\vec{S}_{kj}$ – список рішень, спрямованих на зниження техногенного ризику або викидів для k - го виробництва, j - го об'єкта;

$\vec{P}^{*}_{kij}$ – вектор ймовірностей реалізації негативних наслідків при використанні прийнятих рішень;

$\vec{E}_{kij}$ – вектор витрат, необхідних на реалізацію рішень $\vec{S}_{kj}$.

Функція рішень De представлена множиною технічних пропозицій, які мають власну вартість і змінюють ймовірність негативних наслідків. Будь-який набір поєднань таких рішень має вибиратися таким чином, щоб параметри функцій не перевищували гранично допустимих значень, а порівняльні характеристики обраних рішень мають відповідати критеріям мінімізації витрат.

Послідовний перебір всіх можливих результатів, викликаних реалізацією рішень $\vec{S}_{kj}$ дає підсумкове передбачуване значення очікуваного збитку.

В якості критеріїв оптимізації прийняття рішень, можливе використання наступних умов:

– всі компоненти вектора $\vec{P}^{*}_{kij}$ (значення ймовірності реалізації негативних наслідків з урахуванням пропонованих рішень) не повинні перевищувати гранично допустиме значення ймовірності реалізації негативних наслідків P_{md} :

$$\max_{\{kji\}} P_{kji} < P_{md}, \qquad (2.8)$$

де величина P_{md} може встановлюватися на основі чинного законодавства та існуючих нормативних документів;

– сумарний детермінований і очікуваний збиток не повинен перевищувати допустимий збиток протягом часу нормування T_n:

$$\left(U_{dn} + U_p\right) < G_{md}, \tag{2.9}$$

– величина G_{md} може визначатися аналітичним шляхом з використанням нормативних показників та актуарних розрахунків, що відображають рівень фінансового забезпечення відновлювальних заходів в разі реалізації аналізованих стохастичних і детермінованих негативних техногенних ситуацій;

– в межах виконання вище перелічених умов, основним критерієм мінімізації витрат при прийнятті рішень є досягнення мінімального за кількістю і вартістю набору рішень, достатнього для досягнення критеріїв безпеки: $\min\left(\vec{S}_{kj}, \vec{E}_{kji}\right)$;

– необхідні сумарні витрати, пов'язані з впровадженням отриманого на попередньому етапі набору рішень не повинні перевищувати прийнятного рівня G_{md}.

У разі можливого перевищення вартості набору рішень, спрямованих на підвищення безпеки, прийняття рішень може бути переглянуто на користь посилення ліквідаційних заходів та штрафів за перевищення забруднення навколишнього середовища.

Вихідними даними для кількісної оцінки основних факторів ризику є частота появи негативних вихідних подій і ймовірність відмови засобів, що забезпечують недопущення або мінімізацію наслідків ризикових подій. Передбачувана частота (ймовірність при нормуванні випадкових відмов до заданого проміжку часу, наприклад, до року) виникнення негативних подій обчислюється за допомогою обробки схем причинно-наслідкового аналізу. До елементів інформаційної технології, призначених для причинно-наслідкового аналізу логіко-імовірнісних схем можна віднести методи, використовувані при побудові «дерев відмов» [6].

Згідно з алгоритмом оцінки ризику і прийняття рішень послідовно реалізуються наступні етапи:

– виконується логіко-імовірнісний аналіз процесу, що може спровокувати погіршення стану довкілля, і на його основі проводиться побудова «дерева відмов», обчислюються ймовірності проміжних подій і підсумкова ймовірність верхнього події, після чого виділяються події, ймовірність виникнення яких перевищує гранично допустимий рівень;

– для виділених подій виконується аналіз надійності і ефективності засобів захисту, будується «дерево відмов», обчислюються ймовірності і масштаби екологічно небезпечних ситуацій шляхом визначення параметрів процесів їх формування, виділяються кінцеві ситуації «дерева подій», ймовірність яких перевищує прийнятну;

– проводиться економічний аналіз і розрахунки, що дозволяють визначити кількісні показники збитків для виділених ситуацій, визначається масив значень збиток-ймовірність, для якого формується FG гістограма;

– визначаються значення прийнятного ризику, абсолютно неприйнятного збитку і кордон неприйнятного збитку, виділяються діапазони шкоди, що перевищують лінії Фармера;

– для виділених діапазонів проводиться аналіз і відбираються всі можливі ситуації, збитки від яких лежить у межах виділених діапазонів, приймається рішення про достатність або надмірність відповідних заходів безпеки;

– для діапазонів, при яких заходи безпеки визнані недостатніми, проводиться аналіз і розробляються технічні і організаційні заходи, рекомендовані для зміни рівня безпеки, проводиться економічний аналіз пропонованих заходів;

– проводиться додатковий аналіз і вносяться зміни в «дерева відмов» і «дерева подій», що відображають запропоновані заходи;

– розрахунки і аналіз тривають в циклі до тих пір, поки рішення про достатність заходів безпеки буде досягнуто.

2.2 Ідентифікація джерел викидів шкідливих речовин в регіоні

У загальному випадку пропонований підхід до ідентифікації джерел викидів шкідливих речовин передбачає виконання двох основних етапів:

– виділення з існуючої множини потенційних джерел викидів підмножини можливих джерел за даними метеослужб;

– ідентифікація джерела викидів з використанням методів групування інформації.

Досліджуваний регіон, як об'єкт екологічного моніторингу, зазвичай має такі особливості:

– наявність підприємств, що використовують у своїй технології різні типи забруднюючих речовин;

– наявність різних груп забруднень, що робить неможливим використання єдиної моделі і веде до необхідності виконання комбінаторного перебору при аналізі станів;

– сильний взаємозв'язок забруднюючих речовин і їх проявів, що значно ускладнює знаходження вирішальних правил.

Припустимо, що в зоні екологічного моніторингу знаходиться декілька постійно діючих джерел забруднення атмосфери з відомою потужністю. Ці джерела створюють поле концентрації забруднюючої речовини, конфігурація якого залежить від метеорологічних умов. Розглянемо ситуацію, коли відомі розташування джерел x_i і можливі діапазони їх потужності. Дія джерел створює на аналізованій території область підвищених концентрацій, які реєструються в декількох точках. За цими даними необхідно відновити поле концентрації забруднення на території даного регіону, а потім ідентифікувати джерело забруднення.

Особливістю такого завдання є те, що в силу об'єктивних причин в певних точках регіону відсутні необхідні датчики первинної інформації, або існуючі засоби вимірювань не забезпечують отримання необхідної інформації. У таких ситуаціях необхідно використовувати інформаційні технології, які дозволяють на основі комп'ютерної обробки нечіткої вхідної інформації отримати необхідні дані для управління.

У загальному випадку при розробці алгоритмів групування інформації для цілей ідентифікації необхідно вирішити такі завдання:

– поділ загальної множини подій на групи (кластери);

– виділення в кожній групі головного об'єкта.

Ці завдання можуть бути вирішені шляхом побудови графа взаємозв'язків об'єктів групування (із зазначенням відстаней між ними) з подальшим пошуком на цьому графі множин вершин, які відповідають властивостям груп.

Для формалізації і рішення таких задач введемо деякі позначення і допущення.

Нехай заданий n-вершинний дводольний граф $G(H,P,E)$ (рис.2.1), в якому вершини першої долі $H=\{h_1,....h_i,...h_n\}$ є множиною забруднюючих речовин; $i=1,...,n$ – індекс, яким пронумеровані всі забруднюючі речовини; вершини другої долі $P=\{p_1,...p_j,...,p_m\}$ є множиною джерел викидів (передумов), $j=1...,m$ – індекс, яким пронумеровані всі можливі джерела викидів; $E=\{e\}$ – множина ребер.

Графу G відповідає деяке бінарне нечітке відношення P_G, що складається з усіх пар виду $<h_i,p_j>$, для кожної з яких визначено деяке дійсне число з інтервалу [0,1], яке дорівнює значенню функції належності $\mu_G(e_k)$ для дуги $e_k \in E$, що відповідає цій парі вершин.

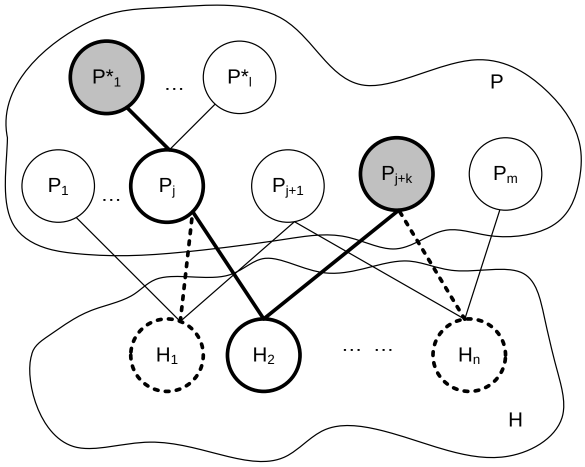

Рисунок 2.1 – Графова модель задачі ідентифікації джерела викидів

Позначимо через C_{ou} вартість помилки, яка представляє собою визначену експертами величину, що залежить від обраного напрямку пошуку (за найбільш небезпечним видом забруднюючих речовин, за найбільш ймовірним джерелом викидів тощо), а через k_y – коефіцієнт впевненості, який визначається як відношення кількості контрольованих джерел викидів на виділеній множині до загальної кількості можливих джерел, викликаних появою *i*-ї забруднюючої речовини.

Графова постановка представляє собою задачу покриття дводольного графу G(H,P,E) підграфом G'(H',P',E'), що містить тільки множину вершин, виділених в результаті виявлених викидів, причому допустиме рішення є впорядкованою множиною, що характеризує всі можливі джерела при заданому пороговому значенні стійкості зв'язку (ступеня належності $\mu_G(<h_i,p_i>)$), кожна компонента якого об'єднана в групу $g^i=(\{h_i\},P^i,E^i)$, $h_i \in H'$, $P^i \;\delta\; P'$, $E^i \;\delta\; E'$ з центром в деякій вершині h_i з першої долі і множиною P^i вершин з другої долі P.

На множині допустимих рішень графа G визначена цільова функція F, що є узагальненим критерієм оптимальності [18]:

$$\mathrm{F}_{\Sigma}(\omega, R(x)) = \sum_{i=1}^{2} \omega_i R_i(x) \to \min, \tag{2.10}$$

де $R(x)=\{R_1(x),R_2(x)\}$ – вектор локальних критеріїв ризику;

$\omega=\{\omega_1,\omega_2\}$ - вагові коефіцієнти відносної важливості локальних критеріїв:

$$0<\omega_i<1 \text{ та } \sum_{i=1}^{2}\omega_i=1. \tag{2.11}$$

Вагові коефіцієнти для окремих критеріїв підбираються на основі експертних оцінок. Завдання другого рівня полягає в тому, щоб знайти таке рішення, при якому виявляються малими як ризик R_1,так і ризик R_2.

Відповідно до введених критеріїв, це означає вибір такої послідовності передумов, щоб на множині допустимих рішень графа G' отримати максимальну величину коефіцієнта впевненості пошуку *(k_y)* при мінімальній ціні помилки (C_{ou}):

$$\begin{aligned} &\mathrm{k_д} \to \max \\ &C\partial=\sum C(p_j)\to \min. \end{aligned} \tag{2.12}$$

Метод групування інформації включає 3 стадії знаходження рішення. На початковому етапі для кожного зареєстрованого відхилення змінної проводиться процедура попереднього групування. Для вирішення першої частини завдання використовуються основні властивості нечітких відносин, зокрема узагальнення поняття α-рівня, під яким розуміється відношення:

$$P\alpha=\{(\langle hi,pj\rangle|\mu X\langle hi,pj\rangle)\geq\alpha\},\ (\forall \langle hi,pj\rangle \in PG), \tag{2.13}$$

де α – деяке дійсне число з інтервалу [0,1], тобто $\alpha \in [0,1]$.

Слід зазначити деякі особливості використовуваної моделі, а саме дворівневу структуру однієї з долей графа, яка обумовлена такими об'єктивними факторами: множина забруднюючих речовин P може містити як прості (містять лише одну вершину) так і складові P^*, $P^* \subseteq P$ передумови, існування яких обумовлено широким складом викидів, при цьому безліч складових передумов описано у вигляді бінарних нечітких відносин:

$$H \times P^*: P_1 = \{<\mathrm{h_i}, p_l^* >, \mu(< h_i, p_l^* >)\}, \tag{2.14}$$

та

$$P^* \times P: P_2 = \{< p_l^*, p_j >, \mu(< p_l^*, p_j >)\}. \tag{2.15}$$

Для зменшення трудомісткості алгоритмів пошуку процес аналізу складних передумов оформляється у вигляді композиції бінарних нечітких відносин $H \times P$: $\mathrm{P_1} \otimes \mathrm{P_2}$ з функцією належності, яка визначається операцією максимінної згортки нечітких відносин:

$$\begin{aligned} &\mu_{P_1 \otimes P_2}(< h_i, p_j >) = \max_{p^*{}_j \in P}\{\min\{\mu_{P_1}(< h_i, p_l^* >), \mu_{P_2}(< p_l^*, p_j >)\}, \\ &\forall < h_i, p_j > \in H \times P. \end{aligned} \tag{2.16}$$

Таким чином, кожному кортежу нечіткого відношення $<h_i,p_j> \in \mathrm{P_G}$ буде відповідати дуга графа $e_k=<h_i,p_j>$ з початком в вершині h_i, кінцем в вершині p_j і значенням функції належності $\mu_P(<h_i,p_i>)$ (рис. 2.2).

Далі, для кожного зареєстрованого відхилення змінної формуються нечіткі матриці, які декомпозуются на відносини еквівалентності, що представляють собою відповідні α-рівні. Для всіх можливих α-рівнів будується система класів (груп), що включають можливі джерела викидів. Дана процедура передбачає увазі розподіл вихідної множини рішень на групи за принципом належності α-рівня. Результати виконання алгоритму попереднього угруповання можуть бути використані як вихідні дані для вирішення завдання оптимізації, або як попередні результати ідентифікації.

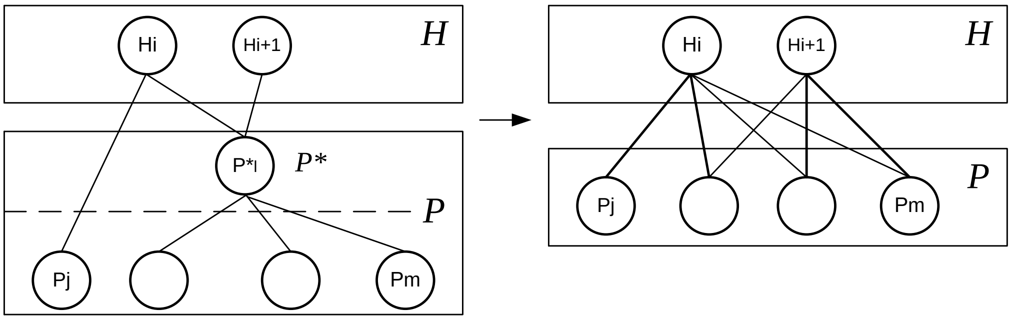

Рисунок 2.2 – Модель задання нечітких відносин

Другий етап – процедура упорядкування вершин графа. Цей етап виконується тільки при наявності двох і більше зареєстрованих відхилень змінних (забруднюючих речовин).

Шукана послідовність залежно реєстрованих забруднюючих речовин від можливих джерел, що їх викликають (передумов і висновків), може бути отримана відповідною перенумерацією вершин дводольного графа таким чином, щоб зв'язкові вершини розташовувалися якомога ближче одна до одної (що еквівалентно мінімізації сумарної довжини ребер у відповідному зображенні графа).

Процедура упорядкування вершин нечіткого дводольного графа передбачає виконання перенумерації рядків і стовпців його матриці за такої умови: чим більше значення елемента, тим ближче він повинен бути до головної діагоналі. Формально ця мета є завданням мінімізації функції $(m + 1)$ $(n + 1)$ змінних:

$$J(h_0,...,h_n, p_0,..., p_m) = \sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{m}\mu_{ij}(p_j - h_i)^2 \to \min_{p_j, h_i}, \qquad (2.17)$$

де μ_{ij} – елемент матриці нечіткого графа, що визначає ступінь зв'язності i-ї вершини з j-ю;

p_j і h_i – номера (координати) рядків і стовпців, що упорядковуються.

Знявши обмеження на цілочисельність координат p_j і h_i, дозволимо рядках і стовпцях розташовуватися довільним чином на площині. У цьому випадку

(2.17) має тривіальне рішення: $J_{min} = 0$ при $p_j = h_i \quad \forall i,j$. Для запобігання стягування рядків і стовпців в точку, вводиться таке обмеження:

$$\max_{j,l}\left\{\left|p_j - p_l\right|\right\} = m. \tag{2.18}$$

Розв'язок задачі умовної оптимізації (2.17) може бути оформлено у вигляді ітераційного процесу з використанням методу проекції градієнта.

Упорядкована матриця дозволяє кожному зареєстрованому порушенню зіставити список можливих причин (діагнозів) в послідовності віддалення від головної діагоналі. З її допомогою можна також визначати групові вклади найбільш близьких пар «висновок-передумова», формуючи уздовж діагоналі блоки заданих розмірів.

На заключному етапі вирішується завдання багатокритеріальної оптимізації з остаточним ранжуванням локальних оцінок в послідовності зменшення їх важливості відповідно до обраних критеріїв пошуку. Перед вирішенням цього завдання проводиться нормалізація локальних критеріїв. Для цього приймається додаткова шкала вимірювання $[\beta,\phi]$=[1,2]. Вектори нормованих величин коефіцієнта впевненості пошуку і нормованих величин вартості помилки формуються з локальних значень і визначаються за такими формулами:

$$K_{\mathrm{N}}^{(\mathrm{Pi})} = \frac{k_{\text{у}}^{(Pi)} - \min k_{\text{у}}}{\max k_{\text{у}} - \min k_{\text{у}}}(\phi - \beta) + \beta, \tag{2.19}$$

$$C_N^{(Pi)} = \frac{C^{(\mathrm{Pi})} - \min C_{ou}}{\max C_{ou} - \min C_{ou}}(\beta - \phi) + \phi, \tag{2.20}$$

де $k_{\text{у}}^{(Pi)}$ – значення коефіцієнта впевненості пошуку;

$\max k_{\text{у}}$, $\min k_{\text{у}}$ – відповідно максимальне і мінімальне значення коефіцієнта впевненості пошуку;

$C^{(Pi)}$ – значення ціни помилки;

$\max C_{ou}$, $\min C_{ou}$ – відповідно максимальне і мінімальне значення ціни помилки.

Після нормування локальних показників визначення найбільш критичних вершин зводиться до вирішення однокритеріальної задачі оптимізації виду:

$$F = \max(\omega_1 K_N + \omega_2 C_N). \tag{2.21}$$

Це завдання може бути вирішене за допомогою методу згортання векторного критерію. Цикл групування завершується поданням послідовності діагностованих порушень екології у вигляді ланцюжків передумов, близьких до шуканого рішення. Розглянемо рішення задачі на прикладі (рис. 2.3).

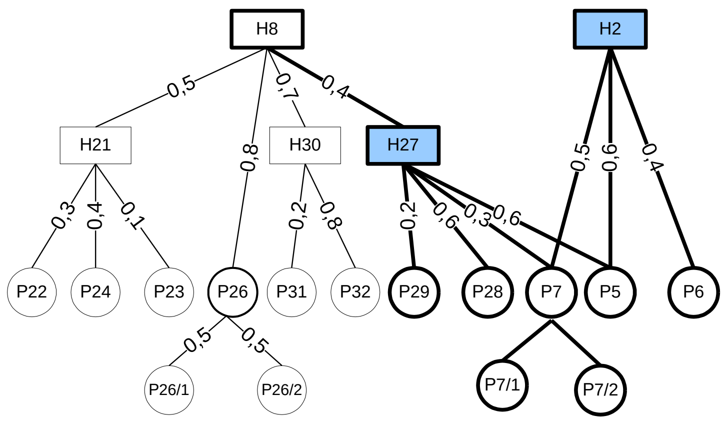

Рисунок 2.3 – Фрагмент узагальненої моделі (приклад)

За результатами безпосередніх вимірів і обчислень з наявної множини вершин виділяється підмножина *D* $(D \subset P,\ |D| = \theta)$, що характеризує зареєстровані забруднюючі речовини *H8* і *H27*.

При цьому нечіткий упорядкований граф G(*P*,*M*) перетворюється в граф G'(*H',P',E'*), що містить лише множину вершин, виділених при виявленні порушень в заданих обмеженнях (рис. 2.4).

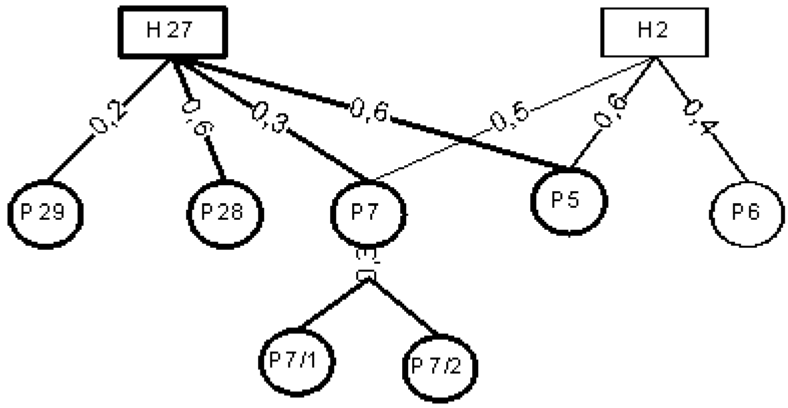

Рисунок 2.4 – Граф, що містить вершини з зареєстрованими відхиленнями

Для кожного зареєстрованого відхилення, відповідно до послідовності їх виявлення, виконуються наступні операції.

Розглянутий на рисунку 2.4 нечіткий граф *G*'(*H*',*P*',*E*') представляється у вигляді списку наступним чином: *G*'(H27)={(<29,27>|0,2), (<28,27>|0,6), (<7,27>|0,3), (<7/1,7>|0,3), (<7/2,7>|0,3), (<5,27>|0,6), (<30,5>|0,5)}.

Будується матриця досяжності *G*, виходячи з правил побудови шляху в нечіткому кінцевому графі.

На множині причин порушень для даної змінної (H27) будується нечітка матриця перевірок *M*. Далі, для визначення множини, що визначає вектор-рядок матриці перевірок, визначається перетин нечіткої множини вихідної матриці по стовпцю і по рядку.

З огляду на основні властивості бінарних нечітких відносин, нечітка матриця перевірок *H* приводиться до множини, що складається з 0 і 1 та є α-рівнем нечіткої множини матриці *H*, а далі записується у вигляді чітких матриць *M*.

Для всіх можливих α-рівнів будується система класів, що описують можливі джерела викидів. Система вкладених класів для розглянутого прикладу представлена в табл.2.1.

Результати виконання алгоритму групування можуть бути використані як вихідні дані для вирішення завдання оптимізації або як попередні результатів діагностування забруднення. Отримані групи (класи) можуть інтерпретуватися користувачем (оператором) як зони можливих порушень, які потребують особливої уваги.

Таблиця 2.1 – Система вкладених класів для зареєстрованих відхилень

Порушення	Значення α-рівня	Кількість класів	Опис класів
H_{27}	0,2	5	$\{H_{27}, P_{7/1}, P_7\}$, $\{H_{27}, P_{7/2}, P_7\}$, $\{H_{27}, P_{28}\}$, $\{H_{27}, P_{29}\}$, $\{H_{27}, P_5\}$
	0,3	3	$\{H_{27}, P_{28}\}$, $\{H_{27}, P_{29}\}$, $\{H_{27}, P_5\}$
	0,5	2	$\{H_{27}, P_{28}\}$, $\{H_{27}, P_5\}$
	0,6	1	$\{H_{27}, P_{28}\}$, $\{H_{27}, P_5\}$
H_2	0,4	3	$\{H_2, P_5\}$, $\{H_2, P_6\}$, $\{H_2, P_7\}$
	0,5	2	$\{H_2, P_5\}$, $\{H_2, P_7\}$
	0,6	1	$\{H_2, P_5\}$

Як видно з наведеного прикладу при α = 0,5 з розгляду випадають відразу дві мультидуги системи, що скорочує кількість вершин-класів з 5 до 2.

Далі матриці окремих висновків і передумов об'єднуються в підсумкову матрицю. Ітеративний алгоритм упорядкування по зв'язності вершин дводольного графа G=(H,P,E) полягає в почерговій фіксації однієї з груп уздовж координатної осі і переміщення кожної вершини іншої групи в геометричний центр координат пов'язаних з нею вершин протилежної групи. Впорядкування вершин дводольного графа еквівалентно приведенню його матриці суміжності до виду, в якому ненульові елементи зосереджуються біля головної діагоналі.

Для оперативного групування інформації уточнюються значення мінімального рівня стійкості зв'язку (α - рівень) (за замовчуванням, в системі встановлюється значення α = 0,5). З огляду на порогове значення α - рівня з множини результатів алгоритму попередньої угруповання вибирається відповідна чітка матриця перевірок M_α, в якій видаляються нульові стовпці і рядки. Решта стовпців матриці інтерпретуються як визначальні елементи можливих джерел виникнення порушень. Для всіх елементів залишившихся стовпців матриці M_α обчислюється нормоване значення ціни помилки. Ціна помилки ідентифікації вибирається, виходячи з обраного напрямку пошуку: по найбільш небезпечним викидам, по найбільш частим порушенням тощо (в розглянутому прикладі вибрано напрямок пошуку по найбільш небезпечним викидам).

Для всіх елементів стовпців матриці *Hα* α, що залишилися, обчислюються поточне і нормоване значення коефіцієнта впевненості пошуку на множині $D \cup V$. Поточне значення коефіцієнта обчислюється за формулою:

$$k_{\text{у}} = \frac{\mathrm{T}(D \bigcup V)}{\mathrm{T}(D)}, \tag{2.22}$$

де $\mathrm{T}(D)$ – загальне число можливих порушень на досліджуваній множині *D*,

$\mathrm{T}(D \bigcup V)$ – число контрольованих порушень на виділеній множині.

T визначається, виходячи з кількості вершин в активізованих множинах: $\mathrm{T} = 2^n - 1$, де *n* – потужність відповідної множини, активізованої появою P_i.

Результати обчислень представлені в табл. 2.2 (ЦФ – цільова функція).

Аналізуючи отримані результати угруповання, можна зробити такий висновок: представлення нечіткої матриці перевірок *M* у вигляді відношення подібності дає можливість організувати процедуру пошуку відхилень в нечіткому графі G * (V, E) по частинах, уникаючи повного комбінаторного перебору.

Таблиця 2.2 – Результати угрупування

Пара-метр	Ціна похибки ідентифікації		Коефіцієнт впевненості пошуку		ЦФ
	Експерт. величина	Нормована величина	Фактичне значення	Нормоване. значення	
Pi	*C(Pi)*	$C_N^{(Pi)}$	$k_\partial^{(Pi)}$	$K_N^{(Pi)}$	F
P5	6	1,6	0,032	2	1,76
P7	7	2	0,016	1	1,6
P28	9	1	0,016	1	1

Однак при цьому можливі випадки, коли реальне джерело викидів буде проігноровано, на що вказує розрахункове значення коефіцієнта впевненості пошуку. Крім того, необхідно відзначити, що пропонований підхід використовує обмежену кількість елементів, що входять в множини передумов (можливих джерел) і висновків (проявів порушень). Якість аналізу сукупності ознак прямо пов'язана з повнотою моделі, яка має бути правдоподібною, але в той же час простою та компактною.

2.3 Вибір засобів реалізації системи екологічного моніторингу

За результатами аналізу сучасних технологій для побудови та реалізації системи екологічного моніторингу було обрано мови програмування PHP, Python, JS (Angular), віртуальну машину Docker, продукти Azure, бази даних MongoDB та Redis, а також системууправління базами даних MSSQL Server.

2.3.1 Мови програмування

Python – високорівнева скриптова мова програмування, відмінною рисою якої є універсальність, тому вона підходить для вирішення найрізноманітніших завдань. Сьогодні вона застосовується в багатьох IT-сферах, таких як Machine learning, розробка веб-додатків, нейронних мережами тощо.

Python є інтерпретованою мовою програмування, яка не компілюється. Таким чином, до запуску вона є звичайним текстовим файлом та дозволяє програмувати майже на всіх платформах. Python вважається найбільш затребуваним мовою в Data Science. З його допомогою пишуть алгоритми ML-програм і аналітичні програми. Також з його допомогою обслуговують хмарні сервіси і сховища даних [9].

Головною перевагою мови PHP є практичність. Практичний характер PHP обумовлений п'ятьма важливими характеристиками:

– традиційністю;
– простотою;
– ефективністю;
– безпекою;
– гнучкістю.

PHP – це мова програмування з відкритими початковими кодами (Open Source). Дуже важлива перевага PHP полягає в його «движку». «Движок» PHP є трансльованим інтерпретатором. Такий пристрій «движка» PHP дозволяє обробляти сценарії з достатньо високою швидкістю. PHP надає в розпорядження розробників і адміністраторів гнучкі і ефективні засоби безпеки, які умовно поділяються на дві категорії: засоби системного рівня і засоби рівня додатки [10].

Для створення веб-додатку обрана мова JavaScript. Це мова програмування є прототипно-орієнтованою. Найчастіше ця мова використовується в розробці додатків і браузерах з метою надання їм інтерактивності і «жвавості».

За допомогою нього доступні до виконання наступні функції:

– можливість змінювати сторінки браузерів;
– додавання або видалення тегів;
– зміна стилів сторінки;

– інформація про дії користувача на сторінці;

– запит доступу до випадкової частини вихідного коду сторінки;

– внесення змін до цього код;

– виконання дії з cookie-файлами.

Жоден сучасний браузер не обходиться без підтримки JavaScript. У якості фреймворку обрано Angular.js. Angular має велику кількість різноманітних функцій, причому:

– функції взаємозалежні;

– інформацію можна отримувати безпосередньо, а не через третіх осіб;

– представлена можливість працювати окремо в одному розділі програми, використовуючи наявні дані;

– мінімальний ризик помилок [11].

2.3.2 Система віртуалізації

Docker – це програмне забезпечення для автоматизації розгортання і управління додатками в середовищах з підтримкою контейнеризації. Здійснюючи процес автоматизації розгортання програми, Docker може запропонувати користувачеві наступні можливості:

– ізоляція запущених додатків. Можна відокремити ваше додаток від ОС хоста і звертатися з ним як з керованим додатком;

– полегшення процесу розробки, тестування і розгортання додатків;

– немає необхідності в конфігурації середовища для запуску – вона поставляється разом з додатком [12].

Docker – це набір продуктів платформи як послуги (PaaS), що використовує віртуалізацію на рівні ОС для доставки програмного забезпечення в пакетах, званих контейнерами. Контейнери ізольовані один від одного і об’єднують власне програмне забезпечення, бібліотеки та файли конфігурації; вони можуть спілкуватися між собою за чітко визначеними каналами.

2.3.3 Картографічний сервер

GeoServer є картографічним сервером з відкритим вихідним кодом, який серед багатьох інших можливостей реалізує наступні специфікації OGS: WMS, WFS, WCS. GeoServer реалізує специфікацію WFS-T (WFS-Transaction). Це означає, що використовуючи GeoServer, ви можете не тільки отримувати дані для побудови на їх основі власних карт, але також редагувати отримані дані з подальшим автоматичним оновленням вихідної інформації на сервері. Серед підтримуваних форматів значаться: JPEG, PNG, SVG, KML / KMZ, GML, PDF, ESRI Shapefile і інші.

Іншою цікавою особливістю є поставка з GeoServer візуальної системи управління файлами налаштувань і опису даних для проектів GeoServer. Ця система реалізована у вигляді веб-інтерфейсу і надає користувачеві можливість інтерактивного створення та зміни розроблювального картографічного ресурсу [13].

GeoServer – це сервер із відкритим кодом для обміну геопросторовими даними. Розроблений для сумісності, він публікує дані з будь-якого основного просторового джерела даних, використовуючи відкриті стандарти.

2.3.4 Бази даних та системи керування ними

Бази даних – це сховища, в яких містяться великі масиви інформації. Серед всіх баз даних були обрані реляційні і нереляційні, найбільш масштабовані та ефективні бази даних. Було обрано СУБД MongoDB для зберігання документів, MSSQL Server та Redis для керування геопросторових даних.

MSSQL Server – це реляційна система управління базами даних, розроблена корпорацією Майкрософт. Як сервер баз даних, це програмний продукт з основною функцією зберігання та отримання даних, як вимагають інші програмні програми, – який може працювати як на одному комп'ютері, так і на іншому комп'ютері в мережі. Підтримка геопросторових даних та робота з ними. Система баз даних використовуватиме балансування навантаження та кластеризацію.

MongoDB – це міжплатформна програма, орієнтована на документи, база даних. Класифікований як програма баз даних NoSQL, MongoDB використовує подібні до JSON документи зі схемою.

Redis – це сховище структури даних у пам’яті, що використовується як база даних, кеш-пам’ятки та посередник повідомлень. Він підтримує такі структури даних, як рядки, хеші, списки, набори, відсортовані набори з запитами діапазону, растрові зображення, геопросторові індекси із запитами радіуса та потоками.

2.3.5 Хмарна платформа Microsoft Azure

Microsoft Azure реалізує хмарні моделі платформи як сервісу (PaaS) та інфраструктури як сервісу (IaaS). Можливе використання як сторонніх, так і сервісів Microsoft в якості моделі ПО як сервісу (SaaS). Працездатність платформи Microsoft Azure забезпечує глобальна мережа розподілених дата-центрів Microsoft. Крім базових функцій операційних систем, Microsoft Azure має і додаткові: виділення ресурсів на вимогу для масштабування, автоматичне синхронну реплікацію даних для підвищення відмовостійкості, обробку відмов інфраструктури для забезпечення постійної доступності та інше. Модель надання інфраструктури (IaaS) реалізує можливість оренди таких ресурсів, як сервери, пристрої зберігання даних та мережеве обладнання. Управління всією інфраструктурою здійснюється постачальником, споживач управляє тільки операційною системою і встановленими додатками [14].

Azure Event Hubs – це велика платформа для потокового передавання даних та служба передачі подій. Він може приймати і обробляти мільйони подій в секунду. Дані, що надсилаються до центру подій, можуть бути перетворені та збережені за допомогою будь-якого постачальника аналітики в режимі реального часу або адаптерів пакетного / зберігання даних.

Azure Stream Analytics – це аналітика в реальному часі та складний механізм обробки подій, який призначений для аналізу та обробки великих обсягів швидкого потокового передавання даних з кількох джерел одночасно.

База даних SQL Azure - це інтелектуальна, масштабована служба хмарних баз даних, яка забезпечує найширшу сумісність движка SQL Server.

Azure Batch AI – це керована послуга, яка дозволяє вченим даних та дослідникам AI навчати AI та інші моделі машинного навчання на кластерах віртуальних машин Azure, включаючи віртуальні машини з підтримкою графічного процесора.

Реєстр контейнерів Azure дозволяє створювати, зберігати та керувати зображеннями та артефактами контейнерів у приватному реєстрі для всіх типів розгортання контейнерів. Використовуйте реєстри контейнерів Azure з існуючими конвеєрами розробки та розгортання контейнерів. Використовуйте завдання реєстру контейнерів Azure для створення образів контейнерів у Azure на вимогу або автоматизуйте збірки, що ініціюються оновленнями вихідного коду, оновленнями базового образу контейнера або таймерами.

3 СТРУКТУРА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ

3.1 Загальна структура системи

Система екологічного моніторингу стану довкілля має включати в себе максимально ефективні та затребувані модулі, які завдяки своїми принципами роботи зможуть сприяти вирішенню проблеми екологічного моніторингу. Отже, слід говорити про рентабельність даної системи, яка ймовірно зможе скласти конкуренцію вже існуючим, схожим за своєю метою. Таким чином систему умовно слід розділити на такі модулі, як збір даних, обробка даних, виведення даних та модуль основних функцій для відображення та/або управління даними. Всі модулі з’єднані між собою. Модульну структуру системи представлено на рис. 3.1.

Рисунок 3.1 – Модульна структура системи екологічного моніторингу

3.2 Модуль «Збір даних»

3.2.1 Збір даних датчиків з концентратора

Система повинна мати можливість збирати різні формати даних з різних джерел, таких як повітря, запахи, шум, метрологічні дані, станції каналізаційних мереж, сільськогосподарські мережі, морські станції, станції моніторингу підземних вод, портативні машини для моніторингу навколишнього середовища, екологічна лабораторія та лабораторне обладнання. Система має використовувати віддалені виклики процедур із серверних додатків на пристрої, та навпаки. Ця функція дозволяє надсилати команди на пристрої та отримувати результати виконання команд. Запит від пристроїв може вимагати деяких обчислень або іншої логіки на стороні сервера та відправляти відповідь назад на пристрій.

3.2.2 Інтеграція системи електронного моніторингу з підрозділами галузі

Система повинна бути підключена до електронних системи моніторингу з відповідальними підрозділами галузі за допомогою API (Application Programming Interface), та регулярно отримувати форми перевірки, аналізувати дані, порівнювати отримані дані з історичними даними за допомогою модуля аналізу даних, та надсилати результати до системи електронного моніторингу.

3.3 Модуль обробки даних

Система має перевіряти точність та якість вихідних даних перед їх обробкою, тобто створити послідовні, точні та повні дані, щоб запобігти їх втраті та помилкам під час обробки.

Перевірка даних буде виконана за допомогою сценаріїв перевірки. Основними етапами перевірки даних є:

– перевірка зворотного циклу джерела системи, яка виконує сукупну перевірку предметних областей та переконується, що вона відповідає джерелу даних, що походять;

– поточна перевірка від джерела до джерела. Приблизна перевірка в кількох вихідних системах або порівняння подібної інформації на різних етапах життєвого циклу процесу;

– відстеження помилок даних, яке допомагає відстежувати всі помилки в одному місці, знаходити повторювані проблеми, виявляти більш ризиковані області та допомагати забезпечити застосування належних профілактичних заходів;

– збір статистичних даних допомагає визначити несподівані результати;

– управління робочим процесом. Адміністратор може налаштувати робочий процес перевірки даних саме для потреб програми.

Система має зберігати керівні принципи, стандарти, та інструкції, що відповідають міжнародним та/або стандартам закладу. Тому користувач повинен мати можливість переглядати/редагувати/додавати інструкції та стандарти. Також ці стандарти повинні враховуватись під час аналізу даних та в процесі прийняття рішень.

3.4 Модуль аналізу даних

Система виконує просторовий аналіз за допомогою алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту. Аналіз даних повинен враховувати наступні принципи:

– просте виконання алгоритму виконання;

– ефективна обробка даних;

– можливість додавання нового джерела даних;

– порівняння результатів.

На цьому етапі слід розрахувати (масштабування, коригування, лінеаризація, нормалізація) та агрегувати дані. Аналіз даних допомагає визначити середні показники, мінімуми, максимуми, залежності та помилки управління та перевищення порогових значень.

Система буде виконувати наступні етапи аналізу:

– вивчення постановки проблеми, дослідження можливих джерел даних;

– вибір метрик для якості прогнозування;

– написання сценаріїв збірки і розгортання оточення для навчання та використання в режимі реального часу;

– створення алгоритму машинного навчання;

– покращення якості алгоритму (уточнення метрик, залучення додаткових даних).

Аналіз даних має виконуватися з використанням методів машинного навчання.

При прогнозуванні даних та видачі рекомендацій система повинна враховувати дані з:

– систем електронного моніторингу відповідальних підрозділів галузі;

– державних установ та стандартів;

– датчиків;

– систем відстеження завдань.

Система має аналізувати дані датчиків та систем електронного моніторингу відповідальних підрозділів галузі, порівнювати їх зі стандартами та історичними даними та будувати прогнози для часових рядів. Також система повинна аналізувати дії, що виконуються, їх результати та вплив, та надавати рекомендації на основі цього.

Використовуючи методи машинного навчання та штучний інтелект для обробки даних, буде використаний метод технічного аналізу. Мета полягає в тому, щоб зрозуміти, чи може алгоритм точно визначати закономірності поведінки моделі в часі. Машинне навчання також буде використано для оцінки та прогнозування поведінки моделі для подальшого використання у фундаментальному аналізі.

Модель прогнозування включає в себе:

– отримання точного короткострокового прогнозування, яке може спричинити негативні дії в місці розташування;

– врахування тенденцій та пори року;

– автоматизування звітів, що дозволяють економити час та ресурси для місця розташування системи;

– забезпечення діючими даними, завдяки підвищення частоти використання прогнозування.

3.5 Модуль виведення даних

Система повинна мати інформаційні панелі для представлення даних користувачу. Користувач за допомогою інформаційних панелей може виконувати швидку діагностику проблем системи, подані дані повинні вказувати безпосередньо на ймовірне джерело проблеми, налаштовувати відображення даних, а саме змінювати зовнішній вигляд та застосовувати фільтрацію, отримувати збалансовані попередження, а також отримувати рекомендації щодо того, що вони можуть зробити щодо проблеми.

Дані можуть бути представлені у різних форматах, наприклад, діаграма, таблиці, графіки, тощо.

3.6 Модуль ГІС

Використання ГІС-модулю в системі буде дуже наглядним та корисним при моніторингу системи. Користувач може бачити шари карти, плитки, маркери, спливаючі вікна, накладання зображень, групи шарів. Також за допомогою модулю користувач може працювати з даними з різних сховищ даних, наприклад:

– векторні сховища даних: Shapefiles, зовнішні WFS, PostGIS, ArcSDE, DB2, Oracle Spatial, MySql, SQL Server;

– растрові сховища даних: GeoTiff, JPG та PNG, формати GDAL, Oracle GeoRaster, NetCDF.

Завдяки наявності такого модулю в системі, користувач має можливість відстежувати стан пристроїв у різноманітних установах, районах, природних ресурсах.

3.7 Модуль звітності

За допомогою модулю звітності користувач системи може створювати звіти на основі існуючих інформаційних панелей, встановлювати одержувачів згенерованих звітів, керувати шаблонами звітності та експортувати звіт у різні формати, наприклад, csv, pdf, doc, xls.

3.8 Модуль основних функцій для відображення та/або управління даними

Завдяки модулю управління завданнями, користувачі можуть отримати доступ до системи управління завданнями за своїми обліковими даними та роллю, та виконувати різні дії із завданнями залежно від їхніх дозволів, наприклад створення, перегляд, підписання, оновлення, видалення завдань, встановлювати терміни для завдань, додавати коментарі до завдання, додавати документи до завдання, призначати завдання іншим користувачам, виконувати завдання, отримувати сповіщення про зміни статусу потрібного завдання.

Система сповіщень призначена для сповіщення та/або попередження користувачів системи про зміни в завданнях, пристроях моніторингу, звітах.

До функцій управління користувачами існують певні обмеження, адже тільки адміністратор системи має доступ до нього. Адміністратор може встановити вимоги до пароля, такі як довжину пароля, частоту його зміни, встановлення необхідної складності пароля для користувачі. Також адміністратор має встановити тривалість сеансу користувача, відслідковувати сеанси користувачів за параметрами, такі як відмітка часу, кількість спроб входу, неактивний вихід із сеансу, блокування екрана за допомогою програми, відмова від повторного або повторного використання того самого пароля.

Адміністратор може створювати, переглядати, оновлювати, видаляти, встановлювати або замінювати роль в облікових записах, а також групувати користувачів і встановлювати роль для всієї групи.

3.9 Сторонні інтеграції

Система може бути інтегрована з іншими системами. Щоб зробити інтеграцію можливою, програма повинна відповідати таким вимогам:

– вичерпна документація. Вся інформація, різні варіанти використання, крайні випадки та багато іншого містяться в документації для більшості документації щодо API;

– репозиторій Github для переліку кінцевих точок API, щоб продемонструвати його функціональність та використання;

– білий список IP-адресів: кінцеві точки повинні бути доступними. Додайте в білий список IP-адреси для тестування прийнятності користувачів відповідно до вимог нових користувачів, щоб API не був доступним для широкої громадськості;

– вимоги до сертифікації. Джерела API вимагають пройти процес сертифікації або продемонструвати використання API в середовищі UAT перед наданням доступу до виробництва.

3.10 Керування пристроями моніторингу

Модуль керування пристроями призначений для управління пристроями моніторингу системи. Користувач має можливість призначати атрибути пристроям, завантажувати дані з пристроїв, перевіряти стан підключення пристрою, планувати деякі дії за допомогою модуля планування, має можливість змінити права на пристрої моніторингу.

3.11 Модуль планування

Функціонал модулю планування може відрізнятися залежно від ролі користувача. Основною функцією модулю є планування різноманітних видів подій з можливістю гнучких налаштувань розкладу для користувачів.

Типи подій в системі створює адміністратор. Під час створення користувач може вибрати тип події та параметри конфігурації події відповідно до обраного типу події. Додатковими параметрами у події можуть бути параметри повторення події та дати завершення повторюваних подій.

Користувач може переглядати, оновлювати та видаляти події, запланувати подію для пристрою чи групи пристроїв, залежно від своїх прав доступу, отримувати повідомлення про події відповідно до свого розкладу, створювати власні типи подій та використовувати їх повторно.

4 РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

4.1 Загальна характеристика системи

Розглядаючи інші рішення, які були створені з такою ж метою, то слід виділити що немає еталонного прикладу такого типу системи. Всі існуючі системи є кастомними розробками та/або можуть використовуватися в обмеженому або закритому доступі. Тому вони не є конкурентними і їх рентабельність досить абстрактна.

В результаті програмної реалізації описаних вище модулів була отримана система для моніторингу природних ресурсів та стану довкілля (особливо в промислових регіонах) у режимі реального часу. Для цього з технічного боку система забезпечена архітектурою та базою даних, що легко масштабуються та підтримуються, а також IoT пристроями.

Архітектура запропонованого варіанту системи екологічного моніторингу передбачає можливість практичної реалізації розглянутих вище завдань, що реалізуються з використанням засобів обчислювального інтелекту, а саме: завдання оцінювання рівня екологічної безпеки довкілля та завдання ідентифікації джерел шкідливих викидів в промислових регіонах (в інтеграціями з регіональними ГІС екологічного моніторингу).

4.2 Реалізація архітектури

Система використовує інфраструктуру контейнерів Docker. Тому всі системні служби розгорнуті в контейнерах Docker. Зв'язок між службами здійснюватиметься або через TCP, або через шину обслуговування. Архітектура створена зі структурою шарів. Кожен шар/сервер обгортається контейнерами Docker. Схематично реалізована система представлена на рис. 4.1.

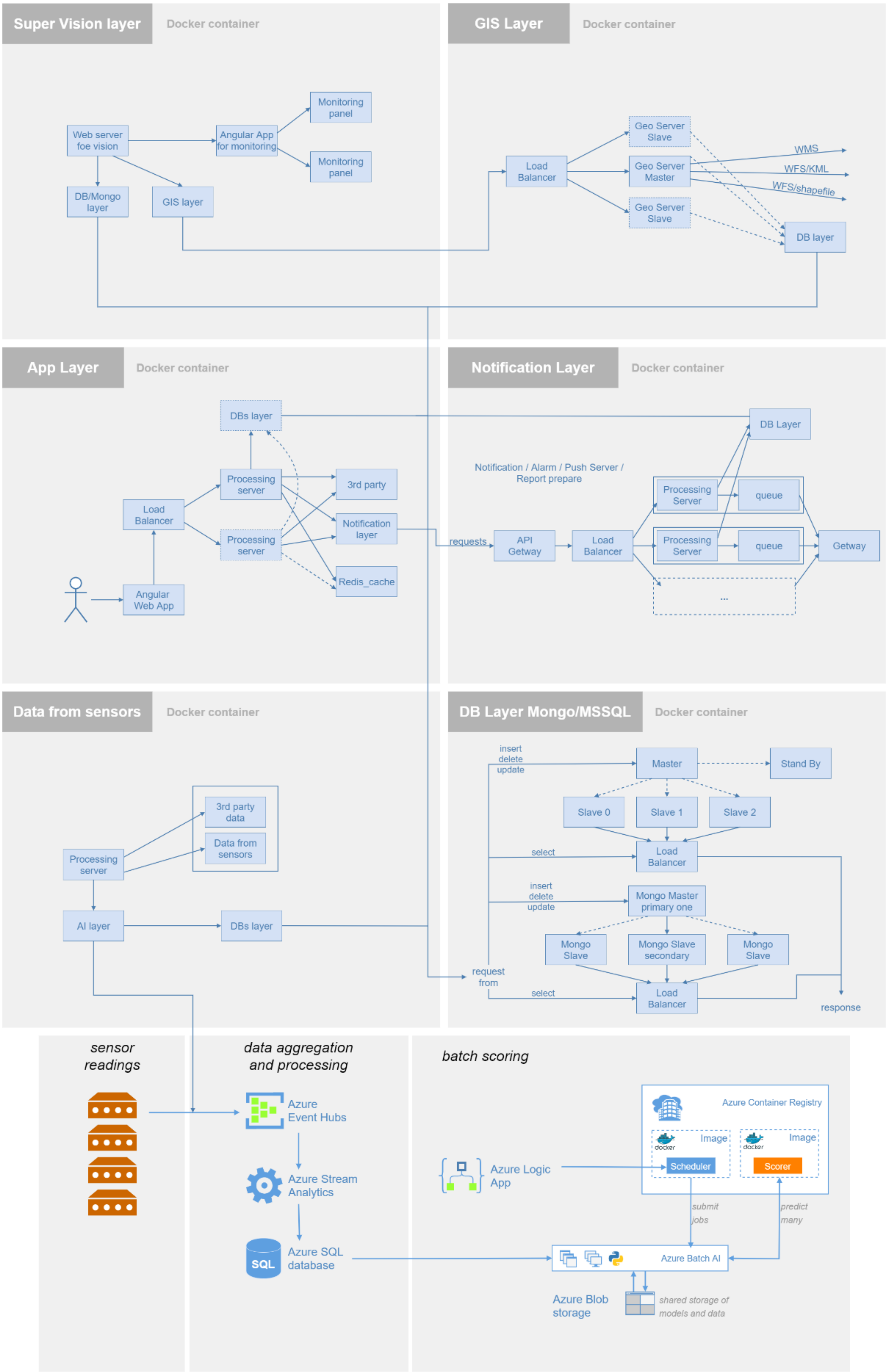

Рисунок 4.1 – Схематичне зображення реалізованої системи

4.2.1 Програмний рівень системи

Балансування навантаження відноситься до ефективного розподілу вхідного мережевого трафіку через групу серверних серверів, також відому як ферма серверів або пул серверів.

Сервери обробки обробляють запити кінцевого користувача і забезпечують швидку відповідь даними, що зберігаються в шарах БД або ГІС екологічного моніторингу. Певна дія може бути ініційована системним рівнем сповіщення.

В якості бази даних використовується Redis. Схематично реалізований шар представлено на рис. 4.2.

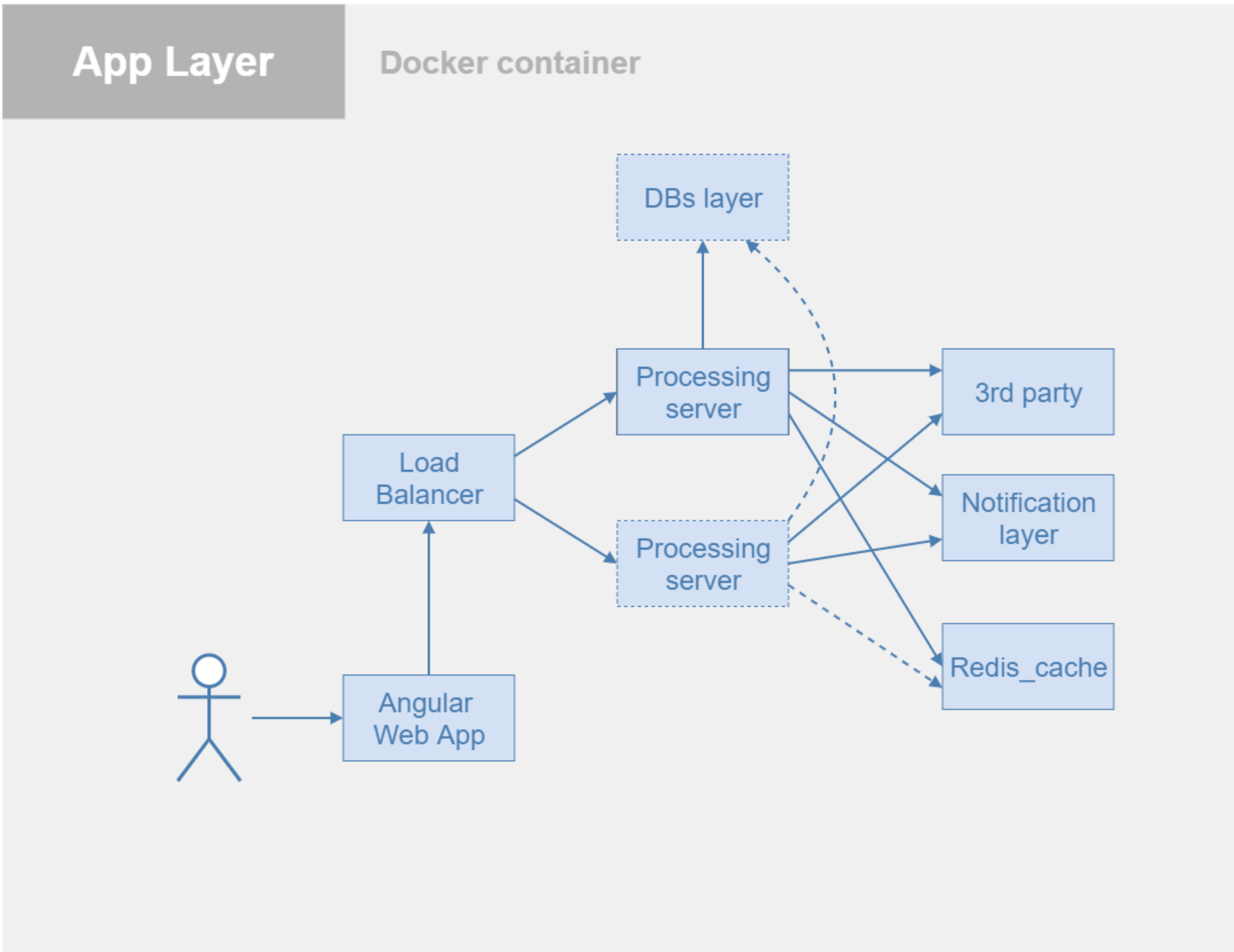

Рисунок 4.2 – Схематичне зображення програмного рівня системи

4.2.2 Шар ГІС

Основна ціль цього шару – використання збалансованого навантаження на сервер для підвищення продуктивності. Схематично реалізований шар представлено на рис. 4.3.

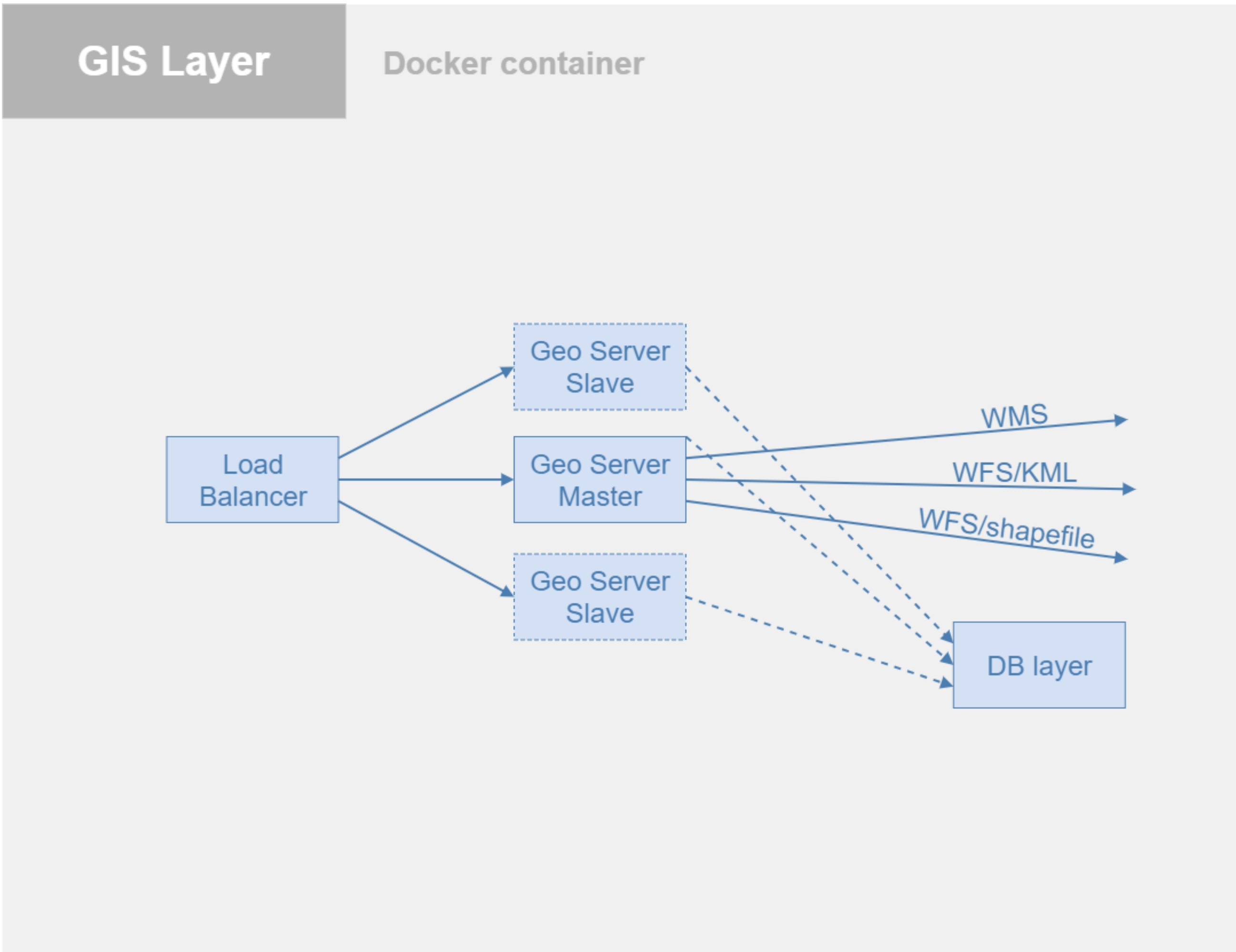

Рисунок 4.3 – Схематичне зображення шару ГІС

4.2.3 Шар із системою сповіщень

Шар із системою сповіщень реалізовано через шлюз API – тобто побудовано як служба RESTful, яка оброблятиме системні дії, використовуючи черги, що забезпечує доставку інформації (наприклад, сповіщення, будильники, push-повідомлення, створення та надсилання звітів) клієнтам. Схематично реалізований шар із системою сповіщень представлено на рис. 4.4.

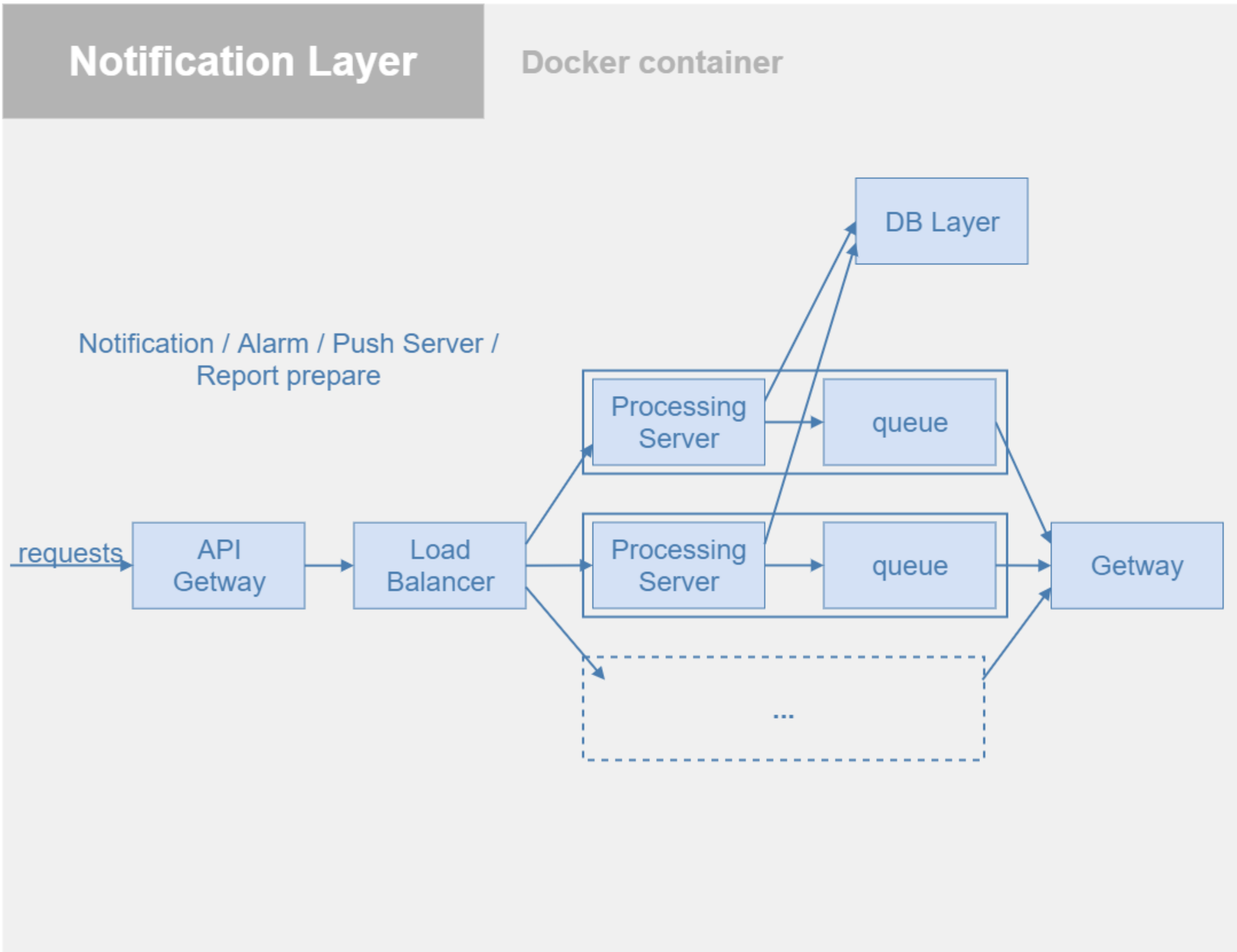

Рисунок 4.4 – Схематичне зображення реалізованого шару із системою сповіщень

4.2.4 Шар збору даних з датчиків

Даний шар збирає дані з ресурсів та датчиків. Далі дані надсилаються на рівень застосування методів штучного інтелекту для обробки результатів та їх додання до бази даних.

У цей час сервер працює у фоновому режимі. Схематично реалізований шар представлено на рис. 4.5.

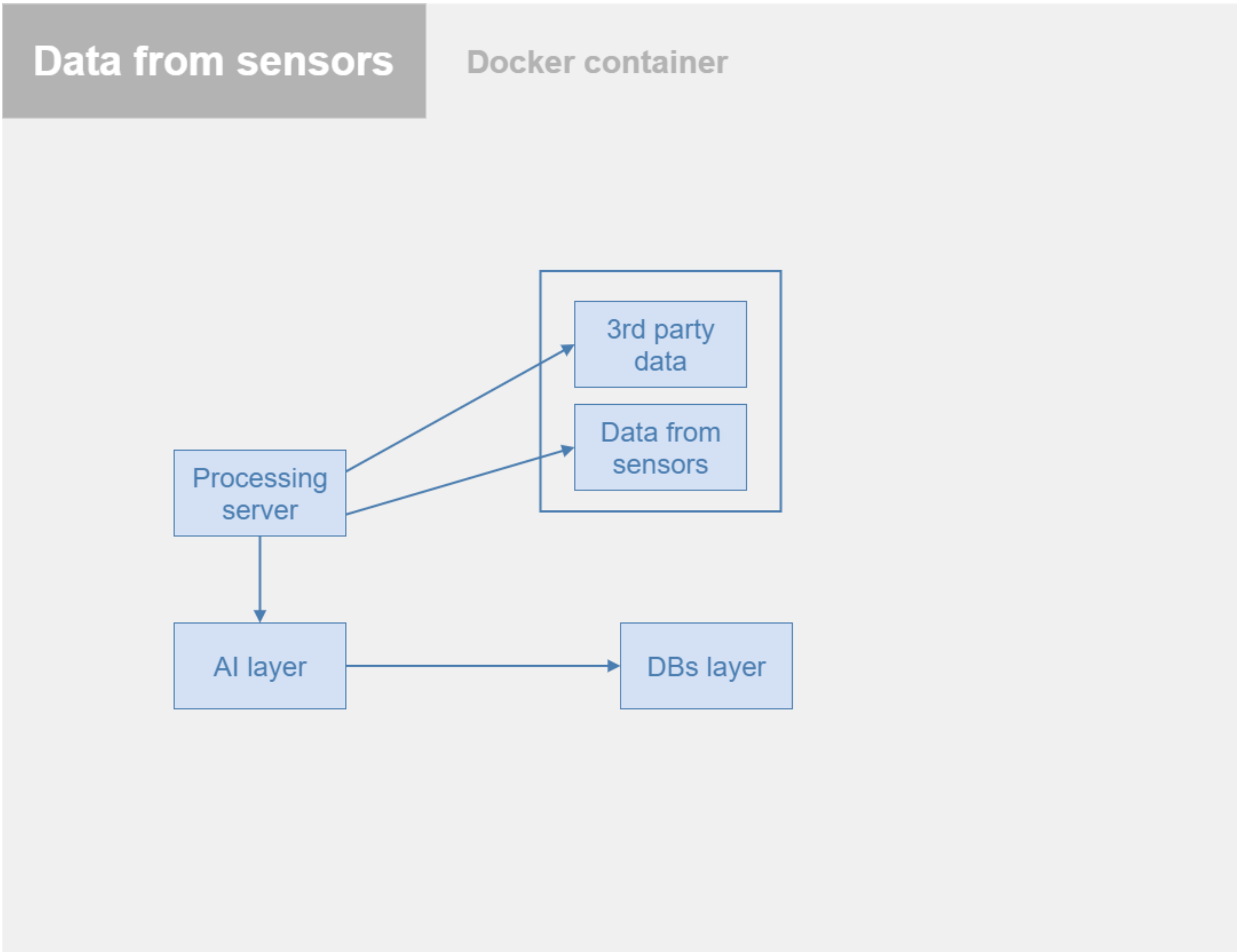

Рисунок 4.5 – Схематичне зображення шару збору даних з датчиків

4.2.5 Шар-спостерігач

Шар збирає дані з джерел даних та публікує їх в інфраструктурі нагляду. Тобто веб-додаток звертається до сервера з запитом, сервер звертається до баз даних, потім відправляє назад відповідь запиту на веб-додаток. Схематично реалізований шар представлено на рис. 4.6.

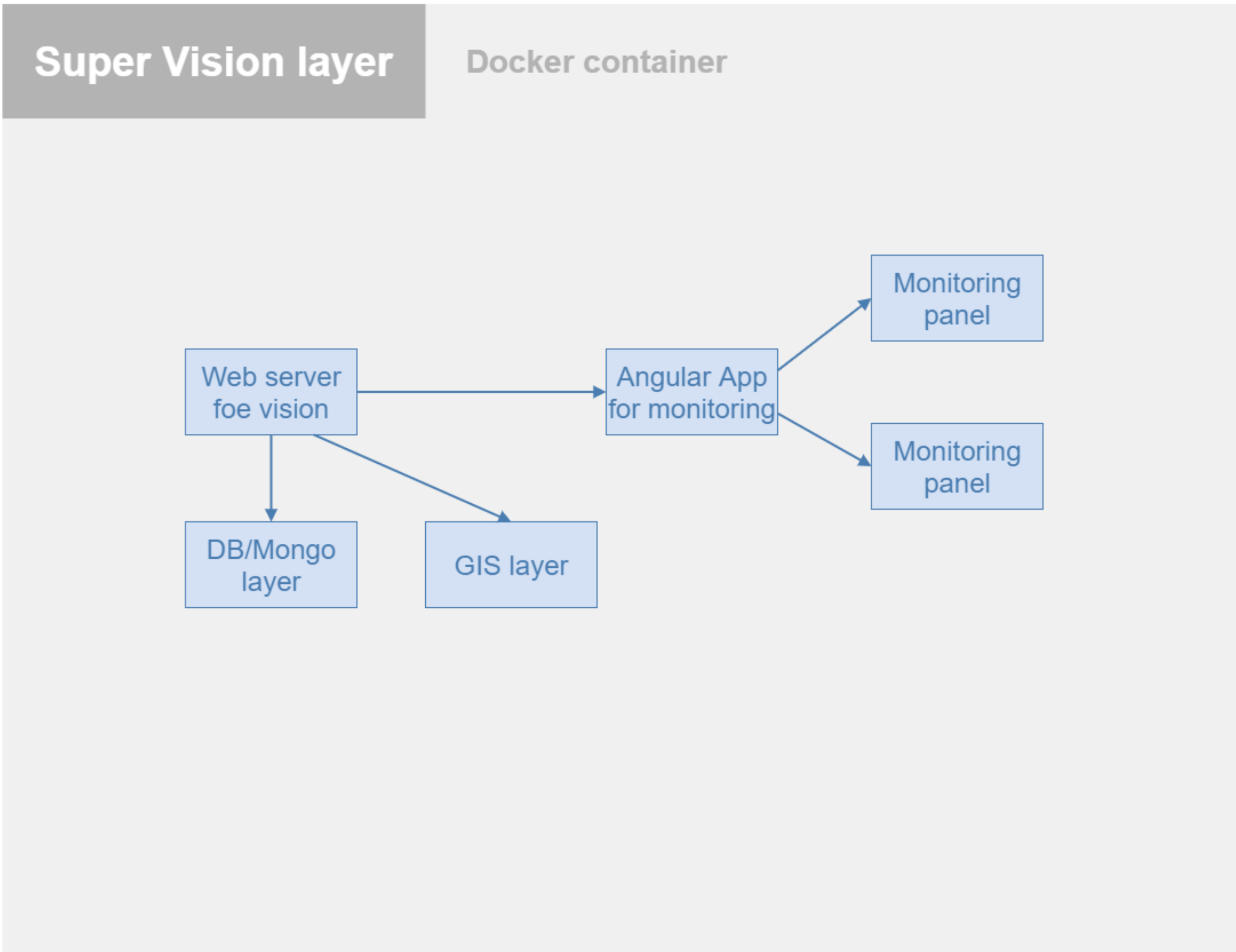

Рисунок 4.6 – Схематичне зображення шару-спостерігача

4.2.6 Шар баз даних

В системі використовується MSSQL Server та MongoDB. Система баз даних використовує балансування навантаження та кластеризацію. Кластери бази даних представляє собою 1 основний сервер і 3 реплікаційнних сервера. Усі запити проходять через балансувальник навантаження, який в свою чергу відправляє записи на основний сервер. Схематично реалізований шар представлено на рис. 4.7.

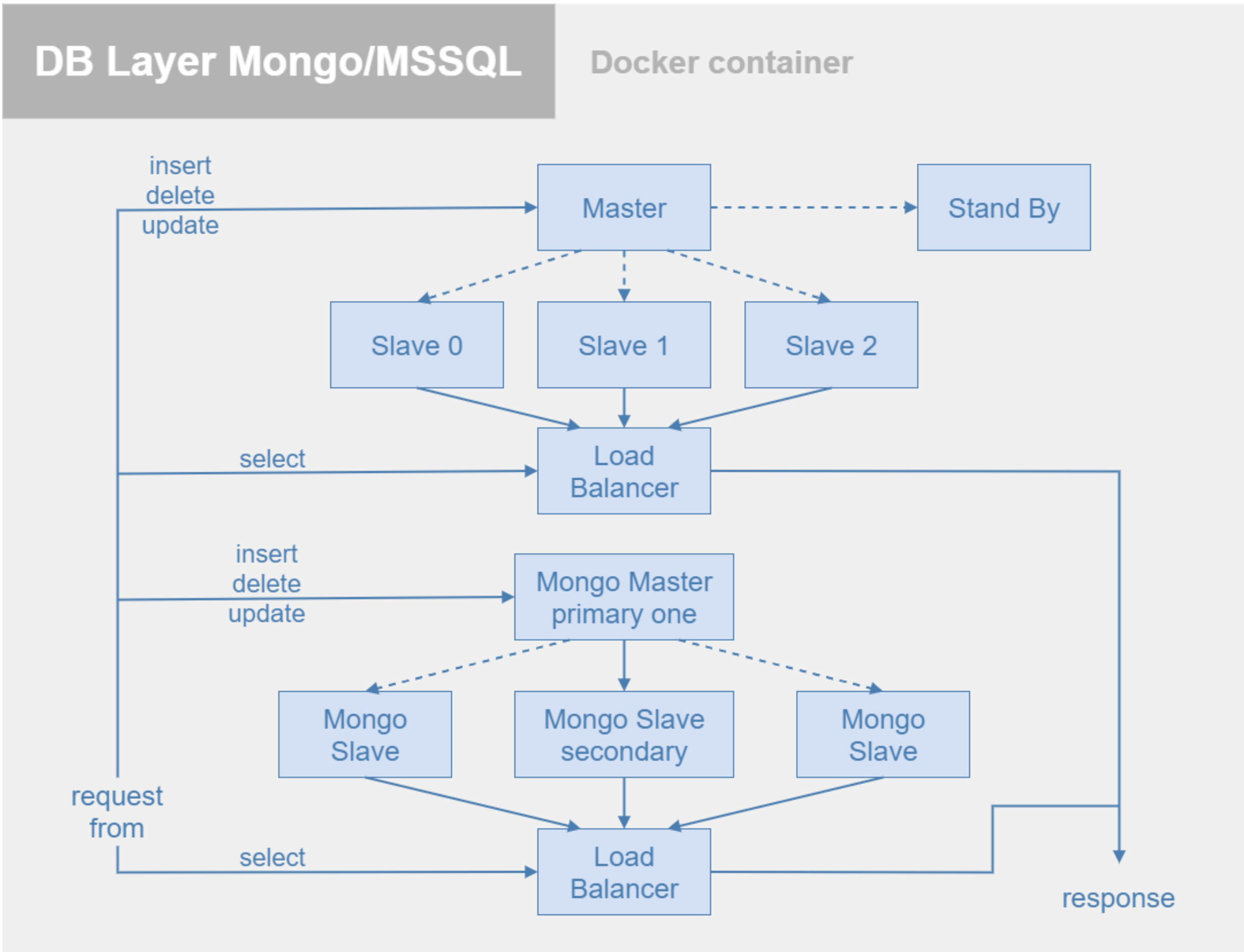

Рисунок 4.7 – Схематичне зображення реалізованого шару баз даних

4.2.7 Шар штучного інтелекту

Цей шар отримує дані від датчиків. Система використовує продукти від Azure. Датчики моніторингу відправляють дані на сервіс Azure Event Hub, далі дані аналізуються сервісом Azure Stream Analytics та записуються у Azure SQL Database. Система розгортається у контейнерах за допомогою платформи Azure batch AI, а образи цих контейнерів зберігаються у сервісі Container Registry. Схематично реалізований шар представлено на рис. 4.8.

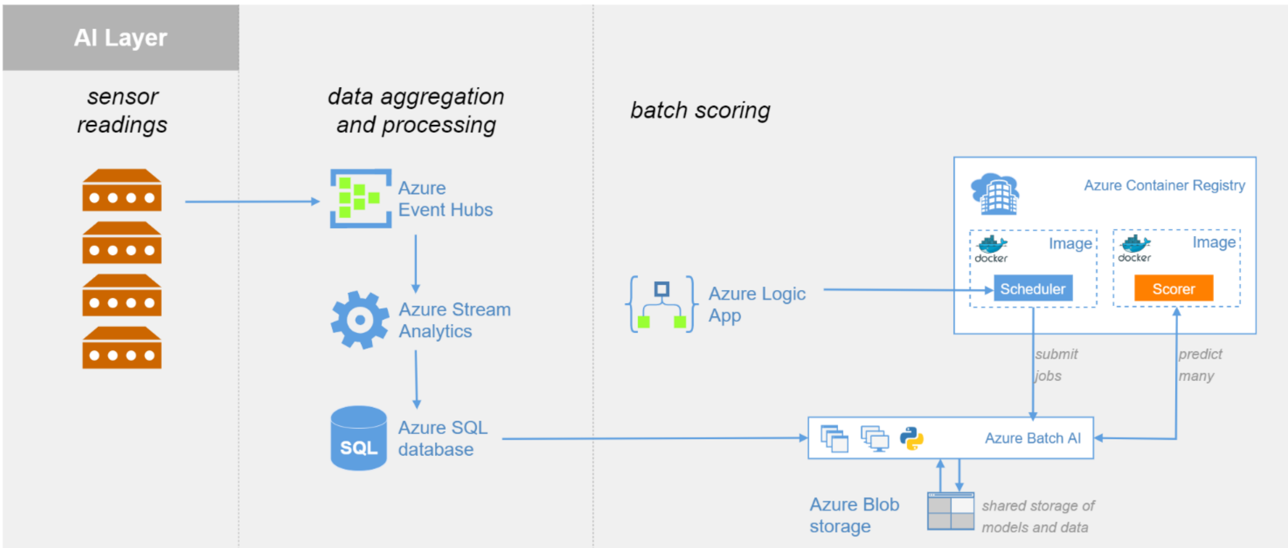

Рисунок 4.8 – Схематичне зображення реалізованого шару штучного інтелекту

4.3 Реалізація рівня управління датчиками

4.3.1 Основні режими підключення

В системі існує два основних режими підключення зображених на рис. 4.9. В обох випадках пристрої будуть підключені до хмарних сервісів. Різниця підключення полягає в використання технологій мережевого рівня.

Пристрої можуть бути підключені безпосередньо або опосередковано через головний шлюз або через опосередкований шлюз і можуть потребувати певної адаптації протоколу або налаштувань на стороні хмари, а тому можуть вибрати підключення до користувацького шлюзу, що працює в хмарі. Деякі сценарії вимагають інтеграції рівня додатку та хмари. Шлюзи з використанням ізольованих мережевих тунелів, або за допомогою технології VPN, або за допомогою служби ретрансляції на рівні програми.

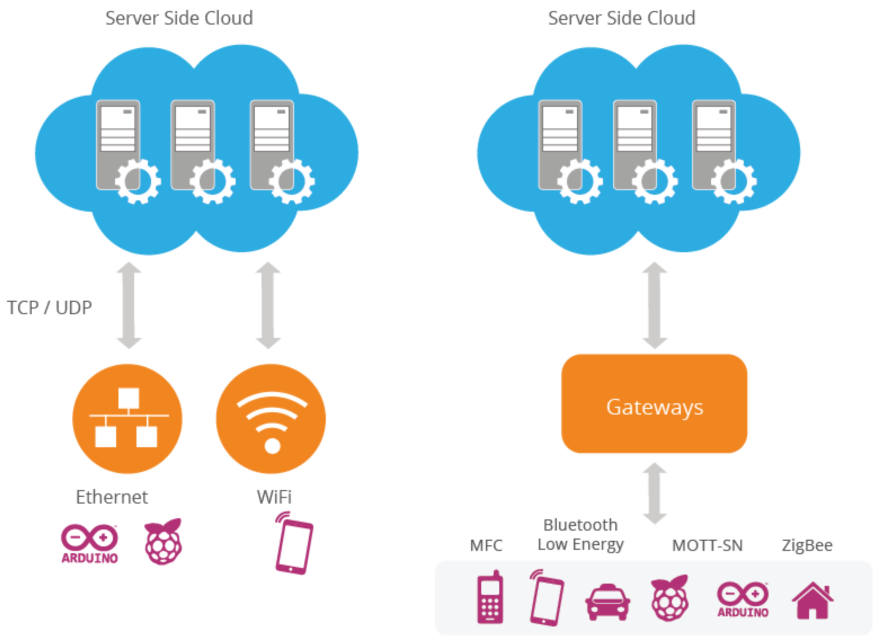

Рисунок 4.9 – Основні режими підключення датчиків

Нижній шар архітектури – це пристрій. Пристрої можуть бути різного типу, але для того, щоб їх можна було розглядати як пристрої IoT, вони повинні мати певний зв’язок, який опосередковано або безпосередньо підключається до мережі інтернету.

Зв'язок між пристроями та мережою інтернету або шлюзом іншої моделі може бути реалізовано через:

– пряме підключення Ethernet або Wi-Fi за допомогою TCP або UDP (протоколи для цього ми розглянемо пізніше);

– bluetooth з низьким енергоспоживанням;

– близький зв’язок (NFC);

– zigBee або інші сітчасті радіомережі;

– SRF та радіозв'язок "точка-точка";

– UART або послідовні лінії;

– провідні шини SPI або I2C.

Прямий зв’язок від пристрою до пристрою забезпечується управлінням діяльністю в локальній мережі та потоком інформації, або спільні операції, коли кілька пристроїв виконують скоординовані дії. Суто локальні взаємодії виходять за рамки цієї архітектури і охоплюються галузевими стандартами, такими як AllJoyn, UPnP / DLNA та іншими. Шлюз системи містить:

– роз'єм MQTT для управління, налаштування та збору даних із пристроїв IoT, які підключені до зовнішніх посередників MQTT за допомогою існуючих протоколів;

– з'єднувач OPC-UA для збору даних з пристроїв IoT, які підключені до серверів OPC-UA;

– з'єднувач Modbus для збору даних з пристроїв IoT, які підключені за протоколом Modbus;

– BLE-роз'єм для збору даних з пристроїв IoT, підключених за допомогою Bluetooth Low Energy;

– з'єднувач для збору даних із пристроїв IoT, які мають кінцеві точки API HTTP (S) ;

– з'єднувач CAN для збору даних з пристроїв IoT, які підключені через протокол CAN;

– спеціальний роз'єм для збору даних з пристроїв IoT, які підключені за різними протоколами;

– постійність зібраних даних для гарантування доставки даних у разі відмови мережі або обладнання;

– просте, але потужне відображення вхідних даних та повідомлень в єдиний формат.

Опосередковий шлюз або крайній пристрій – це спеціалізований пристрій або програмне забезпечення загального призначення, яке виступає в якості засобу зв'язку та, можливо, як локальна система управління пристроєм та концентратор обробки даних пристрою. Шлюз забезпечує віддалений зв’язок із пристроями або крайніми пристроями та з них, які потенційно можуть знаходитись на декількох різних сайтах. Хмарний шлюз буде доступний через загальнодоступний Інтернет, або накладення віртуалізації мережі (VPN), щоб ізолювати хмарний шлюз та всі приєднані до нього пристрої або крайні пристрої від іншого мережевого трафіку.

Спеціальний шлюз забезпечує адаптацію протоколу та/або певну форму користувацької обробки перед досягненням кінцевих точок зв'язку хмарного шлюзу. Це може включати відповідну реалізацію протоколу, необхідну пристроям під час пересилання повідомлень на хмарний шлюз для подальшої обробки та передачі повідомлень команд та керування з хмарного шлюзу назад на пристрої. Крім того, спеціальна обробка, така як перетворення повідомлень або стиснення чи декомпресія, також може бути реалізована як частина користувацького шлюзу. Параметри ідентифікації пристрою має такі атрибути:

– унікальний ідентифікатор (UUID), спалений у пристрої (як правило, частина вбудованої мікросхеми або надана додатковим чіпом);

– UUID, наданий радіосистемою (наприклад, ідентифікатор Bluetooth, MAC-адреса Wi-Fi);

– OAuth2 Refresh / Bearer Token (це може бути додатком до одного з вищезазначених);

– ідентифікатор, що зберігається в енергонезалежній пам'яті, наприклад EEPROM.

Для реалізованої архітектури запропоновано, щоб кожен пристрій мав UUID (бажано незмінний ідентифікатор, що надається основним обладнанням), а також OAuth2 Refresh і Beaner токен, що зберігається в EEPROM.

Специфікація базується на HTTP; однак реалізована архітектура також підтримує ці потоки через MQTT. Схематично підключення пристроїв представлено на рис. 4.10.

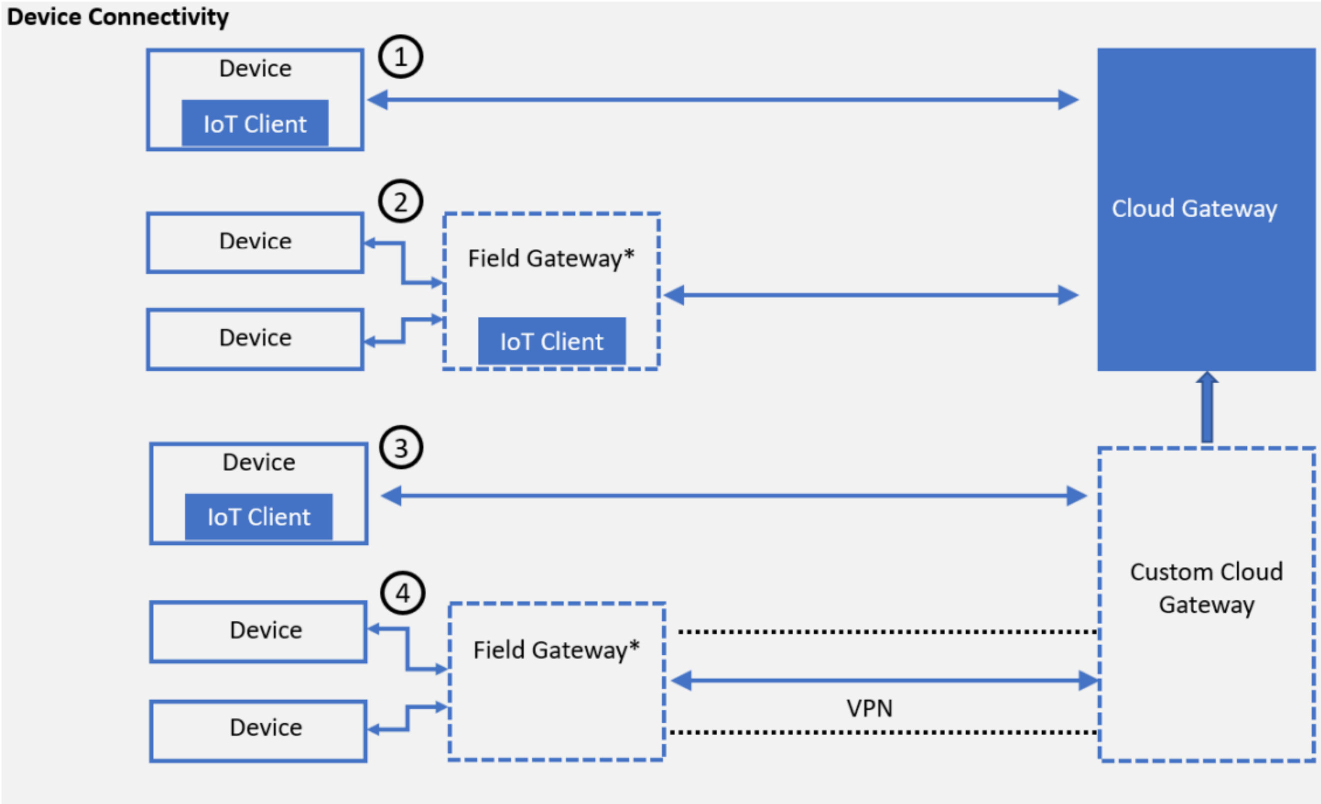

Рисунок 4.10 – Схематичне зображення підключення пристроїв

4.3.2 Датчики та моделі даних

Інформаційні моделі, що описують пристрої, їх атрибути та пов'язану схему даних, є ключовими для реалізації бізнес-логіки та обробки рішень. Архітектура приймає фундаментальну абстракцію потоків даних, де моделі пристроїв та даних не вимагають потоку, маршрутизації або зберігання інформації в основних компонентах платформи. На рівні рішення структуровані дані будуть захищатись моделями даних та схемою, щоразу, коли вони створюються або споживаються компонентами. Розробники мають можливість використовувати схеми для розробки пристрою-клієнта, аналітики бекенда або специфічної логіки обробки, як вимагає рішення.

Рішення розроблені з урахуванням фундаментального аспекту пристроїв, які періодично передають записи даних, які представляються, аналізуються та зберігаються як безлічі та безперервні потоки даних. Повідомлення, події, телеметрія, оповіщення та поглинання – це терміни, які зазвичай використовуються при описі потоків даних.

Отримання даних – це процес завантаження записів даних у сховище через шлюз. Записи даних можна передавати по одному або масово. Вмістом потоків можуть бути дані в реальному часі або відтворений минулий трафік.

Повідомлення та події є взаємозамінними термінами, що використовуються при посиланні на записи даних, створені підключеними пристроями. Термін телеметрія використовується спеціально для повідомлень, що несуть дані, повідомлені датчиками пристрою, наприклад поточна температура, надіслана від датчика температури на пристрої. Записи телеметрії можуть нести одну або кілька точок даних, наприклад, пристрій з однією вологістю і одним датчиком температури може надсилати вимірювання вологості та температури в одному повідомленні або в окремих повідомленнях.

На пристроях може бути встановлено декілька датчиків, і вони можуть надсилати записи з вимірами, про які повідомляють усі датчики, або лише значення, які змінилися з часу останньої передачі телеметрії, наприклад, щоб зменшити обсяг переданих даних. Значення точки даних у записі телеметрії стає останнім відомим станом. Надсилаючи лише диференціальні записи, пристрої іноді можуть також надсилати повний знімок усіх значень датчика (так званий ключовий кадр) для узгодження та синхронізації. В результаті може бути сформований інший тип запису даних, який зазвичай називають попередженням. Для запису даних використовується формат запису JSON, завдяки його читабельності та відносно низькому об’єму зберігаємих даних.

Для кожного потоку даних передбачається, що всі записи використовують сумісну структуру та семантику. Формат, вибраний виробниками пристроїв та рішеннями IoT, залежить від багатьох факторів. З метою спрощення десеріалізації слід дозволити постійні зміни та розділення потоків за версіями.

Рішення включає в себе метадані для кожного запису, наприклад за допомогою властивостей повідомлень із зазначенням формату та версії. За наявності моделі версій розробники рішень можуть належним чином вирішити потенційні конфлікти полів записів з точки зору семантики або типу; напр. якщо конкретна прошивка пристрою змінюється, а після цього пристрій надсилає записи даних в іншому форматі версій, це дозволить розробнику рішення розмежувати між потоками даних.

4.3.3 Спеціальна платформа IoT DeviceHive

Як шлюз і концентратор використовується відкрите рішення DeviceHive.

DeviceHive – це платформа з відкритим кодом, яка забезпечує інструменти для спілкування та управління смарт-пристроями. Він складається з комунікаційного рівня, програмного забезпечення для управління та багатоплатформенних бібліотек та клієнтів для початкової розробки інтелектуальної енергії, домашньої автоматизації, дистанційного зондування, телеметрії, програмного забезпечення для дистанційного управління та моніторингу та багато іншого.

З технічної точки зору це масштабована, апаратна та хмарно-агностична мікросервісна платформа з API управління пристроями в різних протоколах, що дозволяє налаштовувати та контролювати підключення пристроїв, керувати ними та аналізувати поведінку.

Платформа охоплює весь потік, починаючи від переходу даних, перевірки та збору даних до робочих місць машинного навчання та штучного інтелекту.

4.4 Реалізація рівня датчиків

При розгортанні системи рекомендується використовувати модульні технічні рішення. У цьому випадку реалізуються комплекси з необхідним складом датчиків, допрацьовуючи їх під умови та завдання.

За основу взято модульне рішення SensorHUB від Thingenix. Це модульна багатоцільова сенсорна платформа для вертикальних рішень IoT, а також це універсальна платформа для побудови систем IoT для збору даних з різних датчиків. При використанні SensorHUB були обрані сенсори, які описані в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Опис сенсорів

Назва сенсору	Опис сенсору
Температурний сенсор	Цифровий датчик температури вимірює температуру від -40 до + 125С. Точність в діапазоні від -10 до +85 С становить 0,5 ° С. Корпус датчика з нержавіючої сталі забезпечує клас захисту IP67. Датчик може бути встановлений на поверхні, занурений у рідину або введений у ґрунт.
Датчик вібрації	Цифровий датчик вібрації, вимірює коливання, середньоквадратичну ефективність та частоту вібрації по 3 осях. Діапазон вимірювань - до 16G / 1000Hz. Корпус датчика виготовлений з нержавіючої сталі та має потужний неодимовий магніт для кріплення. Монтаж також можливий за допомогою віброcтійкого клею.
Датчик тиску	Цифровий датчик тиску вимірює тиск від 0 до 1000 кПа. Датчик можна використовувати для вимірювання тиску сухих і вологих газів, рідин, включаючи олію та воду. Датчик має корпус з нержавіючої сталі і встановлений на різьбі.

Продовження таблиці 4.1

Назва сенсору	Опис сенсору
4-канальний газоаналізатор	Автоматичний 4-канальний газоаналізатор може бути оснащений 4 газовими датчиками, які можна вибрати на момент замовлення. В даний час ми підтримуємо CO, NO, NO2, SO2, O3, H2S, проте ми можемо легко додавати інші гази за запитом. Газоаналізатор має додаткові датчики температури повітря, вологості та атмосферного тиску. Газоаналізатор поставляється попередньо відкаліброваним. Ми рекомендуємо повторно калібрувати аналізатор кожні 6-12 місяців, залежно від умов навколишнього середовища.
Датчик рівня / відстані	Цифровий ультразвуковий датчик рівня / відстані може працювати на відстані від 0 до 5 або від 0,5 до 10 метрів. Датчик може бути використаний для вимірювання рівня рідин, сипучих речовин або товщини снігу.
Датчик твердих частинок	Цифровий датчик PM2.5 / PM10 має лазерний чутливий елемент для вимірювання твердих частинок у повітрі. Датчик може визначати тверді частинки від 2,5 мкм до 10 мкм в діапазоні від 0 до 1000 мкг / м3.
Датчик температури та вологості повітря	Цифровий датчик температури повітря, вологості та атмосферного тиску може вимірювати температуру від -40 до +85 C, вологість від 0 до 100% та атмосферний тиск в діапазоні від 300 до 1100 ГПа.

Кінець таблиці 4.1

Назва сенсору	Опис сенсору
Датчик напруги води	Цифровий датчик напруги води може вимірювати потенціал води в грунті до 200 кПа.
Датчик вологості ґрунту	Цифровий ємнісний датчик вологості ґрунту може вимірювати вологість ґрунту в діапазоні від 0 до 100%. Зазвичай датчик вставляється безпосередньо в ґрунт на потрібну глибину.
Датчик напрямку та швидкості вітру	Датчик напрямку та швидкості вітру вимірює швидкість вітру в діапазоні 1 - 89 м / с з точністю 5%, а напрямок вітру з точністю 1 градус та 3%.
Датчик дощу	Датчик дощу вимірює до 100 мм / год з кроком 0,2 мм з точністю 4%.

Окремі питання, пов'язані зі створенням проекту, викладеного у атестаційній роботі, опубліковані у роботах автора спільно з науковим керівником [16-18].

5 АНАЛІЗ МОЖЛИВИХ ЗАСТОСУВАНЬ

Запропонована система екологічного моніторингу стану довкілля може використовуватися як автономно, так і в інтеграції з існуючими ГІС екологічного моніторингу регіонального рівня.

Слід відзначити, що система має гнучку модульну структуру, завдяки чому її функціональні можливості можуть бути суттєво розширені. Зокрема до системи доцільно в процесі її подальшого розвитку додати такі модулі як: модуль обробки просторових даних та аналізу зображень фрагментів довкілля; модуль прогнозування можливих змін ландшафту внаслідок негативного впливу техногенних факторів; модуль диспетчеризації завдань системи тощо.

Складність цих завдань передбачає необхідність використання для їх реалізації методів обчислювального інтелекту, а саме: методів нейромережевої обробки зображень (для попереднього та остаточного аналізу зображень фрагментів довкілля); фрактальні методи (для аналізу часових рядів даних системи моніторингу); методи еволюційної оптимізації (для пошуку оптимальних варіантів диспетчеризації завдань системи та прогнозування зміни стану довкілля).

Важливим напрямком можливого розвитку системи є її адаптація для завдань екологічного моніторингу довкілля в промислових регіонах, де присутні підприємства, що пов’язані з ризиком викидів шкідливих речовин до атмосфери та водяних потоків. При цьому має враховуватися специфіка функціонування таких підприємств та можливості розширення ефективності автоматизованого контролю екологічних показників середовища.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання атестаційної роботи були розглянуті актуальні завдання створення системи екологічного моніторингу стану довкілля з використанням методів обчислювального інтелекту.

В ході вирішення поставлених в магістерській роботі завдань отримані наступні результати:

– здійснено аналіз методів вирішення проблеми моніторингу стану навколишнього середовища (зокрема, дистанційних та біохімічних методів);

– проаналізовано сучасні принципи побудови автоматизованих систем екологічного моніторингу та визначено завдання атестаційного дослідження;

– розглянуто завдання оцінювання рівня екологічної безпеки довкілля та завдання ідентифікації джерел шкідливих викидів в промислових регіонах, а також запропоновано методи їх вирішення з застосуванням графових моделей, нечіткої логіки то оптимізаційних методів;

– здійснено обґрунтований вибір програмних засобів для реалізації завдань системи екологічного моніторингу стану довкілля;

– запропоновано варіант побудови системи екологічного моніторингу стану довкілля, що має відкриту модульну архітектуру та розглянуто напрямки практичної реалізації функцій окремих модулів.

Слід відзначити, що функціональні можливості системи можуть бути суттєво розширені. Зокрема до системи доцільно в подальшому додати модуль обробки просторових даних та аналізу зображень фрагментів довкілля; модуль прогнозування можливих змін ландшафту та модуль диспетчеризації завдань системи. За результатами атестаційного дослідження опубліковано тези доповідей на науково-технічній конференції.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Куссуль Н. М., Скакун С. В., Шелестов А. Ю. Геоінформаційна інфраструктура моніторінгу навколишнього середовища та надзвичайних ситуацій // Наука та інновації. 2010. Т. 6, N 4. С. 21-28.

2. Бахарєв В. С., Маренич А. В. Аналітичний огляд результатів наукових досліджень з проблем моніторингу довкілля в Україні // Екологічна безпека. 2016. № 2 (22). С. 35-42.

3. Мокін В. Б., Крижановський Є.М. Геоінформаційні системи в екології // Вінниця:ВНТУ. 2014. С. 192.

4. Бондар О. І. Моніторинг стану навколишнього середовища засобами ГІС // К. : ДЕА, 2018. С. 52.

5. Рязанцев А. И., Кардашук В. С. Система экологического мониторинга окружающей среды // «Радіоєлектрніка. Інформатика. Управління». Запоріжжя, ЗНТУ. 2016. № 2. С. 128-132.

6. Пітак І. В., Негадайлов А. А., Масікевич Ю. Г., Пляцук Л. Д., Шапорев В.П., Моісеєв В.Ф. Геоінформаційні технології в екології : навч. Посіб.Чернівці. 2012. С. 273

7. Филатов В.А., Пономаренко Л.А. Модель системы управления информационными ресурсами на основе технологии программных агентов // Проблеми інформатизації та управління. Київ: НАУ. 2004. № 9. С. 8-16.

8. IoT и проблемы экологии. URL : https://habr.com/ru/company/unet/blog/407203/ (дата звернення: 01.12.2020).

9. Язык программирования Python: плюсы, минусы, сфера применения. Каким языком является Python URL : https://otus.ru/nest/post/1547/

10. Преимущества PHP URL :http://www.php.su/php/?opport (дата звернення: 01.12.2020).

11. Что такое JavaScript URL :https://ipipe.ru/info/javascript (дата звернення: 01.12.2020).

12. Что такое Docker и его достоинства URL :https://vc.ru/newtechaudit/

121844-chto-takoe-docker-i-ego-dostoinstva (дата звернення: 01.12.2020).

13. Начало работы с GeoServer URL : https://gis-lab.info/qa/geoserver-begin.html (дата звернення: 01.12.2020).

14. Microsoft Azure URL :https://ru.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Azure (дата звернення: 01.12.2020).

15. Жежнич П.І., Осика В.О. Функціональні та структурні вимоги до побудови сучасних географічних інформаційних систем // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка» Львів. 2011. № 715 : Інформаційні системи та мережі. С.104-113.

16. Софія Слупська, Володимир Кобзєв. Еволюція Проектних Команд та Методи Керування Ними // Комп'ютерні науки, інформаційні технології та системи управління: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених, м. Івано-Франківськ, 27–29 листопада 2019 року / наук. ред. Л.Б. Петришин. – Електрон. дані. – Івано-Франківськ: Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2019. С. 112-113.

17. Слупська С.Ю., Кобзєв В.Г. Техніки пріоритизації задач при плануванні проекту // Міжнародна науково-практична конференція «Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку»; збірник тез доповідей (м. Харків, 17 березня 2020 р.). – Харків: Національна академія Національної гвардії України, 2020. С. 198-200.

18. Sofiia Slupska, Volodymyr Kobziev. Team Communication Methods in the Project. Remote Work Communication // "Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання"; матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 18-22 травня 2020 року. – Івано-Франківськ: п. Голіней О.М., 2020. С. 6-7.