

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Галузь знань _____ 12 – Інформаційні технології _____

Спеціальність _____ 123 – Комп'ютерна інженерія _____

на тему «Кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних»

КвРКІ.202129.22.02.03 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група КІ2М-22-2



Підпис

Воєвудський Є.Г.
Ініціали, прізвище

Керівник кандидат техн. наук, доцент
Науковий ступінь, вчене звання



Підпис

Іванов О.В.
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри КІС, д.т.н., проф.

Т.О. Говорущенко

25 04 2024 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень МАГІСТР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма ОСВІТНЬО-НАУКОВА ПРОГРАМА «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорушенко

" 01 " 09 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ)

Воевудському Євгену Георгійовичу

Іменинник, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних

Керівник проекту (роботи) Іванов О.В., к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, наукової ступінь, місце роботи

Затверджена наказом ректора університету від 01.01.2024 р. № 1

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.05.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

Аналіз відомих методів та рішень для моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів

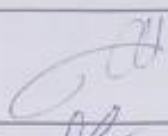
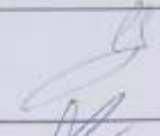


Моделювання процесу моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних

Метод та алгоритм моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних

Кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) _____

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

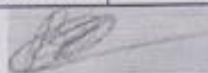
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КІС		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КІС		

7. Дата видачі завдання « 01 » 09 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	01.09.2023	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.10.2023	виконано
3	Робота над розділом 1 – аналіз відомих моделей, методів за темою; постановка задачі	01.11.2023	виконано
4	Робота над розділом 2 – розробка моделей для вирішення поставленої задачі	01.12.2023	виконано
5	Робота над науковою статтею	01.02.204	виконано
6	Робота над розділом 3 – розробка методів для вирішення поставленої задачі	15.02.2024	виконано
7	Робота над розділом 4 – проектування та розробка ПЗ для вирішення поставленої задачі, експериментальна частина	01.04.204	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	18.04.2024	виконано
9	Попередній захист кваліфікаційної роботи	29.04.2024	виконано
10	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні ЕК	До 15.05.2024	

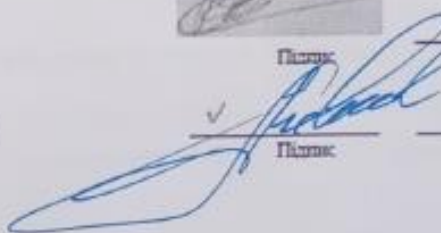
Студент



Восвудський Є.Г.

Підпис: Ініціали, прізвище

Керівник проекту (роботи)



Іванов О.В.

Підпис: Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: Кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних.

Автор роботи: Воевудський Є.Г., студент групи КІ2М-22-2.

Керівник роботи: Іванов О.В., кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем.

Пояснювальна записка: 108 с., 17 рис., 0 табл., 2 дод., 95 джерел.

ПЕРЕЛІК КЛЮЧОВИХ СЛІВ: кіберфізична система, датчик пилку рослин-алергенів Dylos DC 1100, IoT-контролер Raspberry Pi, протокол передачі даних Wi-Fi, моніторинг навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних.

Об'єктом дослідження є процес моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів.

Предметом дослідження є метод та кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів.

Метою кваліфікаційної роботи є моніторинг навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних шляхом створення кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, яка надає користувачу корисну інформацію для планування маршруту з уникненням перебування у зонах підвищеного ризику.

Для розв'язання поставлених задач використовуються основні положення системного аналізу (ієрархічності, декомпозиції та ін.), загальної теорії систем, теорії моделювання процесів. При проведенні моделювання процесу моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів та при розробленні методів моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів використано теоретико-множинні підходи, методи концептуального моделювання, евристичні оцінки, принципи побудови баз знань та формування логічного висновку.

Наукова новизна отриманих результатів:

1) вперше розроблено метод моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використання геолокаційних даних, який, на відміну від відомих, не тільки використовує наявну інформацію про активність джерел пилку у заданому регіоні, але й вимірює концентрацію пилку в повітрі в реальному часі, завдяки чому дозволяє відстежувати рівень пилку в регіоні, де перебуває користувач, а також, враховуючи геолокаційні дані користувача, надає йому корисну інформацію для планування маршруту з уникненням перебування у зонах підвищеного ризику;

2) вперше розроблено архітектуру кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використання геолокаційних даних, яка, на відміну від відомих, надає можливість індивідуального підходу до кожного користувача, враховуючи його унікальні проблеми, шляхом виконання фільтрації алергенів, і є корисною для людей з алергіями, надаючи їм доступну та актуальну інформацію про навколишнє середовище та ризики алергічних реакцій, дозволяючи їм краще планувати свої дії та уникати областей з високим рівнем концентрації пилку рослин, забезпечуючи ефективні та персоналізовані рішення управління алергіями.

Практична значущість отриманих результатів полягає у реалізації кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використання геолокаційних даних, яка дозволяє створити цінну базу даних з алергічними реакціями та прогнозами, яка буде використовуватися для вдосконалення методів діагностики, лікування та управління алергіями, а також виявити глобальні тенденції змін у розподілі алергенів та виробляти ефективні стратегії управління алергіями на світовому рівні.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ТА РІШЕНЬ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ПРЕДМЕТ АЛЕРГЕНІВ	8
1.1 Моніторинг навколишнього середовища на предмет алергенів.....	8
1.2 Засоби моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів	18
1.3 Висновки. Постановка задачі.....	21
2 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ПРЕДМЕТ АЛЕРГЕНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОЛОКАЦІЙНИХ ДАНИХ	22
2.1 Вибір компонентів для кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних.....	23
2.2 Моделювання процесу моніторингу моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів.....	34
2.3 Висновки	43
3 МЕТОД ТА АЛГОРИТМ МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ПРЕДМЕТ АЛЕРГЕНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОЛОКАЦІЙНИХ ДАНИХ	45
3.1 Метод моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних	45
3.2 Алгоритм моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних	55
3.3 Висновки	59
4 КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ПРЕДМЕТ АЛЕРГЕНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОЛОКАЦІЙНИХ ДАНИХ	60

4.1 Кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних.....	60
4.2 Приклади функціонування кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних.....	65
4.3 Висновки	74
ВИСНОВКИ	76
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	80
ДОДАТОК А. Копія статті	89
ДОДАТОК Б. Презентація до захисту кваліфікаційної роботи	97

ВСТУП

Алергія – це перехресна реакція імунної системи на речовини, які зазвичай не є шкідливими для більшості людей. Алергією є надмірна реакція імунної системи на щось, що називається алергеном. Алерген – це чужорідна речовина, нешкідлива для більшості людей, наприклад пилок або шерсть домашніх тварин. Але імунна система алергіка намагається боротися з алергеном як проти мікроба чи вірусу. Організм людини виробляє білок, який називається антитілом, щоб боротися з алергеном. І таким чином виникає реакція на алерген – на пилок, різні харчові продукти, підшкірні уколи, ліки, різні речовини, що містяться в повітрі, тощо. Симптоми алергії можуть варіювати від незначних до важких і включати свербіж, висипи, набряки, кашель, почервоніння очей, утруднення дихання та інші прояви [1-3].

Алергія може мати значний вплив на якість життя людини, особливо якщо симптоми проявляються часто або важко. Щоб зменшити ризик виникнення алергічних реакцій, важливо уникати контакту з алергенами, Уникнення того, що спричиняє алергію, може допомогти покращити стан людини, але це не завжди можливо, особливо якщо алерген широко поширений у навколишньому середовищі, наприклад, пилок рослин [4-6].

Відтак задача створення кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів є *актуальною задачею*.

Метою кваліфікаційної роботи є моніторинг навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних шляхом створення кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, яка надає користувачу корисну інформацію для планування маршруту з уникненням перебування у зонах підвищеного ризику.

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних *задач*:

1) аналіз відомих методів та рішень для моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів;

2) моделювання кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів;

3) розроблення методу моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів;

4) розроблення архітектури кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів;

5) проведення експериментів із використанням розробленої кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів.

Об'єктом дослідження є процес моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів.

Предметом дослідження є метод та кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів.

Наукова новизна отриманих результатів:

1) вперше розроблено метод моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використання геолокаційних даних, який, на відміну від відомих, не тільки використовує наявну інформацію про активність джерел пилку у заданому регіоні, але й вимірює концентрацію пилку в повітрі в реальному часі, завдяки чому дозволяє відстежувати рівень пилку в регіоні, де перебуває користувач, а також, враховуючи геолокаційні дані користувача, надає йому корисну інформацію для планування маршруту з уникненням перебування у зонах підвищеного ризику;

2) вперше розроблено архітектуру кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використання геолокаційних даних, яка, на відміну від відомих, надає можливість індивідуального підходу до кожного користувача, враховуючи його унікальні проблеми, шляхом виконання фільтрації алергенів, і є корисною для людей з алергіями, надаючи їм доступну та актуальну інформацію про навколишнє середовище та ризики алергічних реакцій, дозволяючи їм краще планувати свої дії та уникати областей з високим рівнем концентрації пилку рослин, забезпечуючи ефективні та персоналізовані рішення управління алергіями.

Практична значущість отриманих результатів полягає у реалізації кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використання геолокаційних даних, яка дозволяє створити цінну базу даних з алергічними реакціями та прогнозами, яка буде використовуватися для вдосконалення методів діагностики, лікування та управління алергіями, а також виявити глобальні тенденції змін у розподілі алергенів та виробляти ефективні стратегії управління алергіями на світовому рівні.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених задач використовуються основні положення системного аналізу (ієрархічності, декомпозиції та ін.), загальної теорії систем, теорії моделювання процесів. При проведенні моделювання процесу моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів та при розробленні методів моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів використано теоретико-множинні підходи, методи концептуального моделювання, евристичні оцінки, принципи побудови баз знань та формування логічного висновку.

За темою кваліфікаційної роботи опублікована одна стаття у фаховому науковому журналі України категорії Б (додаток А):

1) Т. Novorushchenko, Ye. Voevudskyi, O. Ivanov, O. Voichur. Cyber-physical system for monitoring the environment for allergens using geolocation data. Computer systems and information technologies. 2024. №1.

1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ТА РІШЕНЬ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ПРЕДМЕТ АЛЕРГЕНІВ

1.1 Моніторинг навколишнього середовища на предмет алергенів

Алергія – це перехресна реакція імунної системи на речовини, які зазвичай не є шкідливими для більшості людей. Алергією є надмірна реакція імунної системи на щось, що називається алергеном. Алерген – це чужорідна речовина, нешкідлива для більшості людей, наприклад пилок або шерсть домашніх тварин. Але імунна система алергіка намагається боротися з алергеном як проти мікроба чи вірусу. Організм людини виробляє білок, який називається антитілом, щоб боротися з алергеном. І таким чином виникає реакція на алерген – на пилок, різні харчові продукти, підшкірні уколи, ліки, різні речовини, що містяться в повітрі, тощо. Симптоми алергії можуть варіювати від незначних до важких і включати свербіж, висипи, набряки, кашель, почервоніння очей, утруднення дихання та інші прояви [1-3].

Алергія може мати значний вплив на якість життя людини, особливо якщо симптоми проявляються часто або важко. Щоб зменшити ризик виникнення алергічних реакцій, важливо уникати контакту з алергенами, Уникнення того, що спричиняє алергію, може допомогти покращити стан людини, але це не завжди можливо, особливо якщо алерген широко поширений у навколишньому середовищі, наприклад, пилок рослин [4-6].

Алергени можуть бути різного походження, включаючи пилок рослин, шерсть тварин, алергени їжі, пил, пліснява, наркотики, хімічні речовини тощо. Люди можуть мати алергічну реакцію на один або кілька алергенів. Лікування алергії може включати уникнення контакту з алергенами, ліки для зменшення симптомів (такі як антигістаміни або кількартині), імунотерапію (вакцини проти алергії) та інші методи [7-9].

Алергічні реакції можуть бути різними за характером і важкістю [10-14]:

1) алергічна ангідема – це набряк шкіри, який може виникнути на обличчі, губах, очах або руках; вона може бути супроводжена свербіжем або болем;

2) назальні алергічні реакції – це найпоширеніший тип алергії, що проявляється у вигляді кашлю, чхання, нудоти тощо; можуть бути спричинені пилом, тваринною шерстю тощо;

3) алергічний контактний дерматит – це запалення шкіри, яке виникає при контакті з алергеном, таким як нікель, деякі хімічні речовини у милах, косметиці або рослинному листі;

4) алергічний астматичний приступ – це алергічна реакція, яка може викликати затруднення дихання, задишку, свистячий подих і кашель; вона часто виникає від пилку, тваринної шерсті, плісняви або харчових алергенів;

5) системні алергічні реакції – це найважчий тип алергічних реакцій, який може викликати анафілаксію – стан, що загрожує життю людини і вимагає негайної медичної допомоги; анафілаксія може виникнути від контакту з алергенами, такими як їжа, наркотики або комахи.

Розглянемо також можливі фактори ризику для розвитку алергічних реакцій [15-18]:

1) сімейна історія алергій – якщо один або обидва батьки мають алергічні захворювання, імунна система дитини може бути схильною до алергічних реакцій;

2) екологічні фактори – забруднене повітря, куріння, використання пестицидів і забруднення води можуть збільшити ризик розвитку алергій;

3) харчові алергени – деякі продукти харчування, такі як молоко, яйця, горіхи, морепродукти і пшениця, можуть викликати алергічні реакції;

4) експозиція алергенам у ранньому віці – дитина, яка вперше зустрічається з алергенами у ранньому віці, може мати алергію впродовж життя;

5) стрес і інші фактори – стрес, втома, відсутність сну та інші фактори можуть збільшити схильність до алергічних реакцій;

6) генетичні фактори – деякі гени можуть збільшити схильність до алергій, сприяючи розвитку певних видів алергічних реакцій;

7) контакт з домашніми тваринами – присутність домашніх тварин у домі може сприяти розвитку алергічних реакцій у людей, які на них чутливі.

Розуміння можливих факторів ризику для алергічних реакцій може допомогти людям уникнути алергенів та зменшити ризик виникнення алергічних проблем. Деякі люди відчують полегшення від алергічних симптомів, виконуючи такі заходи, як [19-22]:

1) уникання алергенів – якщо відомо, які речовини викликають алергічні реакції, важливо уникати контакту з ними; наприклад, якщо людина має алергію на пилок, їй варто намагатись не виходити на вулицю в період цвітіння рослин, або якщо людина має алергію на певні харчові продукти, їй варто уникати їх споживання;

2) зменшення експозиції алергенам вдома – використовуйте спеціальні матраци та подушки для зменшення ризику контакту з пилом та іншими алергенами вдома; також рекомендується регулярно прибирати та провітрювати приміщення;

3) прийом антигістамінних препаратів – деякі люди знаходять полегшення від алергічних симптомів за допомогою антигістамінних препаратів, які можна придбати без рецепта;

4) користування інгаляторами – люди, які мають алергічні реакції на пилок та інші аерозольні алергени, можуть знайти полегшення від симптомів за допомогою інгаляторів з ліками або фільтрами;

5) контроль харчування – уникайте споживання їжі, яка може викликати алергічну реакцію; якщо людина-алергік вперше пробує новий продукт, їй варто бути обережною та уважно спостерігати за реакцією організму.

Дуже поширеною алергією є алергія на пилок (сінна лихоманка, поліноз – рис. 1.1), яка особливо небезпечна в умовах, коли рослини активно продукують свій пилок [23-25]. Часто пилок є прямим або опосередкованим фактором сезонності грипоподібних епідемій [26]. Пилок – це надто дрібний порошок, що виробляється деревами, квітами, травами та бур'янами для добрива інших рослин того ж виду. У багатьох людей виникає несприятлива імунна відповідь, коли вони вдихають пилок. Зазвичай імунна система запобігає хворобам, захищаючи організм від шкідливих вторгнень (віруси та бактерії).



Рисунок 1.1 – Поліноз [27]

У людей з полінозом імунна система помилково ідентифікує нешкідливий пилок як небезпечний. Вона починає виробляти хімічні речовини (зокрема, гістамін) для боротьби з пилом. Алергічна реакція призводить до численних дратівливих симптомів, таких як: чхання, закладеність носа та сльозотеча [28-30].

Алергія на пилок може впливати на значну частку населення у багатьох країнах. Кількість людей у світі, чутливих до пилку рослин, неухильно зростає. За прогнозами World Health Organization (WHO), майже всі мешканці найбільших міст світу можуть бути уражені сезонною алергією [31-35].

Географічний розподіл рослин, що продукують пилок, представлений на рис. 1.2 [33]. Світлі зони представляють території з низьким або середнім рівнем

поширення, темні зони – з високим рівнем поширення відповідних видів. *Ambrosia artemisiifolia* (амброзія полинолиста) представлена синім кольором, *Artemisia vulgaris* (полин звичайна) – фіолетовим, *Cupressus arizonica* / *Cupressus sempervirens* (кіпарис) – червоним, *Juniperus ashei* (гірський кедр) – помаранчевим, *Cryptomeria japonica* (японський кедр) – жовтим.

Distribution of *Ambrosia artemisiifolia*



Distribution of *Artemisia vulgaris*



Distribution of *Cupressus arizonica* / *Cupressus sempervirens*



Distribution of *Juniperus ashei*



Distribution of *Cryptomeria japonica*



Рисунок 1.2 – Географічний розподіл рослин, що продукують пилок [33]

В Україні, як і у світі, алергічні захворювання в сезонні періоди цвітіння рослин є актуальною проблемою та причиною численних захворювань дітей, зниження працездатності дорослого населення. Така алергія є досить поширеною й охоплює за різними даними від 7% до 30% населення в Україні [36, 37]. Аероалергени, до яких були чутливі обстежені особи, представлені на рис. 1.3 [37]. Групи рослин за перехресною реактивністю їхнього пилку представлені на рис. 1.4 [37].

Пилок/спори	Алергени	Чутливих від загальної кількості обстежених, %	З них з дуже високим ступенем сенсibilізації, %
Тимофіївка лучна (Тонконогові)	Phl p, Phl p 1, Phl p 12, Phl p 2, Phl p 5.0101, Phl p 6, Phl p 7	38,80	23,16
Амброзія	<i>Amb a 1, Amb a, Amb a 4</i>	34,95	40,96
Береза	<i>Bet v, Bet v 1, Bet v 2, Bet v 6</i>	34,06	27,25
Пажитниця багаторічна (Тонконогові)	<i>Lol p 1</i>	28,83	6,61
Полин	Art v, Art v 1, Art v 3	23,49	21,43
Альтернарія	<i>Alt a, Alt a 1</i>	23,29	54,66
Вільха	Aln g 4, Aln g, Aln g 1	21,62	15,07
Ліщина (фундук)	Cor a 1.0103, Cor a_pollen	19,15	2,06
Олива	Ole e 1, Ole e 2	17,51	1,69
Жито (Тонконогові)	Sec s_pollen	14,34	4,83
Фінікова пальма	Pho d 2	10,78	29,63
Кипарис	Cup a 1, Cup s	9,59	1,03

Рисунок 1.3 – Аероалергени, до яких були чутливі обстежені особи [37]

Група рослин	Період цвітіння представників в Україні	Сенсибілізація пацієнтів до пилку представників групи, % від загальної
Родина Березові (береза, граб, вільха, ліщина)	Кінець лютого–квітень	36,10
Порядок Букоцвіті (Березові+дуб, бук, горіх, в'яз)	Лютий–середина травня	36,60
Родина Маслинові (ясен, олива, бирючина, бузок)	Кінець березня–травень	18,10
Родина Тонконогові (всі злаки)	Кінець квітня–жовтень	42,538
Родина Айстрові (полін+амброзія)	Липень–жовтень	42,14
Родина Амарантові (кіноа, лобода, солянка)	Кінець квітня–жовтень	5,84

Рисунок 1.4 – Групи рослин за перехресною реактивністю їхнього пилку [37]

Вміст алергенів, пилкове навантаження та симптоми пилкової алергії варіюються залежно від регіону та року. Загострення полінозу відбувається в теплу пору року – з березня по жовтень (коли в повітря потрапляє величезна кількість пилку, що утворюється під час цвітіння дерев, чагарників, трав, бур'янів). Симптоми сінної лихоманки можуть бути особливо вираженими весною або влітку, залежно від того, коли певні рослини цвітуть та розсипають пилок, і пилок конкретних рослин перебуває в повітрі у великих кількостях. Вона характеризується прогресуючим характером перебігу та формуванням бронхіальної астми. Вона може бути особливо вираженою в регіонах з великою кількістю рослин, що розпилюють свій пилок [38, 39].

Що стосується рослин, які найчастіше викликають алергічні реакції, то це зазвичай трав'янисті та деревні рослини [40-45]. До найпоширеніших алергенів можна віднести деревинний пилок – пилок дерев, таких як клен, дуб, береза, тополя, ялина та вільха. Деякі види трав, такі як кріп, метелик, тимофеї та рогоз, мають високий рівень алергенності. Хоча квітковий пилок зазвичай не є основною причиною алергій, деякі люди можуть мати реакції на пилок від деяких квітів,

таких як лілії, троянди та гвоздики. Деякі трав'янисті рослини, такі як осот, полин, тимофіївка, пирій, амброзія та польовий маренг, є потенційними алергенами. Деякі види кущів, зокрема кущів з родини вербиців (наприклад, листяна вільха), також можуть викликати алергічні реакції. Це лише кілька прикладів рослин, які можуть викликати алергічні реакції. В атмосферному повітрі наявні, як правило, від 50 до 69 типів пилку в залежності від сезону. Від 24 до 27 типів пилку представляють деревні рослини і від 22 до 46 типів пилку належать до трав'янистих рослин [46]. Важливо пам'ятати, що алергенність рослин може змінюватися в залежності від географічного регіону та сезону.

Крім цього, велика кількість пилку викликає не лише алергічні, але й неалергічні захворювання, наприклад, амброзія виробляє більше активних форм кисню (reactive oxygen species), тому вона може викликати запалення, що призводить до симптомів захворювань верхніх і нижніх дихальних шляхів навіть у людей без алергічної астми, риніту чи кон'юнктивіту [47-50].

До найчастіших симптомів полінозу належать [51-55]:

- 1) закладеність носа, чхання, рясний нежить, кашель, набряк слизової, порушення носового дихання;
- 2) слезотеча, світлобоязнь, відчуття стороннього предмету і печіння в очах;
- 3) припухлість і почервоніння повік;
- 4) свербіж носа/очей;
- 5) зниження почуття смаку чи запаху;
- 6) кашель;
- 7) можливі напади бронхіальної астми, якщо у процес запалення втягується слизова оболонка бронхів;
- 8) загальні симптоми: головний біль, слабкість, знервованість, відсутність апетиту, зниження працездатності, порушення сну.

За даними Всесвітньої організації здоров'я (ВОЗ), приблизно 10-30% населення світу страждає від алергії на пилок. В Європі та інших регіонах світу спостерігається висока поширеність цієї алергії. Алергія на пилок вражає значну частину європейського населення і вважається, що її кількість буде зростати [39].

У Сполучених Штатах Америки, за даними Національного інституту алергії та інфекційних захворювань, близько 30% дорослих і 40% дітей стикаються з алергією на пилок рослин [56]. Рівень алергії на пилок може змінюватися в залежності від географічного розташування, типу рослин, які ростуть у певній області, та інших факторів середовища.

Поліноз може виявлятися досить дратівним станом, особливо в період цвітіння рослин, коли концентрація пилку в повітрі є високою. Якщо симптоми полінозу важкі або заважають повсякденному життю, важливо звернутися до лікаря-алерголога або імунолога для отримання професійної консультації та лікування. Лікарі можуть діагностувати алергію на пилок за допомогою шкірних тестів або кровних аналізів. Лікування може включати в себе використання антигістамінних препаратів, інгаляційних кортикостероїдів, імунотерапії та інших методів [57-59]. Лікування полінозу може включати застосування інгаляторів та інших ліків для полегшення симптомів. Лікар може рекомендувати специфічні алергенні вакцини (імунотерапію), яка допомагає зменшити чутливість до пилку рослин та зменшити важкість симптомів полінозу в майбутньому. Крім того, уникання контакту з пилом рослин, провітрювання приміщення та використання спеціальних фільтрів для пилку можуть також допомогти зменшити симптоми полінозу.

Знання про типи рослин-алергенів у конкретному регіоні може допомогти людям уникнути контакту з алергенами та краще управляти своїми симптомами. Розуміння цього дозволяє людям уникнути зайвого контакту з алергенами та вжити попереджувальних заходів. Отже, знання про рослини-алергени у певному регіоні може бути важливим інструментом для керування алергічними симптомами [60, 61].

Громадськість має великий інтерес до підрахунку кількості пилку та його прогнозів, так само як і багато медичних працівників в алергологічній спільноті. Багато організацій та інститутів здоров'я надають інформацію про типи рослин-алергенів у конкретних регіонах. Наприклад, у США Американська академія алергії, астми та імунології надає онлайн-інструмент під назвою «Національний

бюлетень пилку» («National Allergy Bureau»), де можна знайти інформацію про рівень пилку в різних містах та регіонах. Мета цієї програми полягає в наданні інформації про рівень пилку рослин для допомоги людям, які страждають від алергії на пилок, планувати свої дії та уникати перебування в областях з високим рівнем пилку. National Allergy Bureau співпрацює з мережею аеропаливних станцій по всіх Сполучених Штатах, щоб збирати зразки повітря та визначати концентрацію різних видів пилку рослин. Ці дані потім аналізуються і публікуються онлайн, де вони доступні для загального користування. За допомогою інструменту National Allergy Bureau люди можуть перевіряти рівень пилку в їхньому регіоні та отримувати інформацію про те, які види рослин в даний момент активно викидають пилок. Це дозволяє людям бути більш свідомими та керувати своїми діями для зменшення впливу алергічних реакцій [62, 63].

Як запобігти полінозу людям, чутливим до пилку рослин у період їхнього цвітіння [64-68]:

1) утримуватись від замських прогулянок (особливо у спекотні вітряні дні, найкраще перебувайте біля водойм, де вологість повітря вища, уникайте прогулянок вранці) та уникати контакту з алергенами (уникати вулиці під час періоду цвітіння рослин, особливо вдень та ввечері, коли концентрація пилку найвища, тримати вікна закритими під час цвітіння та використовувати кондиціонери з фільтрами повітря);

2) виходячи на вулицю, одягати сонцезахисні окуляри, які щільно прилягають до обличчя, повернувшись додому, прийняти душ, промити ніс та очі водою або ізотонічним чи гіпертонічним розчином харчової солі;

3) більше перебувати вдома, завісивши вікна вологою марлею, складеною в декілька шарів;

4) для очищення повітря використовувати кондиціонер, часто робити вологе прибирання;

5) провітрювати приміщення (найкраще це робити вночі або рано вранці, коли концентрація пилку ще не настільки велика, або після дощу, коли концентрація пилку мінімальна);

б) з обережністю ставитись до підбору кімнатних та садових рослин, оскільки вони мають однакові антигени з пилом дерев, трав, бур'янів (герань, примула, садові та польові квіти – троянда, бузок, жасмин, конвалія тощо);

7) уникати продуктів харчування, що посилюють прояви алергії, вживання фітопрепаратів; чутливість до одного алергену може призвести до виникнення чутливості до схожого продукту, який містить такий же або подібний білок;

8) застосовувати медичні препарати, такі як антигістаміни, назальні спреї або очні краплі;

9) якщо симптоми стали більш серйозними або якщо ліки від алергії викликають небажані побічні ефекти, варто звернутись до свого лікаря;

10) контролювати прогнози пилку – використовувати метеорологічні додатки або сайти, щоб слідкувати за прогнозами пилку і планувати свої дії відповідно.

1.2 Засоби моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів

Існує кілька мобільних додатків, які допомагають відстежувати рівень пилку та передбачати піки алергічних реакцій, що допомагає краще планувати дії користувача та уникати проблем зі здоров'ям.

Pollen.com's Allergy Alert – додаток надає щоденні прогнози пилку для заданого регіону, включаючи дані про концентрацію пилку різних рослин, а також прогнози алергічних реакцій для заданого регіону; додаток дозволяє користувачам отримувати актуальні дані про пилок та погоду, що допомагає їм краще планувати свої дії та уникати алергічних проблем; основні функції Pollen.com's Allergy Alert: щоденні прогнози пилку – інформація про рівень пилку різних видів рослин на сьогоднішній та на наступні дні, моніторинг симптомів – користувачі можуть вести журнал своїх алергічних реакцій для відстеження впливу пилку на їхнє здоров'я, прогнози алергічних реакцій – прогнози алергічних реакцій на основі рівня пилку та інших факторів для кращого планування дій користувачами, налаштування сповіщень – користувачі можуть налаштувати сповіщення про піки пилку та алергічних реакцій; таким чином, додаток Pollen.com's Allergy Alert є корисним

інструментом для людей, які страждають від алергії на пилок, допомагаючи їм краще управляти своїми симптомами та зменшувати їх вплив на їхнє щоденне життя. Додаток надає 5-денний актуальний прогноз погоди та алергії. Це єдиний додаток, який надає докладну інформацію про найпопулярніші алергени у США (дуб, кедр, ялівець, береза, клен, в'яз, ясен, амброзія, трава, шовковиця, золотарник тощо) із детальним описом рослин і їх зображеннями. Динамічний фон екрана змінюється залежно від сезону алергії: дерево, трава або амброзія [69-72].

Zyrtec AllergyCast – мобільний додаток, розроблений спеціально для людей, які страждають від алергій на пилок та інші алергени, який надає щоденні прогнози алергічних реакцій, включаючи інформацію про рівень пилку рослин та погодні умови для заданого регіону; основні функції Zyrtec AllergyCast: щоденні прогнози алергій – додаток надає щоденні прогнози рівня пилку рослин та інших алергенів для заданого регіону та дані про погодні умови, карта пилку рослин – додаток має карту з відображенням рівнів пилку різних видів рослин у заданому регіоні для уникнення користувачем областей з високим рівнем пилку, прогнози симптомів – додаток надає прогнози алергічних симптомів на основі рівня пилку та інших факторів з метою кращого планування дій користувачем, сповіщення про піки пилку – користувачі можуть отримувати сповіщення про піки пилку з метою ознайомлення із станом справ; таким чином, Zyrtec AllergyCast також є корисним інструментом для управління алергічними симптомами та планування дій для людей з алергіями на пилок та інші алергени. Додаток аналізує дані про пилок і погоду в США з урахуванням того, як почувуються конкретні користувачі, щоб визначити, що викликає їх алергію. Дані про пилок і погоду, які використовуються для визначення того, що викликає у користувача алергію, збираються з понад 10 000 станцій обробки даних у США [73-75].

WebMD Allergy – мобільний додаток відомого медичного ресурсу WebMD, який пропонує інформацію про алергічні реакції та пилок у заданому регіоні, а також поради щодо управління симптомами алергії; основні функції додатку: щоденні прогнози алергії – додаток надає інформацію про рівень пилку рослин, алергени у повітрі та інші фактори, що можуть впливати на алергічні реакції, для

заданого регіону, симптоми та лікування – додаток містить інформацію про симптоми різних видів алергій та рекомендації щодо лікування, включаючи поради щодо вживання медикаментів та інших методів управління симптомами, трекер алергічних реакцій – користувачі можуть вести журнал своїх алергічних реакцій та симптомів, щоб відстежувати їх і ділитися з лікарем, поради щодо уникнення алергенів – додаток надає поради щодо того, як уникнути контакту з алергенами та зменшити ризик виникнення алергічних реакцій; загалом, WebMD Allergy також є корисним інструментом для тих, хто стикається з алергіями, допомагаючи їм краще розуміти свої симптоми, управляти ними та знаходити ефективні методи лікування [76-78].

AccuWeather – один з найвідоміших мобільних додатків та веб-сайтів для прогнозу погоди, що надає користувачам інформацію про погоду на сьогодні, наступні дні та навіть на кілька тижнів вперед, який також надає інформацію про рівень пилку та прогнози алергічних реакцій; основні функції AccuWeather: щоденні прогнози алергії – додаток надає інформацію про рівень пилку рослин, алергени у повітрі та прогнози алергічних реакцій для заданого регіону, карти пилку – додаток може відображати карту розподілу пилку для заданого регіону, допомагаючи користувачу зрозуміти, які алергени переважають у заданому районі та як це може вплинути на його алергічні реакції, сповіщення про алергію – користувач може налаштувати сповіщення про піки пилку та алергічних реакцій, щоб бути завжди в курсі ситуації, поради щодо управління алергіями – додаток також може надавати поради щодо того, як уникнути контакту з алергенами та зменшити ризик виникнення алергічних реакцій; загалом, AccuWeather – це зручний інструмент, який допомагає людям з алергіями краще управляти своїми симптомами та планувати свої дії в залежності від погодних умов та рівня пилку в повітрі [79-81].

Очевидно, що є й інші мобільні додатки для відстеження рівня пилку та передбачення алергічних реакцій, проте, як бачимо, всі вони мають схожі функції. Однак рівень використання таких додатків був і залишається відносно низьким, особливо в Україні, на що, очевидно, значною мірою вплинуло сприйняття

потенційними користувачами співвідношення ціни та вигоди, надійності та доступності [63, 82].

Звісно, що найбільш корисною буде кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища, яка не тільки використовуватиме наявну та прогнозу інформацію про активність джерел пилку у заданому регіоні, але й вимірюватиме концентрацію пилку в повітрі в реальному часі, завдяки чому допомагатиме відстежувати рівень пилку в регіоні, де перебуває користувач, а також, враховуючи геолокаційні дані користувача, надаватиме корисну інформацію для планування маршруту користувачем з уникненням перебування у зонах підвищеного ризику.

Отже, задача створення кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів є актуальною. Відтак наше дослідження присвячене розробленню методу та кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використання геолокаційних даних.

1.3 Висновки. Постановка задачі

Алергія на пилок, відома також як сінна лихоманка, є дуже поширеним алергічним реакцією, особливо небезпечною у періоди активного пилювання рослин. Часто пилок виступає як чинник, що сприяє сезонним грипоподібним епідеміям. Ця форма алергії впливає на значну частину населення в численних країнах. Кількість алергенів, навантаження пилом та прояви алергії на пилок можуть відрізнятися в залежності від місця і часу. Симптоми сінної лихоманки можуть бути особливо вираженими весною або влітку, коли певні рослини активно розсіпають пилок, що потрапляє в повітря у великих кількостях. Ця проблема може бути особливо поширеною у регіонах з великою кількістю рослин, що розпилюють пилок.

Найбільш корисною буде кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища, яка не тільки використовуватиме наявну та прогнозу інформацію про активність джерел пилку у заданому регіоні, але й вимірюватиме концентрацію

пилку в повітрі в реальному часі, завдяки чому допомагатиме відстежувати рівень пилку в регіоні, де перебуває користувач, а також, враховуючи геолокаційні дані користувача, надаватиме корисну інформацію для планування маршруту користувачем з уникненням перебування у зонах підвищеного ризику. Отже, задача створення кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів є актуальною. Відтак наше дослідження присвячене розробленню методу та кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використання геолокаційних даних.

Метою кваліфікаційної роботи є моніторинг навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних шляхом створення кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, яка надає користувачу корисну інформацію для планування маршруту з уникненням перебування у зонах підвищеного ризику.

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних *задач*:

- 1) аналіз відомих методів та рішень для моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів;
- 2) моделювання процесу моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів;
- 3) розроблення методу моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів;
- 4) розроблення архітектури кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів;
- 5) проведення експериментів із використанням розробленої кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів.

Об'єктом дослідження є процес моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів.

Предметом дослідження є метод та кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів.

2 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ПРЕДМЕТ АЛЕРГЕНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОЛОКАЦІЙНИХ ДАНИХ

2.1 Вибір компонентів для кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних

Будь-яка кіберфізична система включає три рівні [83]. Нижній рівень - це датчики і виконавчі механізми (сервоприводи). Середній рівень складається з контролера, до якого підключені ці датчики і сервоприводи. Верхній рівень представляє систему, яка забезпечує збір, моніторинг і управління даними кіберфізичної системи в реальному часі.

Тоді, для створення кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних потрібно, враховуючи призначення такої системи, відібрати відповідні датчики пилку для створення нижнього рівня, вибрати контролер для формування середнього рівня і розробити метод для збирання, моніторингу та управління даними на верхньому рівні. Крім того, необхідно визначити стандарт передачі даних для забезпечення зв'язку між компонентами всіх трьох рівнів.

Сьогодні найпоширенішою технікою ідентифікації видів пилку в повітрі та моніторингу їх концентрації є ручний аналіз. Проте варто все ж використовувати датчики пилку, які автоматично підраховують та ідентифікують пилкові зерна, виконуючи вимірювання під кількома кутами розсіювання.

На сьогоднішній день найпоширенішою технікою для визначення наявності пилку в повітрі та його кількісного визначення є об'ємні пробовідбірники з використанням дизайну Херста або технології Rotorod. Принцип вимірювання передбачає збір пилкових зерен, що осідають на клейкій поверхні, як правило, після періоду відбору проб протягом одного тижня, а потім ідентифікацію та підрахунок їх під мікроскопом для отримання середньодобових концентрацій пилку за

останній тиждень. Такі ручні інструменти використовувалися щонайменше на 749 станціях моніторингу з 879 у всьому світі [84].

Незважаючи на їх звичайний характер, їх широке використання та їх здатність надати загальну картину вмісту пилку в навколишньому повітрі, методологічні обмеження цих інструментів викликають сумніви щодо їх ефективності з точки зору здоров'я та лікування алергії. Завдання ідентифікації та підрахунку пилкових зерен на око за допомогою мікроскопа є виснажливим і вимагає багато часу, що, якщо додати до періоду відбору зразків в один тиждень, створює негативну затримку в поширенні інформації про пилок. Більше того, зазвичай аналізують лише 10% пилкових зерен, що осідають на клейкій поверхні, що створює високу невизначеність за низьких концентрацій пилка. Експлуатація цього типу інструментів також може бути предметом великих накладних витрат, оскільки висококваліфіковані технічні спеціалісти мобілізуються для виконання процесу аналізу вручну, що обмежує можливість розгорнути щільну мережу станцій моніторингу, необхідних для правильного покриття певної території. Наприклад, існує лише 85 активних пилкових станцій, які охоплюють такі великі країни, як США чи Франція, а міста, які контролюються, рідко обладнані більш ніж одним об'ємним пробовідбірником. Як наслідок, просторова неоднорідність концентрації пилку, пов'язана з місцевими джерелами викидів, не враховується в інформації про пилок, що надається алергікам. Щоб хоча б частково вирішити вищезазначені проблеми, великий інтерес представляють нові автоматизовані рішення [84].

Датчики пилку – це прилади, які використовуються для вимірювання рівня пилку у повітрі. Вони можуть бути використані для моніторингу якості повітря в приміщеннях або на вулиці, а також для виявлення алергенів у повітрі, які можуть викликати алергічні реакції у людей.

Найпоширеніші типи датчиків пилку включають лазерні датчики та оптичні датчики. Вони працюють на принципі вимірювання розсіяного світла частинками пилку, які присутні у повітрі. Деякі датчики також можуть виявляти і вимірювати

розмір частинок пилку, що дозволяє отримати більш детальну інформацію про склад аерозольного забруднення.

Ціни на датчики пилку можуть варіюватися в залежності від їхніх технічних характеристик та функціональності. Деякі датчики можуть бути більш спеціалізованими та коштувати дорожче, в той час як інші можуть бути більш доступними за ціною.

На відміну від стандартних сенсорів, які можуть вимірювати загальний рівень пилку у повітрі, деякі датчики пилку можуть бути спеціалізовані на вимірюванні пилку конкретних видів рослин або алергенів. Ці датчики можуть бути корисні для людей, які страждають від алергій на пилок конкретних рослин, допомагаючи їм відстежувати рівень пилку у повітрі та вживати заходи для запобігання алергічним реакціям. Такі датчики можуть бути особливо корисними для людей, які живуть в районах з високим рівнем пилку конкретних рослин або для тих, хто планує проводити час на відкритому повітрі під час періодів пікового випуску пилку. На жаль, датчики конкретних рослин не так поширені, як загальні датчики пилку, які вимірюють загальний рівень пилку у повітрі. Однак, деякі датчики пилку можуть бути налаштовані на виявлення пилку різних рослин шляхом аналізу їх характерних маркерів або біологічних властивостей.

Завдяки останнім досягненням у сенсорних технологіях протягом останніх кількох років було розроблено кілька автоматичних датчиків пилку, які починають використовуватись. Деякі з цих пристроїв імітують концепцію Герста та повністю автоматизують процес аналізу за допомогою методів розпізнавання зображень. У [85, 86] автори представили систему VAA500, яка ідентифікує та підраховує пилкові зерна, що осідають на предметному склі, за допомогою згорткової нейронної мережі. Алгоритм навчений на великій бібліотеці мікроскопічних зображень у кількох фокальних позиціях і, як повідомляється, ідентифікує 40 видів пилку з мультикласовою точністю понад 90%.

Інші автоматичні пристрої засновані на цитометрії повітряного потоку, у більшості випадків поєднуючи алгоритми машинного навчання, такі як згорткові нейронні мережі, і такі різноманітні технології, як індукована лазером

флуоресценція, цифрова голографія або пружне розсіювання світла [87-90]. Серед них можна назвати монітори SwisensPoleno [88], в яких завдання класифікації пилку виконується за допомогою глибокої згорткової нейронної мережі з архітектурою VGG16. Результати експерименту показують, що пристрій здатний розпізнавати шість видів пилку з восьми з точністю понад 90%.

У дослідженні [91] автори показали, що пилок демонструє специфічні криві розсіювання інтенсивності, що дозволяє виявляти їх серед інших типів частинок і навіть розрізняти їх різні родини.

Незалежно від технології, що використовується, і незважаючи на їх багатообіцяючі можливості ідентифікації конкретних видів пилку та забезпечення відповідних концентрацій у режимі реального часу, ці нові автоматичні інструменти все ще занадто дорогі та/або занадто громіздкі для розгортання в щільних мережах, що є перешкодою для більшої кількості місцева та локалізована інформація про пилок.

Датчики пилку працюють, втягуючи повітря та ідентифікуючи частинки пилку за допомогою лазерної технології. Датчик обчислює концентрацію пилку, аналізуючи світло, відбите від цих частинок. Потім дані класифікуються за типом пилку на основі розміру та форми частинок.

Датчик пилку PS2 (рис. 2.1) виявляє частинки пилку за допомогою методу розсіювання світла, використовуючи один випромінювач світла та два рецептори світла, і відрізняє пилок японського кедря чи кипариса від інших частинок (наприклад, пилу) за двома факторами «інтенсивність розсіяного світла» та «ступінь поляризації». Оптичний блок і схема повністю закриті пластиковим корпусом, а вбудований нагрівач захищає датчик від роси. Вбудований всмоктуючий вентилятор забезпечує постійний і більший відбір проб повітря. Інформацію про кількість пилку можна отримати без затримки, скориставшись перевагами аналізу в реальному часі. Виявляє частинки розміром 15 мкм. Встановлення необхідного програмного забезпечення оцінки значень дозволяє датчику безперервно відображати дані в реальному часі в будь-який час і в будь-якому місці. Вартість – порядку 35 доларів США [92].



Рисунок 2.1 – Датчик пилку PS2 [92]

Beenose – це оптичний датчик пилку, розроблений компанією Lify-Air у співпраці з Національним центром наукових досліджень Франції (CNRS) і виготовлений Lify-Air. Прилад являє собою проточний цитометр (рис. 2.2), який використовує принцип розсіювання світла для ідентифікації та підрахунку пилку та інших типів аерозолів. Це недорогий оптичний датчик пилку в режимі реального часу, який автоматично підраховує та ідентифікує пилкові зерна, виконуючи вимірювання під кількома кутами розсіювання. Beenose має на меті розпізнавати різні таксони пилку та передавати їх концентрації в режимі реального часу за допомогою багатокуткових шаблонів розсіювання світла. Аналіз базується на наборі з 12 видів пилку, деякі з яких були відібрані за їх алергічною дією [84].



Рисунок 2.2 – Датчик пилку Beenose [84]

Список видів пилку, що виявляються датчиком пилку Beenose, представлений на рис. 2.3.

Common Name	Latin Name	Theoretical Diameter	Number of Samples	Total Number of Grains
Alder	<i>Alnus glutinosa</i>	27 to 29 μm	216	2593
Sweet vernal grass	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	37 to 41 μm	171	6988
Ragweed	<i>Ambrosiaartemisiifolia</i>	18 to 21 μm	179	1350
Birch	<i>Betula pendula</i>	27 to 29 μm	209	1789
Hazel	<i>Corylus avellana</i>	28 to 30 μm	242	1403
Cypress	<i>Cupressus sempervirens</i>	30 μm	189	3896
Fescue	<i>Festuca pratensis</i>	42 to 48 μm	195	5196
Ash	<i>Fraxinus excelsior</i>	29 μm	198	2462
Olive tree	<i>Olea euopaea</i>	25 μm	231	1244
Wall pellitory	<i>Parietaria officinalis</i>	13 to 15 μm	299	5150
Plane tree	<i>Platanus acerifolia</i>	22 μm	201	634
Common oak	<i>Quercus robur</i>	36 μm	203	3557

Рисунок 2.3 – Список видів пилку, що виявляються датчиком пилку Beenose [84]

Принцип вимірювання кількості пилку датчиком пилку Beenose представлений на рис. 2.4.

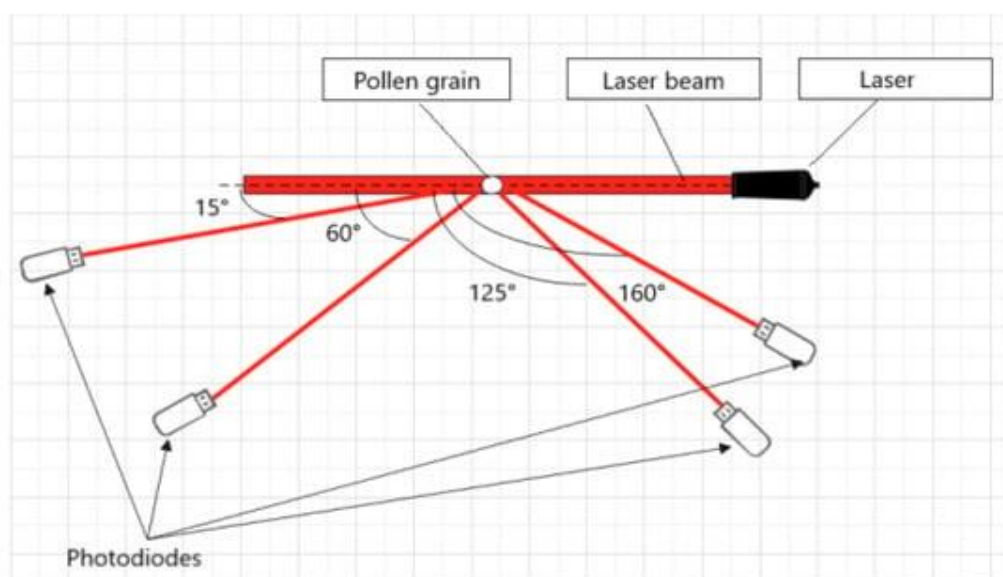


Рисунок 2.4 – Принцип вимірювання кількості пилку датчиком пилку Beenose [84]

Датчик APS-400 від Pollen Sense LLC (рис. 2.5) – це перший повністю автоматизований пристрій у режимі реального часу, який підраховує пилок, цвіль, грибкові патогени культур, мікропластик, собачу шерсть, частинки диму та більше. Новий APS-400 покращує серію APS-300, він став доступнішим, меншим і легшим. APS-400 розбиває дані про частинки на такі групи, як пилок, цвіль і мікропластики, а також на типи пилку та цвілі (наприклад, пилок в'яза, пилок дуба, спори цвілі *Aspergillus*, спори цвілі *Alternaria*). Дані про пилок від APS-400 є життєво важливими для тих, хто страждає від сезонної алергії, але також змінюють правила гри для вимірювання рівня цвілі та лупи в приміщенні, захворювань культур і навіть загальної якості повітря. Датчики Pollen Sense і безкоштовний додаток (Pollen Wise) щогодини надають необхідні дані для прийняття найкращих рішень щодо якості повітря. Вартість – від 2300 доларів США [93, 94].



Рисунок 2.5 – Датчик пилку Pollen Sense APS-400 [93]

Монітор якості повітря Dylos DC 1100 (рис. 2.6) – це справжній лазерний лічильник частинок із двома діапазонами розмірів: малий (>1 мікрон – бактерії, цвіль тощо) та великий (>5 мікрон – пилок тощо). DC1100 оснащено технологією та розробкою, яка дозволяє контролювати якість повітря в приміщенні за допомогою рідкокристалічного екрана, який показує фактичні показники кількості часток. Має кілька режимів та моніторинг, щоб оцінити якість повітря та зберегти до 30 днів історію якості повітря для перегляду. Вартість – від 260 доларів США [95].



Рисунок 2.6 – Монітор якості повітря Dylos DC 1100 [95]

Враховуючи функціональність, точність та вартість датчиків пилку в повітрі, для проектування нижнього рівня кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних оберемо монітор якості повітря Dylos DC 1100.

Розглянемо IoT-контролери, до яких будуть підключатись обрані вище датчики, для проектування середнього рівня кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів.

Однією з можливих моделей IoT-контролера для кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних може бути ESP32. Цей контролер є потужним та має вбудовану підтримку Wi-Fi та Bluetooth, що дозволяє йому збирати дані з різних датчиків та надсилати їх до хмарного сервісу для аналізу. До ESP32 можуть бути приєднані сенсори пилку або датчики забруднення повітря, а також в ньому може бути GPS-модуль для збору геолокаційних даних. За допомогою цих даних, контролер може визначати місцеположення та аналізувати рівень алергенів у різних районах. ESP32 також має широкий спектр підтримуваних програмних платформ, що дозволяє розробникам легко розробляти та налаштовувати програмне забезпечення для взаємодії з датчиками та обробки даних. Загалом, ESP32 може бути ефективним IoT-контролером для моніторингу алергенів у навколишньому середовищі з використанням геолокаційних даних.

Іншою можливою моделлю IoT-контролера для цієї системи може бути Arduino з додатковим модулем Wi-Fi або GSM для забезпечення зв'язку з хмарним сервісом. Arduino є популярною платформою для розробки пристроїв Інтернету речей (IoT) завдяки своїй простоті використання та великій кількості доступних сенсорів та модулів. За допомогою Arduino можна підключити різноманітні датчики, такі як сенсори пилку, датчики забруднення повітря або датчики алергенів, і збирати дані про рівень алергенів у різних місцях. З допомогою модулів Wi-Fi або GSM Arduino може надсилати ці дані до сервера для подальшої обробки та аналізу. Arduino має широку спільноту розробників та багато доступних бібліотек із програмним забезпеченням, що полегшує розробку програм для збору та обробки даних про алергени. Ця платформа може бути ефективним і надійним рішенням для моніторингу алергенів у навколишньому середовищі з використанням геолокаційних даних.

Ще один можливий варіант IoT-контролера для системи моніторингу алергенів із використанням геолокаційних даних – це Raspberry Pi. Raspberry Pi – це одноплатний комп'ютер з великою кількістю вбудованих портів вводу/виводу, можливістю підключення до мережі Інтернет та геолокаційних модулів. Завдяки

своїм потужностям та можливостям Raspberry Pi може бути використаний для збору даних від різних сенсорів, включаючи датчики пилку та інші датчики забруднення повітря. Він може працювати як центральний контролер, який збирає дані з різних джерел та відправляє їх на хмарні сервери для подальшого аналізу. З використанням геолокаційних модулів, таких як GPS або модулі з підтримкою Wi-Fi/Bluetooth, Raspberry Pi може відстежувати своє місцезнаходження та збирати геолокаційні дані, які можуть бути використані для аналізу алергенних умов у різних місцях. З урахуванням своєї низької вартості та гнучкості у використанні Raspberry Pi може бути ефективним рішенням для створення системи моніторингу алергенів у навколишньому середовищі з використанням геолокаційних даних.

Враховуючи функціональність, гнучкість та вартість IoT-контролерів, для проектування середнього рівня кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних оберемо IoT-контролер Raspberry Pi (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – IoT-контролер Raspberry Pi

Розглянемо стандарти передачі даних з позиції можливості їх застосування у кіберфізичній системі моніторингу алергенів з використанням геолокаційних даних. При виборі стандарту передачі даних, слід враховувати вимоги системи, її масштаби, характеристики пристроїв та інші фактори, щоб забезпечити ефективну та надійну передачу даних.

Стандарт передачі даних для Raspberry Pi зазвичай визначається застосованими протоколами зв'язку та інтерфейсами, які використовуються для обміну інформацією з іншими пристроями або мережами. Raspberry Pi підтримує різні інтерфейси, такі як Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth, USB, SPI, I2C та UART, які можуть використовуватися для зв'язку з іншими пристроями або мережами.

Wi-Fi – це набір стандартів для бездротового зв'язку між пристроями на основі радіочастотного діапазону. Wi-Fi підтримує різні швидкості передачі даних, залежно від версії стандарту. Наприклад, стандарт Wi-Fi 802.11n може досягати швидкостей до 600 Мбіт/с, тоді як новіші стандарти, такі як 802.11ac і 802.11ax (Wi-Fi 6), можуть досягати ще вищих швидкостей. Wi-Fi працює в різних частотних діапазонах, включаючи 2,4 ГГц та 5 ГГц. 5 ГГц частотний діапазон зазвичай забезпечує більшу швидкість передачі даних, але меншу дальність дії в порівнянні з 2,4 ГГц. Wi-Fi використовує різні схеми модуляції, такі як QPSK, 16-QAM, 64-QAM та OFDM, для передачі даних через радіочастотний канал. Wi-Fi має різні протоколи захисту, такі як WEP, WPA і WPA2, які забезпечують шифрування та ідентифікацію пристроїв для забезпечення безпеки зв'язку. Стандарт Wi-Fi широко використовується для побудови бездротових мереж в домашніх, офісних та громадських приміщеннях, а також для підключення до Інтернету мобільних пристроїв, ноутбуків, смарт-телевізорів, інтернет-роутерів та інших пристроїв.

Отже, стандарт передачі даних для Raspberry Pi може варіюватися в залежності від конкретного застосування та використаних інтерфейсів та протоколів зв'язку. Для налагодження зв'язку між компонентами всіх трьох рівнів кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних стандарт Wi-Fi.

2.2 Моделювання процесу моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів

Отже, в результаті проведеного дослідження було сформовано перелік найпоширеніших пилок-алергенів, які буде моніторити кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних:

- 1) пилок клена;
- 2) пилок дуба;
- 3) пилок берези;
- 4) пилок тополі;
- 5) пилок вільхи;
- 6) пилок метелика (будлеї);
- 7) пилок рогоза;
- 8) пилок лілії;
- 9) пилок троянди;
- 10) пилок гвоздики;
- 11) пилок осота;
- 12) пилок полину;
- 13) пилок тимофіївки;
- 14) пилок пирію;
- 15) пилок амброзії.

Нехай hpc_1 – порогове значення вмісту пилку клена у повітрі, по перевищенню якого відбувається попередження та сповіщення про потенційно високий рівень алергена, lpc_1 – порогове значення вмісту пилку клена у повітрі, нижче якого рівень алергена вважається низьким і безпечним, pc_1^i – виміряне датчиком значення вмісту пилку клена у повітрі i -ї ділянки з множини значень концентрації пилку різних рослин на i -ій ділянці $PC^i = \{pc_1^i, pc_2^i, \dots, pc_{15}^i\}$, pcm_1^i – отримане з наявних карт пилку, характерних для визначеного регіону для поточної дати, значення вмісту пилку клена з множини значень концентрації пилку різних

рослин $PCM^i = \{pc_{11}^i, pc_{12}^i, \dots, pc_{15}^i\}$, тоді критерій загрози від пилку клена у повітрі i -ї ділянки має вигляд:

- якщо $pc_{11}^i > hpc_1$ та/або $pc_{11}^i > hpc_1$, то вміст пилку клена у повітрі i -ї ділянки – потенційно високий та небезпечний;
- якщо $hpc_1 \geq pc_{11}^i > lpc_1$ та/або $hpc_1 \geq pc_{11}^i > lpc_1$, то вміст пилку клена у повітрі i -ї ділянки – середній;
- якщо $pc_{11}^i \leq lpc_1$ та/або $pc_{11}^i \leq lpc_1$, то вміст пилку клена у повітрі i -ї ділянки – низький і безпечний.

Нехай hpc_2 – порогове значення вмісту пилку дуба у повітрі, по перевищенню якого відбувається попередження та сповіщення про потенційно високий рівень алергена, lpc_2 – порогове значення вмісту пилку дуба у повітрі, нижче якого рівень алергена вважається низьким і безпечним, pc_{21}^i – виміряне датчиком значення вмісту пилку дуба у повітрі i -ї ділянки з множини значень концентрації пилку різних рослин на i -ій ділянці $PC^i = \{pc_{11}^i, pc_{21}^i, \dots, pc_{15}^i\}$, pc_{21}^i – отримане з наявних карт пилку, характерних для визначеного регіону для поточної дати, значення вмісту пилку дуба з множини значень концентрації пилку різних рослин $PCM^i = \{pc_{11}^i, pc_{21}^i, \dots, pc_{15}^i\}$, тоді критерій загрози від пилку дуба у повітрі i -ї ділянки має вигляд:

- якщо $pc_{21}^i > hpc_2$ та/або $pc_{21}^i > hpc_2$, то вміст пилку дуба у повітрі i -ї ділянки – потенційно високий та небезпечний;
- якщо $hpc_2 \geq pc_{21}^i > lpc_2$ та/або $hpc_2 \geq pc_{21}^i > lpc_2$, то вміст пилку дуба у повітрі i -ї ділянки – середній;
- якщо $pc_{21}^i \leq lpc_2$ та/або $pc_{21}^i \leq lpc_2$, то вміст пилку дуба у повітрі i -ї ділянки – низький і безпечний.

Нехай hpc_3 – порогове значення вмісту пилку берези у повітрі, по перевищенню якого відбувається попередження та сповіщення про потенційно високий рівень алергена, lpc_3 – порогове значення вмісту пилку берези у повітрі, нижче якого рівень алергена вважається низьким і безпечним, pc_{31}^i – виміряне датчиком значення вмісту пилку берези у повітрі i -ї ділянки з множини значень концентрації пилку різних рослин на i -ій ділянці $PC^i = \{pc_{11}^i, pc_{21}^i, \dots, pc_{15}^i\}$, pc_{31}^i –

отримане з наявних карт пилку, характерних для визначеного регіону для поточної дати, значення вмісту пилку берези з множини значень значень концентрації пилку різних рослин $PCM^i = \{pct_1^i, pct_2^i, \dots, pct_{15}^i\}$, тоді критерій загрози від пилку берези у повітрі i -ї ділянки має вигляд:

- якщо $pc_3^i > hpc_3$ та/або $pct_3^i > hpc_3$, то вміст пилку берези у повітрі i -ї ділянки – потенційно високий та небезпечний;
- якщо $hpc_3 \geq pc_3^i > lpc_3$ та/або $hpc_3 \geq pct_3^i > lpc_3$, то вміст пилку берези у повітрі i -ї ділянки – середній;
- якщо $pc_3^i \leq lpc_3$ та/або $pct_3^i \leq lpc_3$, то вміст пилку берези у повітрі i -ї ділянки – низький і безпечний.

Нехай hpc_4 – порогове значення вмісту пилку тополі у повітрі, по перевищенню якого відбувається попередження та сповіщення про потенційно високий рівень алергена, lpc_4 – порогове значення вмісту пилку тополі у повітрі, нижче якого рівень алергена вважається низьким і безпечним, pc_4^i – виміряне датчиком значення вмісту пилку тополі у повітрі i -ї ділянки з множини значень концентрації пилку різних рослин на i -ій ділянці $PC^i = \{pc_1^i, pc_2^i, \dots, pc_{15}^i\}$, pct_4^i – отримане з наявних карт пилку, характерних для визначеного регіону для поточної дати, значення вмісту пилку тополі з множини значень концентрації пилку різних рослин $PCM^i = \{pct_1^i, pct_2^i, \dots, pct_{15}^i\}$, тоді критерій загрози від пилку тополі у повітрі i -ї ділянки має вигляд:

- якщо $pc_4^i > hpc_4$ та/або $pct_4^i > hpc_4$, то вміст пилку тополі у повітрі i -ї ділянки – потенційно високий та небезпечний;
- якщо $hpc_4 \geq pc_4^i > lpc_4$ та/або $hpc_4 \geq pct_4^i > lpc_4$, то вміст пилку тополі у повітрі i -ї ділянки – середній;
- якщо $pc_4^i \leq lpc_4$ та/або $pct_4^i \leq lpc_4$, то вміст пилку тополі у повітрі i -ї ділянки – низький і безпечний.

Нехай hpc_5 – порогове значення вмісту пилку вільхи у повітрі, по перевищенню якого відбувається попередження та сповіщення про потенційно високий рівень алергена, lpc_5 – порогове значення вмісту пилку вільхи у повітрі, нижче якого рівень алергена вважається низьким і безпечним, pc_5^i – виміряне

датчиком значення вмісту пилку вільхи у повітрі i -ї ділянки з множини значень концентрації пилку різних рослин на i -ій ділянці $PC^i = \{pc_1^i, pc_2^i, \dots, pc_{15}^i\}$, pst_5^i – отримане з наявних карт пилку, характерних для визначеного регіону для поточної дати, значення вмісту пилку вільхи з множини значень концентрації пилку різних рослин $PCM^i = \{pst_1^i, pst_2^i, \dots, pst_{15}^i\}$, тоді критерій загрози від пилку вільхи у повітрі i -ї ділянки має вигляд:

- якщо $pc_5^i > hpc_5$ та/або $pst_5^i > hpc_5$, то вміст пилку вільхи у повітрі i -ї ділянки – потенційно високий та небезпечний;
- якщо $hpc_5 \geq pc_5^i > lpc_5$ та/або $hpc_5 \geq pst_5^i > lpc_5$, то вміст пилку вільхи у повітрі i -ї ділянки – середній;
- якщо $pc_5^i \leq lpc_5$ та/або $pst_5^i \leq lpc_5$, то вміст пилку вільхи у повітрі i -ї ділянки – низький і безпечний.

Нехай hpc_6 – порогове значення вмісту пилку метелика (будлеї) у повітрі, по перевищенню якого відбувається попередження та сповіщення про потенційно високий рівень алергена, lpc_6 – порогове значення вмісту пилку метелика (будлеї) у повітрі, нижче якого рівень алергена вважається низьким і безпечним, pc_6^i – виміряне датчиком значення вмісту пилку метелика (будлеї) у повітрі i -ї ділянки з множини значень концентрації пилку різних рослин на i -ій ділянці $PC^i = \{pc_1^i, pc_2^i, \dots, pc_{15}^i\}$, pst_6^i – отримане з наявних карт пилку, характерних для визначеного регіону для поточної дати, значення вмісту пилку метелика (будлеї) з множини значень концентрації пилку різних рослин $PCM^i = \{pst_1^i, pst_2^i, \dots, pst_{15}^i\}$, тоді критерій загрози від пилку метелика (будлеї) у повітрі i -ї ділянки має вигляд:

- якщо $pc_6^i > hpc_6$ та/або $pst_6^i > hpc_6$, то вміст пилку метелика (будлеї) у повітрі i -ї ділянки – потенційно високий та небезпечний;
- якщо $hpc_6 \geq pc_6^i > lpc_6$ та/або $hpc_6 \geq pst_6^i > lpc_6$, то вміст пилку метелика (будлеї) у повітрі i -ї ділянки – середній;
- якщо $pc_6^i \leq lpc_6$ та/або $pst_6^i \leq lpc_6$, то вміст пилку метелика (будлеї) у повітрі i -ї ділянки – низький і безпечний.

Нехай hpc_7 – порогове значення вмісту пилку рогаза у повітрі, по перевищенню якого відбувається попередження та сповіщення про потенційно

високий рівень алергена, lpc_7 – порогове значення вмісту пилку рогаза у повітрі, нижче якого рівень алергена вважається низьким і безпечним, pc_7^i – виміряне датчиком значення вмісту пилку рогаза у повітрі i -ї ділянки з множини значень концентрації пилку різних рослин на i -ій ділянці $PC^i = \{pc_1^i, pc_2^i, \dots, pc_{15}^i\}$, pst_7^i – отримане з наявних карт пилку, характерних для визначеного регіону для поточної дати, значення вмісту пилку рогаза з множини значень концентрації пилку різних рослин $PCM^i = \{pst_1^i, pst_2^i, \dots, pst_{15}^i\}$, тоді критерій загрози від пилку рогаза у повітрі i -ї ділянки має вигляд:

- якщо $pc_7^i > hpc_7$ та/або $pst_7^i > hpc_7$, то вміст пилку рогаза у повітрі i -ї ділянки – потенційно високий та небезпечний;
- якщо $hpc_7 \geq pc_7^i > lpc_7$ та/або $hpc_7 \geq pst_7^i > lpc_7$, то вміст пилку рогаза у повітрі i -ї ділянки – середній;
- якщо $pc_7^i \leq lpc_7$ та/або $pst_7^i \leq lpc_7$, то вміст пилку рогаза у повітрі i -ї ділянки – низький і безпечний.

Нехай hpc_8 – порогове значення вмісту пилку лілії у повітрі, по перевищенню якого відбувається попередження та сповіщення про потенційно високий рівень алергена, lpc_8 – порогове значення вмісту пилку лілії у повітрі, нижче якого рівень алергена вважається низьким і безпечним, pc_8^i – виміряне датчиком значення вмісту пилку лілії у повітрі i -ї ділянки з множини значень концентрації пилку різних рослин на i -ій ділянці $PC^i = \{pc_1^i, pc_2^i, \dots, pc_{15}^i\}$, pst_8^i – отримане з наявних карт пилку, характерних для визначеного регіону для поточної дати, значення вмісту пилку лілії з множини значень концентрації пилку різних рослин $PCM^i = \{pst_1^i, pst_2^i, \dots, pst_{15}^i\}$, тоді критерій загрози від пилку лілії у повітрі i -ї ділянки має вигляд:

- якщо $pc_8^i > hpc_8$ та/або $pst_8^i > hpc_8$, то вміст пилку лілії у повітрі i -ї ділянки – потенційно високий та небезпечний;
- якщо $hpc_8 \geq pc_8^i > lpc_8$ та/або $hpc_8 \geq pst_8^i > lpc_8$, то вміст пилку лілії у повітрі i -ї ділянки – середній;
- якщо $pc_8^i \leq lpc_8$ та/або $pst_8^i \leq lpc_8$, то вміст пилку лілії у повітрі i -ї ділянки – низький і безпечний.

Нехай hrc_9 – порогове значення вмісту пилку троянди у повітрі, по перевищенню якого відбувається попередження та сповіщення про потенційно високий рівень алергена, lrc_9 – порогове значення вмісту пилку троянди у повітрі, нижче якого рівень алергена вважається низьким і безпечним, pc_9^i – виміряне датчиком значення вмісту пилку троянди у повітрі i -ї ділянки з множини значень концентрації пилку різних рослин на i -ій ділянці $PC^i = \{pc_1^i, pc_2^i, \dots, pc_{15}^i\}$, pst_9^i – отримане з наявних карт пилку, характерних для визначеного регіону для поточної дати, значення вмісту пилку троянди з множини значень концентрації пилку різних рослин $PCM^i = \{pst_1^i, pst_2^i, \dots, pst_{15}^i\}$, тоді критерій загрози від пилку троянди у повітрі i -ї ділянки має вигляд:

- якщо $pc_9^i > hrc_9$ та/або $pst_9^i > hrc_9$, то вміст пилку троянди у повітрі i -ї ділянки – потенційно високий та небезпечний;
- якщо $hrc_9 \geq pc_9^i > lrc_9$ та/або $hrc_9 \geq pst_9^i > lrc_9$, то вміст пилку троянди у повітрі i -ї ділянки – середній;
- якщо $pc_9^i \leq lrc_9$ та/або $pst_9^i \leq lrc_9$, то вміст пилку троянди у повітрі i -ї ділянки – низький і безпечний.

Нехай hrc_{10} – порогове значення вмісту пилку гвоздики у повітрі, по перевищенню якого відбувається попередження та сповіщення про потенційно високий рівень алергена, lrc_{10} – порогове значення вмісту пилку гвоздики у повітрі, нижче якого рівень алергена вважається низьким і безпечним, pc_{10}^i – виміряне датчиком значення вмісту пилку гвоздики у повітрі i -ї ділянки з множини значень концентрації пилку різних рослин на i -ій ділянці $PC^i = \{pc_1^i, pc_2^i, \dots, pc_{15}^i\}$, pst_{10}^i – отримане з наявних карт пилку, характерних для визначеного регіону для поточної дати, значення вмісту пилку гвоздики з множини значень концентрації пилку різних рослин $PCM^i = \{pst_1^i, pst_2^i, \dots, pst_{15}^i\}$, тоді критерій загрози від пилку гвоздики у повітрі i -ї ділянки має вигляд:

- якщо $pc_{10}^i > hrc_{10}$ та/або $pst_{10}^i > hrc_{10}$, то вміст пилку гвоздики у повітрі i -ї ділянки – потенційно високий та небезпечний;
- якщо $hrc_{10} \geq pc_{10}^i > lrc_{10}$ та/або $hrc_{10} \geq pst_{10}^i > lrc_{10}$, то вміст пилку гвоздики у повітрі i -ї ділянки – середній;

- якщо $pc_{10}^i \leq lpc_{10}$ та/або $pst_{10}^i \leq lpc_{10}$, то вміст пилку гвоздики у повітрі i -ї ділянки – низький і безпечний.

Нехай hrc_{11} – порогове значення вмісту пилку осота у повітрі, по перевищенню якого відбувається попередження та сповіщення про потенційно високий рівень алергена, lpc_{11} – порогове значення вмісту пилку осота у повітрі, нижче якого рівень алергена вважається низьким і безпечним, pc_{11}^i – виміряне датчиком значення вмісту пилку осота у повітрі i -ї ділянки з множини значень концентрації пилку різних рослин на i -ій ділянці $PC^i = \{pc_1^i, pc_2^i, \dots, pc_{15}^i\}$, pst_{11}^i – отримане з наявних карт пилку, характерних для визначеного регіону для поточної дати, значення вмісту пилку осота з множини значень концентрації пилку різних рослин $PCM^i = \{pst_1^i, pst_2^i, \dots, pst_{15}^i\}$, тоді критерій загрози від пилку осота у повітрі i -ї ділянки має вигляд:

- якщо $pc_{11}^i > hrc_{11}$ та/або $pst_{11}^i > hrc_{11}$, то вміст пилку осота у повітрі i -ї ділянки – потенційно високий та небезпечний;

- якщо $hrc_{11} \geq pc_{11}^i > lpc_{11}$ та/або $hrc_{11} \geq pst_{11}^i > lpc_{11}$, то вміст пилку осота у повітрі i -ї ділянки – середній;

- якщо $pc_{11}^i \leq lpc_{11}$ та/або $pst_{11}^i \leq lpc_{11}$, то вміст пилку осота у повітрі i -ї ділянки – низький і безпечний.

Нехай hrc_{12} – порогове значення вмісту пилку полину у повітрі, по перевищенню якого відбувається попередження та сповіщення про потенційно високий рівень алергена, lpc_{12} – порогове значення вмісту пилку полину у повітрі, нижче якого рівень алергена вважається низьким і безпечним, pc_{12}^i – виміряне датчиком значення вмісту пилку полину у повітрі i -ї ділянки з множини значень концентрації пилку різних рослин на i -ій ділянці $PC^i = \{pc_1^i, pc_2^i, \dots, pc_{15}^i\}$, pst_{12}^i – отримане з наявних карт пилку, характерних для визначеного регіону для поточної дати, значення вмісту пилку полину з множини значень концентрації пилку різних рослин $PCM^i = \{pst_1^i, pst_2^i, \dots, pst_{15}^i\}$, тоді критерій загрози від пилку полину у повітрі i -ї ділянки має вигляд:

- якщо $pc_{12}^i > hrc_{12}$ та/або $pst_{12}^i > hrc_{12}$, то вміст пилку полину у повітрі i -ї ділянки – потенційно високий та небезпечний;

- якщо $hrc_{12} \geq pc_{12}^i > lrc_{12}$ та/або $hrc_{12} \geq psm_{12}^i > lrc_{12}$, то вміст пилку полину у повітрі i -ї ділянки – середній;

- якщо $pc_{12}^i \leq lrc_{12}$ та/або $psm_{12}^i \leq lrc_{12}$, то вміст пилку полину у повітрі i -ї ділянки – низький і безпечний.

Нехай hrc_{13} – порогове значення вмісту пилку тимофіївки у повітрі, по перевищенню якого відбувається попередження та сповіщення про потенційно високий рівень алергена, lrc_{13} – порогове значення вмісту пилку тимофіївки у повітрі, нижче якого рівень алергена вважається низьким і безпечним, pc_{13}^i – виміряне датчиком значення вмісту пилку тимофіївки у повітрі i -ї ділянки з множини значень концентрації пилку різних рослин на i -ій ділянці $PC^i = \{pc_1^i, pc_2^i, \dots, pc_{15}^i\}$, psm_{13}^i – отримане з наявних карт пилку, характерних для визначеного регіону для поточної дати, значення вмісту пилку тимофіївки з множини значень концентрації пилку різних рослин $PCM^i = \{psm_1^i, psm_2^i, \dots, psm_{15}^i\}$, тоді критерій загрози від пилку тимофіївки у повітрі i -ї ділянки має вигляд:

- якщо $pc_{13}^i > hrc_{13}$ та/або $psm_{13}^i > hrc_{13}$, то вміст пилку тимофіївки у повітрі i -ї ділянки – потенційно високий та небезпечний;

- якщо $hrc_{13} \geq pc_{13}^i > lrc_{13}$ та/або $hrc_{13} \geq psm_{13}^i > lrc_{13}$, то вміст пилку тимофіївки у повітрі i -ї ділянки – середній;

- якщо $pc_{13}^i \leq lrc_{13}$ та/або $psm_{13}^i \leq lrc_{13}$, то вміст пилку тимофіївки у повітрі i -ї ділянки – низький і безпечний.

Нехай hrc_{14} – порогове значення вмісту пилку пирію у повітрі, по перевищенню якого відбувається попередження та сповіщення про потенційно високий рівень алергена, lrc_{14} – порогове значення вмісту пилку пирію у повітрі, нижче якого рівень алергена вважається низьким і безпечним, pc_{14}^i – виміряне датчиком значення вмісту пилку пирію у повітрі i -ї ділянки з множини значень концентрації пилку різних рослин на i -ій ділянці $PC^i = \{pc_1^i, pc_2^i, \dots, pc_{15}^i\}$, psm_{14}^i – отримане з наявних карт пилку, характерних для визначеного регіону для поточної дати, значення вмісту пилку пирію з множини значень концентрації пилку різних рослин $PCM^i = \{psm_1^i, psm_2^i, \dots, psm_{15}^i\}$, тоді критерій загрози від пилку пирію у повітрі i -ї ділянки має вигляд:

- якщо $pc_{14}^i > hrc_{14}$ та/або $pst_{14}^i > hrc_{14}$, то вміст пилку пирію у повітрі i -ї ділянки – потенційно високий та небезпечний;
- якщо $hrc_{14} \geq pc_{14}^i > lrc_{14}$ та/або $hrc_{14} \geq pst_{14}^i > lrc_{14}$, то вміст пилку пирію у повітрі i -ї ділянки – середній;
- якщо $pc_{14}^i \leq lrc_{14}$ та/або $pst_{14}^i \leq lrc_{14}$, то вміст пилку пирію у повітрі i -ї ділянки – низький і безпечний.

Нехай hrc_{15} – порогове значення вмісту пилку амброзії у повітрі, по перевищенню якого відбувається попередження та сповіщення про потенційно високий рівень алергена, lrc_{15} – порогове значення вмісту пилку амброзії у повітрі, нижче якого рівень алергена вважається низьким і безпечним, pc_{15}^i – виміряне датчиком значення вмісту пилку амброзії у повітрі i -ї ділянки з множини значень концентрації пилку різних рослин на i -ій ділянці $PC^i = \{pc_1^i, pc_2^i, \dots, pc_{15}^i\}$, pst_{15}^i – отримане з наявних карт пилку, характерних для визначеного регіону для поточної дати, значення вмісту пилку амброзії з множини значень концентрації пилку різних рослин $PCM^i = \{pst_1^i, pst_2^i, \dots, pst_{15}^i\}$, тоді критерій загрози від пилку амброзії у повітрі i -ї ділянки має вигляд:

- якщо $pc_{15}^i > hrc_{15}$ та/або $pst_{15}^i > hrc_{15}$, то вміст пилку амброзії у повітрі i -ї ділянки – потенційно високий та небезпечний;
- якщо $hrc_{15} \geq pc_{15}^i > lrc_{15}$ та/або $hrc_{15} \geq pst_{15}^i > lrc_{15}$, то вміст пилку амброзії у повітрі i -ї ділянки – середній;
- якщо $pc_{15}^i \leq lrc_{15}$ та/або $pst_{15}^i \leq lrc_{15}$, то вміст пилку амброзії у повітрі i -ї ділянки – низький і безпечний.

Враховуючи представлені критерії загрози від пилків різних речовин у повітрі i -ї ділянки, загальне правило для прийняття рішення щодо рівня одного чи декількох алергенів у повітрі i -ї ділянки матиме вигляд:

- якщо $pc_1^i > hrc_1$ та/або $pst_1^i > hrc_1$ та/або $pc_2^i > hrc_2$ та/або $pst_2^i > hrc_2$ та/або $pc_3^i > hrc_3$ та/або $pst_3^i > hrc_3$ та/або $pc_4^i > hrc_4$ та/або $pst_4^i > hrc_4$ та/або $pc_5^i > hrc_5$ та/або $pst_5^i > hrc_5$ та/або $pc_6^i > hrc_6$ та/або $pst_6^i > hrc_6$ та/або $pc_7^i > hrc_7$ та/або $pst_7^i > hrc_7$ та/або $pc_8^i > hrc_8$ та/або $pst_8^i > hrc_8$ та/або $pc_9^i > hrc_9$ та/або $pst_9^i > hrc_9$ та/або $pc_{10}^i > hrc_{10}$ та/або $pst_{10}^i > hrc_{10}$ та/або $pc_{11}^i > hrc_{11}$ та/або pst_{11}^i

$> hpc_{11}$ та/або $pc_{12}^i > hpc_{12}$ та/або $pc_{12}^i > hpc_{12}$ та/або $pc_{13}^i > hpc_{13}$ та/або $pc_{13}^i > hpc_{13}$ та/або $pc_{14}^i > hpc_{14}$ та/або $pc_{14}^i > hpc_{14}$ та/або $pc_{15}^i > hpc_{15}$ та/або $pc_{15}^i > hpc_{15}$, то має місце високий та небезпечний рівень вмісту алергену/алергенів на такій ділянці визначеного регіону;

- якщо $hpc_1 \geq pc_1^i > lpc_1$ та/або $hpc_1 \geq pc_{11}^i > lpc_1$ та/або $hpc_2 \geq pc_2^i > lpc_2$ та/або $hpc_2 \geq pc_{12}^i > lpc_2$ та/або $hpc_3 \geq pc_3^i > lpc_3$ та/або $hpc_3 \geq pc_{13}^i > lpc_3$ та/або $hpc_4 \geq pc_4^i > lpc_4$ та/або $hpc_4 \geq pc_{14}^i > lpc_4$ та/або $hpc_5 \geq pc_5^i > lpc_5$ та/або $hpc_5 \geq pc_{15}^i > lpc_5$ та/або $hpc_6 \geq pc_6^i > lpc_6$ та/або $hpc_6 \geq pc_{16}^i > lpc_6$ та/або $hpc_7 \geq pc_7^i > lpc_7$ та/або $hpc_7 \geq pc_{17}^i > lpc_7$ та/або $hpc_8 \geq pc_8^i > lpc_8$ та/або $hpc_8 \geq pc_{18}^i > lpc_8$ та/або $hpc_9 \geq pc_9^i > lpc_9$ та/або $hpc_9 \geq pc_{19}^i > lpc_9$ та/або $hpc_{10} \geq pc_{10}^i > lpc_{10}$ та/або $hpc_{10} \geq pc_{10}^i > lpc_{10}$ та/або $hpc_{11} \geq pc_{11}^i > lpc_{11}$ та/або $hpc_{11} \geq pc_{11}^i > lpc_{11}$ та/або $hpc_{12} \geq pc_{12}^i > lpc_{12}$ та/або $hpc_{12} \geq pc_{12}^i > lpc_{12}$ та/або $hpc_{13} \geq pc_{13}^i > lpc_{13}$ та/або $hpc_{13} \geq pc_{13}^i > lpc_{13}$ та/або $hpc_{14} \geq pc_{14}^i > lpc_{14}$ та/або $hpc_{14} \geq pc_{14}^i > lpc_{14}$ та/або $hpc_{15} \geq pc_{15}^i > lpc_{15}$ та/або $hpc_{15} \geq pc_{15}^i > lpc_{15}$, то має місце середній рівень вмісту алергену/алергенів на такій ділянці визначеного регіону;

- якщо $pc_1^i \leq lpc_1$ та/або $pc_{11}^i \leq lpc_1$ та/або $pc_2^i \leq lpc_2$ та/або $pc_{12}^i \leq lpc_2$ та/або $pc_3^i \leq lpc_3$ та/або $pc_{13}^i \leq lpc_3$ та/або $pc_4^i \leq lpc_4$ та/або $pc_{14}^i \leq lpc_4$ та/або $pc_5^i \leq lpc_5$ та/або $pc_{15}^i \leq lpc_5$ та/або $pc_6^i \leq lpc_6$ та/або $pc_{16}^i \leq lpc_6$ та/або $pc_7^i \leq lpc_7$ та/або $pc_{17}^i \leq lpc_7$ та/або $pc_8^i \leq lpc_8$ та/або $pc_{18}^i \leq lpc_8$ та/або $pc_9^i \leq lpc_9$ та/або $pc_{19}^i \leq lpc_9$ та/або $pc_{10}^i \leq lpc_{10}$ та/або $pc_{10}^i \leq lpc_{10}$ та/або $pc_{11}^i \leq lpc_{11}$ та/або $pc_{11}^i \leq lpc_{11}$ та/або $pc_{12}^i \leq lpc_{12}$ та/або $pc_{12}^i \leq lpc_{12}$ та/або $pc_{13}^i \leq lpc_{13}$ та/або $pc_{13}^i \leq lpc_{13}$ та/або $pc_{14}^i \leq lpc_{14}$ та/або $pc_{14}^i \leq lpc_{14}$ та/або $pc_{15}^i \leq lpc_{15}$ та/або $pc_{15}^i \leq lpc_{15}$, то має місце низький і безпечний рівень вмісту алергенів.

2.3 Висновки

У розділі 2 кваліфікаційної роботи виконано вибір датчика для формування нижнього рівня та вибір контролера для формування середнього рівня кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, а також вибір протоколу передачі

даних для налагодження зв'язку між компонентами всіх трьох рівнів кіберфізичної системи.

Враховуючи функціональність, точність та вартість датчиків пилку в повітрі, для проєктування нижнього рівня кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних обрано монітор якості повітря Dylos DC 1100.

Враховуючи функціональність, гнучкість та вартість IoT-контролерів, для проєктування середнього рівня кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних обрано IoT-контролер Raspberry Pi.

Для налагодження зв'язку між компонентами всіх трьох рівнів кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних стандарт Wi-Fi.

Враховуючи визначені найпоширеніші пилки-алергени, які буде моніторити кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, в розділі 2 кваліфікаційної роботи розроблені критерії загрози від пилку різних алергенів у повітрі i -ї ділянки, а також загальне правило для прийняття рішення щодо рівня одного чи декількох алергенів у повітрі i -ї ділянки, які ляжуть в основу методу моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних.

3 МЕТОД ТА АЛГОРИТМ МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ПРЕДМЕТ АЛЕРГЕНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОЛОКАЦІЙНИХ ДАНИХ

3.1 Метод моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних

Моніторинг навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних може включати в себе наступні етапи та компоненти:

1) збір даних – встановлення датчиків для вимірювання рівня алергенів у повітрі, таких як пилок рослин, грибків та інших алергенів; ці датчики можуть бути розташовані в різних місцях для збору репрезентативних даних;

2) геолокаційні дані – використання геолокаційних технологій, таких як GPS або мережа Wi-Fi точок доступу, для визначення місця розташування сенсорів і збору геолокаційних даних;

3) збір та передача даних – датчики збирають дані про рівень алергенів у повітрі, а потім передають їх на центральний сервер або хмару за допомогою бездротових технологій передачі даних, таких як Wi-Fi, Bluetooth або LoRaWAN;

4) обробка даних та аналіз – отримані дані обробляються на сервері або в хмарі за допомогою спеціального програмного забезпечення; вони можуть бути проаналізовані для виявлення тенденцій та кореляцій між рівнем алергенів і геолокацією;

5) візуалізація даних – результати аналізу можуть бути візуалізовані на мапі, щоб користувачі могли легко спостерігати за рівнем алергенів у своєму регіоні та приймати відповідні заходи;

б) сповіщення користувачів – у разі перевищення певних порогових значень рівня алергенів користувачі можуть отримувати сповіщення через мобільний додаток або електронні листи, щоб вжити необхідні заходи для зменшення впливу алергенів на їх здоров'я;

7) пошук та аналіз тенденцій – дані про рівень алергенів можуть бути проаналізовані для виявлення тенденцій у погіршенні атмосферного середовища в різних регіонах та в різні періоди часу; це дозволить громадським організаціям ухвалювати дієві заходи щодо зменшення впливу алергенів на здоров'я громади;

8) моделювання розповсюдження алергенів – на основі зібраних даних можуть бути розроблені моделі для прогнозування розповсюдження алергенів у майбутньому; це дозволить попередити можливі пікові алергенні події та вжити заходів для їх запобігання;

9) участь громадськості – крім збору даних про рівень алергенів, такий моніторинг навколишнього середовища може сприяти залученню громади до нього; це може включати можливість для користувачів надсилати звіти про спостереження алергенів у своєму регіоні або співпрацювати з вченими та органами влади для удосконалення моніторингової системи;

10) заходи зі зменшення впливу алергенів – на основі даних моніторингу можуть бути запропоновані та реалізовані заходи для зменшення впливу алергенів на здоров'я громади; це може включати поради щодо вибору місця проживання, розробку антиалергенних ландшафтів та інші заходи з охорони здоров'я громади;

11) інформування та освіта громади – зібрані дані про рівень алергенів можуть бути використані для створення освітніх матеріалів та інформаційних кампаній для громади; це допоможе підвищити обізнаність про алергенні ризики та заохочувати людей до вживання заходів зі зниження впливу алергенів на їх здоров'я;

12) взаємодія з медичними установами – такий моніторинг може сприяти взаємодії з медичними установами, щоб надавати їм доступ до даних про рівень алергенів та сприяти розробці індивідуальних планів лікування для людей з алергічними реакціями;

13) інноваційні рішення для зменшення алергенів – на основі даних моніторингу можуть бути розроблені та впроваджені інноваційні технологічні рішення для зменшення алергенів у повітрі, наприклад, спеціальні фільтри для повітря або додаткові засоби очищення повітря у приміщеннях та на вулицях;

14) наукові дослідження та розвиток – зібрані дані можуть бути використані для проведення наукових досліджень щодо впливу алергенів на здоров'я та розробки нових методів їх зменшення; це сприятиме постійному розвитку та вдосконаленню системи моніторингу та управління алергенами;

15) технологічна інтеграція з медичними пристроями – забезпечення сумісності та інтеграції системи моніторингу з медичними пристроями, такими як інгалятори або епіпен, для автоматичного реагування на виявлені алергени та надання негайної допомоги;

16) розробка мобільних додатків – створення мобільних додатків для зручного моніторингу рівня алергенів та надання користувачам персоналізованих порад щодо запобігання алергічним реакціям на основі геолокаційних даних та інформації про сезонні алергени;

17) розвиток інтерактивних карт – створення онлайн-інтерактивних карт, на яких будуть відображені точки з підвищеним ризиком алергенів у різних районах міста, що допоможе мешканцям уникати цих місць під час прогулянок або активностей на відкритому повітрі;

18) розвиток систем сповіщення та попередження – впровадження систем автоматичного сповіщення та попередження через смс-повідомлення або мобільні додатки про підвищений рівень алергенів у конкретному районі або прогнозовані алергічні події;

19) використання штучного інтелекту та машинного навчання – впровадження методів штучного інтелекту та машинного навчання для аналізу великих обсягів даних з метою прогнозування піків алергенів та розробки індивідуальних стратегій управління алергіями;

20) партнерство з органами місцевого самоврядування та медичними установами – співпраця з місцевими органами влади та медичними установами для реалізації заходів з підвищення обізнаності, надання підтримки та координації дій з моніторингу та управління алергіями у місті;

21) створення спільноти алергіків – для обміну досвідом, порадами та інформацією про місця з високим ризиком алергенів, а також спільне вирішення питань щодо зменшення впливу алергійних реакцій;

22) медична допомога та консультації – забезпечення доступу до медичної допомоги та консультацій для алергіків з використанням технологій телемедицини та онлайн-платформ;

23) співпраця з виробниками продуктів – встановлення партнерських відносин з виробниками продуктів та послуг з метою впровадження алергенних міток та інших заходів з покращення безпеки для алергіків;

24) екологічні заходи – реалізація програм та проєктів з екологічного благоустрою та очищення довкілля від алергенних рослин та інших факторів, що сприяють розвитку алергійних захворювань;

25) моніторинг забруднення повітря – використання систем моніторингу повітря для визначення рівня алергенів у повітрі та спостереження за їх зміною з метою розробки превентивних заходів.

Такий моніторинг може допомогти людям з алергіями краще контролювати своє навколишнє середовище і вживати необхідні заходи для запобігання алергічним реакціям.

Моніторинг навколишнього середовища на предмет алергенів є важливою складовою заходів з охорони здоров'я з наступних ключових причин:

1) здоров'я населення – алергічні реакції можуть призвести до серйозних проблем зі здоров'ям, включаючи анафілактичний шок та інші небезпечні стани; моніторинг алергенів допомагає вчасно виявляти їх присутність та уникати потенційно небезпечних ситуацій;

2) попередження алергічних реакцій – знання про наявність алергенів у конкретних місцях дозволяє людям з алергіями уникати контакту з ними, що допомагає запобігти виникненню алергічних реакцій;

3) планування міського середовища – моніторинг алергенів може бути використаний для планування розвитку міського середовища з метою зменшення впливу алергенів на здоров'я мешканців;

4) наукові дослідження – дані, отримані в результаті моніторингу, можуть бути використані для наукових досліджень та аналізу тенденцій у поширенні алергенів та їх впливу на здоров'я;

5) підвищення обізнаності громадськості – інформація про рівень алергенів у середовищі може бути використана для підвищення обізнаності громадськості про проблеми з алергіями та заходи для їх запобігання;

6) керування ризиками – для осіб з алергічними захворюваннями особливо важливо знати рівень алергенів у повітрі, щоб уникнути контакту з ними та уникнути можливих алергічних реакцій; моніторинг надає можливість вжити заходів для зменшення ризику;

7) законодавчі заходи – деякі регіони мають законодавчі норми щодо якості повітря та рівнів алергенів; моніторинг є важливим інструментом для визначення відповідності цим нормам та вжиття заходів для їх виконання;

8) дослідження змін клімату – зміни клімату можуть впливати на поширення алергенів у повітрі; моніторинг надає можливість вивчення цих змін та їх впливу на здоров'я;

9) рекомендації та поради – результати моніторингу можуть бути використані для розробки рекомендацій та порад щодо захисту від алергенів, наприклад, рекомендації щодо вибору часу для вуличних активностей або вибору місця для проживання;

10) збереження здоров'я громадськості – моніторинг алергенів сприяє збереженню загального здоров'я населення, оскільки вчасне виявлення високих рівнів алергенів дозволяє уникнути масових алергічних реакцій та погіршення стану здоров'я людей;

11) підтримка медичних досліджень – дані, зібрані під час моніторингу, можуть бути корисні для наукових досліджень в галузі алергії та імунології, а також в галузі екології та біології; вони допомагають встановлювати зв'язок між рівнями алергенів у повітрі та алергічними захворюваннями, а також допомагають у виявленні тенденцій та паттернів розповсюдження алергенів;

12) соціальна відповідальність – моніторинг алергенів є однією з форм соціальної відповідальності корпорацій, організацій та урядів; забезпечення чистого та безпечного середовища для життя та розвитку громадськості є важливою складовою підтримки загального добробуту суспільства;

13) покращення якості життя – моніторинг алергенів дозволяє забезпечити безпечніші умови для життя, роблячи повітря менш загрозливим для людей з алергічними реакціями; це сприяє покращенню загального самопочуття та зниженню стресу у людей, що страждають від алергій;

14) економічні вигоди – зменшення витрат на лікування алергічних реакцій та захворювань, а також підвищення продуктивності праці та зниження відсутності на роботі через алергії можуть привести до значного збільшення економічних вигод для суспільства;

15) екологічна стійкість – моніторинг алергенів сприяє підвищенню усвідомлення про вплив людської діяльності на довкілля та стимулює розвиток екологічно стійких технологій та практик;

16) глобальна співпраця – моніторинг алергенів може стати об'єктом глобальної співпраці між науковими установами, медичними організаціями, урядовими агенціями та громадськими організаціями.

Ці причини демонструють важливість постійного моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів для підвищення якості життя алергіків, а також для забезпечення ефективного управління поширенням алергенів у повітрі.

Існують кілька методів моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів:

1) збір проб повітря – використання спеціальних збірників повітря для збору проб на наявність алергенів, таких як пилок рослин, грибкові спори та інші алергенні частинки;

2) дистанційне спостереження – використання дистанційних сенсорів, камер та інших пристроїв для моніторингу концентрації алергенів у повітрі та на поверхнях;

3) біомоніторинг – використання живих організмів, таких як рослини або тварини, для виявлення наявності або концентрації алергенів у довкіллі;

4) методи хімічного аналізу – використання хімічних аналітичних методів, таких як хроматографія або спектроскопія, для ідентифікації та кількісного визначення алергенів у пробах навколишнього середовища;

5) молекулярно-біологічні методи – використання молекулярних технік, таких як ПЛР (полімеразна ланцюгова реакція), для виявлення генетичного матеріалу алергенів у пробах;

6) інформаційно-комунікаційні технології – використання сучасних технологій збору, аналізу та обробки даних, таких як Інтернет речей (IoT), для автоматизації процесу моніторингу та надання реального часу інформації про рівень алергенів;

7) спостереження за симптомами – спостереження за симптомами алергічних реакцій у людей, які проживають у певній місцевості, може допомогти визначити періоди та місця підвищеної концентрації алергенів;

8) моделювання розповсюдження алергенів – використання комп'ютерних моделей для прогнозування розповсюдження алергенів у повітрі та їх впливу на здоров'я населення;

9) спеціалізовані дослідження – використання спеціалізованих дослідницьких проєктів та програм для аналізу конкретних аспектів алергенного середовища, таких як типи алергенів, їх концентрація та вплив на здоров'я;

10) моніторинг рослинних фенологічних подій – спостереження за періодами цвітіння рослин та іншими фенологічними подіями, які можуть впливати на розповсюдження алергенів;

11) дослідження аерозольних часток – моніторинг концентрації аерозольних часток у повітрі, включаючи пилок та інші алергенні частки, за допомогою спеціалізованих пристроїв і датчиків;

12) масштабні моніторингові програми – розробка та впровадження масштабних моніторингових програм для систематичного спостереження за рівнем алергенів у різних екосистемах та регіонах;

13) системи геоінформаційного аналізу – використання геоінформаційних систем для збору, аналізу та візуалізації даних про алергенне середовище, що дозволяє отримати географічно залежну інформацію та розробляти ефективні стратегії контролю за алергенами.

Для розроблення вищеописаної кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів саме для українських споживачів знадобляться карти пилку в Україні. Для цього використаємо результати моделювання поширення пилку в Україні з точки зору визначення регіонів з високими концентраціями пилку та часу, коли відбувається високе пилкове навантаження, яке проводилось за допомогою системи SILAM з подальшим картографуванням пилку за допомогою системи аналізу та відображення даних Grid Analysis and Display System, виконане у [38]. Результати моделювання були порівняні та збігались з аеробіологічними даними, отриманими з шести станцій моніторингу в Україні. Крім цього, розроблювана система вимірюватиме концентрацію пилку в повітрі в реальному часі, завдяки чому допомагатиме відстежувати рівень пилку в регіоні, де перебуває користувач.

Отже, *метод моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів* складається з наступних кроків:

1) навчання системи – задання множини порогових значень концентрації пилку різних рослин $HPC = \{hpc_1, hpc_2, \dots, hpc_n\}$, по перевищенню яких відбувається попередження та сповіщення про потенційно високий рівень алергенів; задання множини порогових значень концентрації пилку різних рослин $LPC = \{lpc_1, lpc_2, \dots, lpc_n\}$, нижче яких рівень алергенів вважається низьким і безпечним; наразі для кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів $n=15$, оскільки на даний момент часу в ній розглядаються 15 пилків-алергенів;

2) збір геолокаційних даних – визначення місцезнаходження кожного датчика пилку рослин за допомогою вбудованих в датчики GPS-трекерів або інших систем моніторингу геолокації для створення карти розподілу алергенів у конкретному регіоні, визначення місцезнаходження користувача мобільного

додатку кіберфізичної системи за допомогою функції «Місцезнаходження» його мобільного телефону;

3) передача геолокаційних даних на сервер для аналізу та обробки;

4) формування множини значень концентрації пилку різних рослин на певній ділянці $PCM^1 = \{pct_1^1, pct_2^1, \dots, pct_n^1\}$, $PCM^2 = \{pct_1^2, pct_2^2, \dots, pct_n^2\}$, ..., $PCM^m = \{pct_1^m, pct_2^m, \dots, pct_n^m\}$ на основі даних, отриманих з карт пилку, характерних для визначеного регіону для поточної дати, взятих з дослідження [38] (потрібні, якщо обраний датчик не в змозі виміряти концентрацію пилка певної рослини); наразі для кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів $n=15$, оскільки на даний момент часу в ній розглядаються 15 пилків-алергенів; m – кількість ділянок, на яких стоять датчики кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів, або які наявні на використовуваній карті пилків;

5) передача даних щодо концентрації пилку різних рослин у визначеному регіоні, зібраних з карт пилку, на сервер для аналізу та обробки;

6) формування множин значень концентрації пилку різних рослин на певній ділянці $PC^1 = \{pc_1^1, pc_2^1, \dots, pc_n^1\}$, $PC^2 = \{pc_1^2, pc_2^2, \dots, pc_n^2\}$, ..., $PC^m = \{pc_1^m, pc_2^m, \dots, pc_n^m\}$ на основі даних, отриманих з n датчиків пилку рослин кіберфізичної системи, розташованих на одній з m ділянок; наразі для кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів $n=15$, оскільки на даний момент часу в ній розглядаються 15 пилків-алергенів; m – кількість ділянок, на яких стоять датчики кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів, або які наявні на використовуваній карті пилків;

7) передача даних щодо концентрації пилку різних рослин у визначеному регіоні, зібраних датчиками, на сервер для аналізу та обробки;

8) аналіз геолокаційних даних, даних щодо концентрації пилку різних рослин у визначеному регіоні, отриманих з карт пилку та з датчиків кіберфізичної системи, з використанням аналітичних методів для обробки даних;

9) створення карти розподілу алергенів у визначеному регіоні в даний момент часу, доступної в мобільному додатку кіберфізичної системи, з графічним відображенням рівня пилку на певній ділянці;

10) фільтрація алергенів користувачем – вибір тієї рослини / тих рослин, пилок якої / яких викликає алергію в користувача;

11) якщо на певній ділянці визначеного регіону рівень концентрації пилку i -ї рослини ($i=1..15$), обраної користувачем на попередньому кроці, pc_{ti} , отриманий з карт пилку, або pc_i^j , отриманий з датчиків пилку рослин j -ї ділянки ($j=1..m$), перевищує відповідне порогове значення концентрації пилку різних рослин hpc_i , то така ділянка позначається на карті в мобільному додатку кіберфізичної системи червоним кольором, а користувачу видається попередження та сповіщення про високий рівень вмісту алергенів на такій ділянці визначеного регіону (наприклад, того, в якому він наразі перебуває);

12) якщо на певній ділянці визначеного регіону рівень концентрації пилку i -ї рослини ($i=1..15$), обраної користувачем на попередньому кроці, pc_{ti} , отриманий з карт пилку, або pc_i^j , отриманий з датчиків пилку рослин j -ї ділянки ($j=1..m$), не перевищує відповідне порогове значення концентрації пилку різних рослин hpc_i , але перевищує відповідне порогове значення lpc_i , то така ділянка позначається на карті в мобільному додатку кіберфізичної системи жовтим кольором, як така, що має середній рівень вмісту алергенів;

13) якщо на певній ділянці визначеного регіону рівень концентрації пилку i -ї рослини ($i=1..15$), обраної користувачем на попередньому кроці, pc_{ti} , отриманий з карт пилку, або pc_i^j , отриманий з датчиків пилку рослин j -ї ділянки ($j=1..m$), не перевищує відповідне порогове значення lpc_i , то така ділянка позначається на карті в мобільному додатку кіберфізичної системи зеленим кольором, як така, що має низький рівень вмісту алергенів і є безпечною для користувачів.

Розроблений метод моніторингу навколишнього середовища передбачає не тільки використання наявної на карті пилків інформації про активність джерел пилку у заданому регіоні, але й вимірювання концентрації пилку в повітрі в реальному часі, завдяки чому допомагає відстежувати рівень пилку в регіоні, де

перебуває користувач, а також, враховуючи геолокаційні дані користувача, надає йому корисну інформацію для планування маршруту з уникненням перебування у зонах підвищеного ризику.

3.2 Алгоритм моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних

Алгоритм моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних може включати наступні кроки:

1) збір даних – збір інформації про рівень алергенів за допомогою датчиків, мобільних додатків або інших джерел; використання підключених до Інтернету датчиків та пристроїв, які збирають дані про рівень алергенів у реальному часі та надсилають їх до центральної системи з використанням геолокаційних даних; використання безпілотних літальних апаратів (дронів) для збору даних про алергени та їх розподіл на великій території з використанням GPS-координат;

2) збір геолокаційних даних – отримання географічних координат з джерел, таких як GPS-датчики або вбудовані GPS-модулі в мобільних пристроях;

3) обробка даних – аналіз та обробка зібраних даних для визначення рівня алергенів у різних місцях та в часі;

4) класифікація ризикованих зон – встановлення зон з підвищеним ризиком для людей з алергіями на певні алергени на основі аналізу даних та геолокаційної інформації;

5) візуалізація результатів – представлення результатів моніторингу у вигляді карт або графіків для зручного сприйняття користувачами; створення карт, які показують ризиковані зони для людей з алергіями на конкретні алергени на основі геолокаційних даних та звітів користувачів;

6) повідомлення та рекомендації – надання користувачам інформації про ризику алергенів у їхній області та рекомендацій щодо захисту та управління алергічними реакціями;

7) зворотний зв'язок – збір зворотного зв'язку від користувачів щодо рівня алергенів та ефективності заходів безпеки;

8) постійне оновлення і покращення – постійне оновлення алгоритму на основі нових даних та отриманого досвіду для покращення точності та ефективності моніторингу;

9) інтеграція з системами спостереження – забезпечення можливості інтеграції з іншими системами моніторингу навколишнього середовища, що дозволяє отримувати додаткові дані та покращувати аналіз ризиків алергенів;

10) аналіз тенденцій і прогнозування – використання отриманих даних для аналізу тенденцій зміни рівня алергенів та розробки прогнозів щодо можливих ризиків для алергіків у майбутньому;

11) автоматизація процесів – розробка автоматизованих процесів збору, обробки та аналізу даних, що дозволяє підтримувати високу швидкість та ефективність моніторингу навколишнього середовища;

12) організація взаємодії з медичними системами – інтеграція з медичними системами для надання інформації про рівень алергенів лікарям та медичному персоналу для вдосконалення діагностики та лікування алергічних захворювань;

13) використання штучного інтелекту – використання методів штучного інтелекту для покращення аналізу даних, виявлення взаємозв'язків та розробки більш точних прогнозів ризиків для алергіків;

14) забезпечення безпеки даних та конфіденційності – забезпечення високого рівня захисту персональних даних користувачів та конфіденційності інформації про їхні алергічні реакції та місцеперебування;

15) розробка мобільних додатків – створення мобільних додатків для зручного доступу користувачів до інформації про рівень алергенів у їхній місцевості, сповіщення про потенційні небезпечні ситуації та надання рекомендацій щодо захисту від алергенів;

16) проведення наукових досліджень та стимулювання інновацій в галузі моніторингу алергенів для пошуку нових методів аналізу даних, вдосконалення сенсорів та розробки ефективних стратегій протидії алергічним реакціям.

Розробимо алгоритм моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних. *Алгоритм моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних* складається з наступних кроків:

- 1) навчання кіберфізичної системи – задання множин порогових значень концентрації пилку різних рослин;
- 2) розміщення обраних датчиків;
- 3) збір даних щодо концентрації пилку різних рослин у визначеному регіоні з встановлених датчиків, підключених у мережу Інтернету речей;
- 4) збір геолокаційних даних – визначення місцезнаходження кожного датчика пилку рослин за допомогою вбудованих в датчики GPS-трекерів;
- 5) збір даних щодо концентрації пилку різних рослин у визначеному регіоні з карт пилку;
- 6) передача даних щодо концентрації пилку різних рослин у визначеному регіоні, зібраних датчиками, на сервер для аналізу та обробки;
- 7) передача геолокаційних даних на сервер для аналізу та обробки;
- 8) передача даних щодо концентрації пилку різних рослин у визначеному регіоні, зібраних з карт пилку, на сервер для аналізу та обробки;
- 9) аналіз та обробка геолокаційних даних, даних щодо концентрації пилку різних рослин у визначеному регіоні, отриманих з карт пилку та з датчиків кіберфізичної системи, з використанням аналітичних методів для обробки даних;
- 10) візуалізація результатів моніторингу у вигляді карти розподілу алергенів у визначеному регіоні в даний момент часу;
- 11) фільтрація алергенів користувачем;
- 12) прийняття рішення щодо рівня одного чи декількох алергенів у повітрі i -ї ділянки з візуалізацією результатів та видачею сповіщень в разі високого рівня вмісту алергену/алергенів.

Узагальнена блок-схема розробленого алгоритму моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних представлена на рис. 3.1.

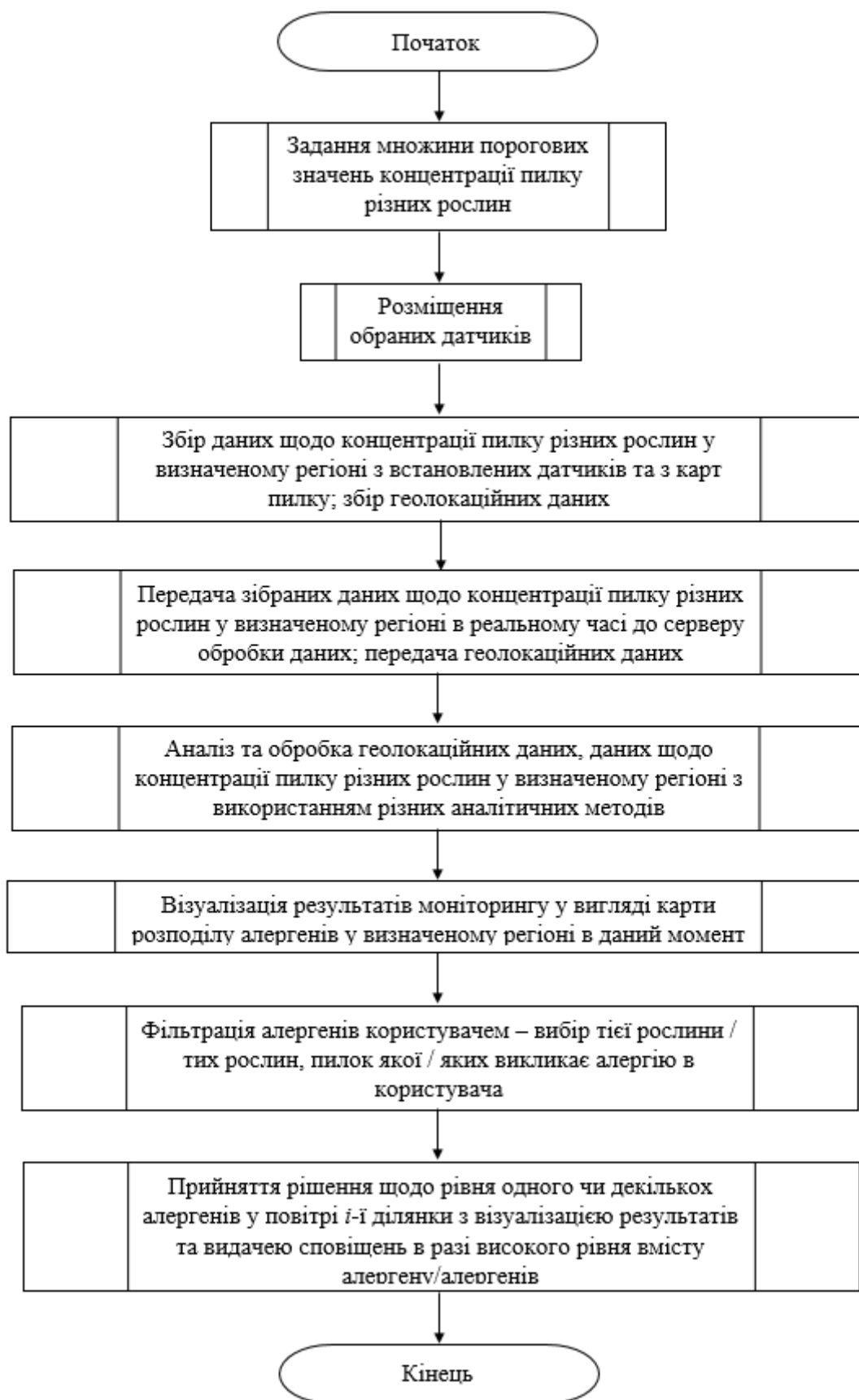


Рисунок 3.1 – Узагальнена блок-схема алгоритму моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних

3.3 Висновки

В розділі 3 кваліфікаційної роботи розроблений метод моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних передбачає не тільки використання наявної на карті пилків інформації про активність джерел пилку у заданому регіоні, але й вимірювання концентрації пилку в повітрі в реальному часі, завдяки чому допомагає відстежувати рівень пилку в регіоні, де перебуває користувач, а також, враховуючи геолокаційні дані користувача, надає йому корисну інформацію для планування маршруту з уникненням перебування у зонах підвищеного ризику.

Крім цього, в розділі 3 кваліфікаційної роботи розроблено алгоритм моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, за яким виконуватиметься постійний моніторинг повітря на вміст пилків рослин-алергенів, прийматиметься рішення щодо рівня одного чи декількох алергенів у повітрі *i*-ї ділянки з візуалізацією результатів та видачею сповіщень в разі високого рівня вмісту алергену/алергенів, які цікавлять користувача, відобразатимуться (у візуальному вигляді) рівні алергійних пилків у різних районах. Цей алгоритм забезпечує комплексний підхід до моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, оскільки передбачає отримання інформації про концентрації пилків не тільки з датчиків, але й з наявних карт пилків, а також дозволяє забезпечити покращення якості життя людей, що страждають від алергій.

4 КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ПРЕДМЕТ АЛЕРГЕНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОЛОКАЦІЙНИХ ДАНИХ

4.1 Кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних

Кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних відіграє значну роль у забезпеченні покращення якості життя людей, що страждають від алергій.

Основні елементи кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних:

1) датчики (сенсори) алергенів – датчики, які здатні виявляти та вимірювати рівень алергенів у повітрі або інших об'єктах довкілля; ці сенсори можуть бути розміщені у різних місцях для збору даних;

2) геолокаційні дані – інформація про місцезположення користувачів або сенсорів, яка може бути використана для аналізу та візуалізації даних про рівень алергенів у конкретних районах;

3) мережа зв'язку – інфраструктура для передачі даних від сенсорів до центральної системи моніторингу; може включати провідні та бездротові технології зв'язку, такі як Wi-Fi, Bluetooth, LoRaWAN тощо;

4) центральна система обробки даних – платформа або програмне забезпечення для прийому, збереження, обробки та аналізу даних в реальному часі; це може бути хмарний сервер або локальна обчислювальна система;

5) мобільні додатки та веб-інтерфейси – засоби для відображення та взаємодії з даними про рівень алергенів для кінцевих користувачів, які дозволяють користувачам отримувати сповіщення про потенційні небезпечні ситуації та отримувати поради щодо захисту;

6) система аналізу та передбачення – моделі та алгоритми для аналізу даних та передбачення ризику алергічних реакцій на основі отриманих даних про рівень алергенів та геолокаційні дані;

7) модулі безпеки та конфіденційності – засоби для захисту конфіденційності даних користувачів та забезпечення цілісності системи в цілому;

8) система управління та адміністрування – інструменти для керування та налаштування роботи кіберфізичної системи, включаючи моніторинг її ефективності та відладку помилок;

9) система управління подіями та сповіщеннями – дозволяє автоматично відправляти сповіщення користувачам або відповідальним органам у випадку виявлення підвищеного рівня алергенів або інших небезпечних ситуацій;

10) модулі машинного навчання та штучного інтелекту – використання алгоритмів машинного навчання для постійного вдосконалення системи, а також для виявлення та передбачення тенденцій в розповсюдженні алергенів та їх впливу на здоров'я;

11) батареї та джерела живлення – забезпечення живлення для всіх компонентів системи, включаючи сенсори, контролери та комунікаційні пристрої; можливі варіанти живлення включають акумулятори, сонячні батареї та джерела електроживлення;

12) додаткове обладнання для збору даних – додаткові засоби для збору даних про навколишнє середовище, такі як метеостанції, вимірювальні прилади для якості повітря та води, які можуть доповнювати дані, отримані від сенсорів алергенів;

13) механізми резервного копіювання та відновлення – засоби для збереження резервних копій даних та можливості швидкого відновлення системи в разі виникнення непередбачуваних ситуацій чи відмов компонентів;

14) розумні інтерфейси та інтеграція з іншими системами – можливість взаємодії з іншими системами «Розумного міста», такими як системи транспорту, медичні системи та інші, для обміну даними та спільного вирішення проблем.

Спроекуємо архітектуру кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних на основі розробленого методу – рис. 4.1.

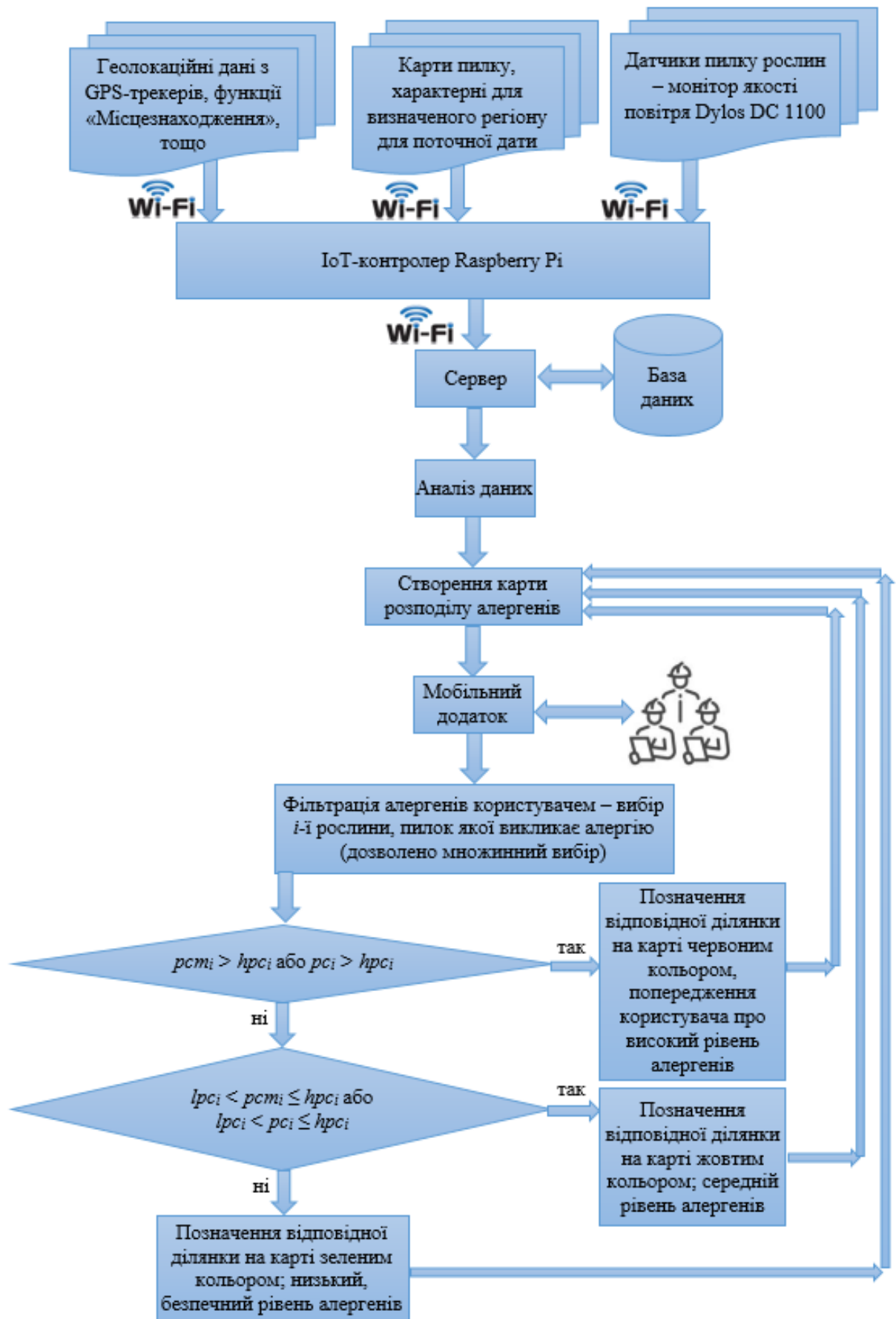


Рисунок 4.1 – Архітектура кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних

Отже, розроблена кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів виконує збір геолокаційних даних, збір значень концентрації пилку різних рослин на основі даних, отриманих з карт пилку, та на основі даних, отриманих з датчиків пилку рослин кіберфізичної системи. Датчики пилку рослин – це спеціалізовані пристрої, призначені для виявлення та вимірювання рівня пилку в атмосфері. Можливе використання наступних типів датчиків пилку: оптичні датчики – використовують світло чи інфрачервоне випромінювання для вимірювання рівня пилку в атмосфері; електронні датчики – використовують електронні компоненти, такі як датчики тиску, резистори або конденсатори, щоб виміряти зміни, спричинені наявністю пилку; біологічні датчики – використовують живі організми, такі як бактерії або рослини, для виявлення пилку; механічні датчики – використовують механічні засоби для виявлення пилку, такі як фільтри або мембрани, які збирають пилок з повітря та можуть бути проаналізовані для вимірювання його кількості.

Отримані кіберфізичною системою з різних джерел дані передаються на сервер для аналізу та обробки з використанням аналітичних методів. На основі проведеного аналізу створюється карта розподілу алергенів у визначеному регіоні в даний момент часу з графічним відображенням рівня пилку на певній ділянці, яка дозволяє користувачам відстежувати рівень пилку у своєму регіоні та планувати свої дії так, щоб уникнути контакту з алергенами у періоди їх великих концентрацій. Далі карта стає доступною користувачу в мобільному додатку кіберфізичної системи, де користувач може виконати фільтрацію алергенів – обрати ту рослину / ті рослини, пилок якої / яких викликає в нього алергію. Після вибору рослин(и) користувачем відбувається зафарбування ділянок в червоний (висока небезпека), жовтий (середня небезпека) або зелений (безпека) кольори (графічне відображення рівня пилку за допомогою кольорової схеми) на карті визначеного регіону згідно із кроками 11-13 пропонованого методу моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів.

Розроблена кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища не тільки використовує наявну інформацію про активність джерел пилку у

заданому регіоні, але й вимірює концентрацію пилку в повітрі в реальному часі, завдяки чому допомагає відстежувати рівень пилку в регіоні, де перебуває користувач, а також, враховуючи геолокаційні дані користувача, надає йому корисну інформацію для планування маршруту з уникненням перебування у зонах підвищеного ризику. Збір та аналіз геолокаційних даних дозволяє відстежувати зміни в розподілі алергенів з часом та в просторі. Це може бути корисним для розуміння тенденцій зміни алергенних реакцій та для розробки ефективних стратегій управління алергіями.

Кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів є корисною для людей з алергіями, надаючи їм доступну та актуальну інформацію про навколишнє середовище та ризики алергічних реакцій, дозволяючи їм краще планувати свої дії та уникати областей з високим рівнем концентрації пилку рослин. Така кіберфізична система надає можливість індивідуального підходу до кожного користувача, враховуючи його унікальні проблеми шляхом виконання фільтрації алергенів. Це дозволяє забезпечити ефективні та персоналізовані рішення управління алергіями. Пропонована кіберфізична система може створити цінну базу даних з алергічними реакціями та прогнозами, яка буде використовуватися для вдосконалення методів діагностики, лікування та управління алергіями.

Розроблена система може бути інтегрована з іншими медичними системами. Медичні установи можуть отримувати дані в реальному часі та вживати відповідних заходів для лікування та управління алергічними реакціями пацієнтів. Дані, зібрані за допомогою кіберфізичної системи, можуть бути використані для наукових досліджень в галузі алергенів навколишнього середовища та екології. Вони можуть використовуватися для вдосконалення методів діагностики алергічних захворювань, а також для вивчення взаємозв'язку між рівнем пилку рослин та погіршенням стану здоров'я людей. При сплеску рівня пилку алергенних рослин система може автоматично відправляти попередження та рекомендації мешканцям, медичним установам та місцевим органам влади щодо необхідних заходів безпеки. Отже, пропонована кіберфізична система може служити як

платформа для співпраці між різними зацікавленими сторонами, такими як медичні працівники, дослідники, органи влади та громадські організації. Це сприяє обміну даними та знаннями, що дозволяє зробити більш обґрунтовані та ефективні рішення в галузі алергії та здоров'я громадськості. Пропонована кіберфізична система може бути використана для глобального моніторингу рівня пилку та алергенів у різних частинах світу. Це дозволить виявити глобальні тенденції змін у розподілі алергенів та виробляти ефективні стратегії управління алергіями на світовому рівні.

4.2 Приклади функціонування кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних

Розглянемо приклади використання кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних.

На першому кроці роботи кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних були задані множини порогових значень концентрації пилку різних рослин (клена, дуба, берези, тополі, вільхи, метелика (будлеї), рогоза, лілії, троянди, гвоздики, осота, полину, тимофіївки, пирію, амброзії), надані медичними експертами: $HPC = \{hpc_1, hpc_2, \dots, hpc_{15}\} = \{100, 80, 25, 50, 81, 15, 15, 20, 40, 50, 10, 10, 10, 10\}$ зерен пилку на m^3 , по перевищенню яких відбувається попередження та сповіщення про потенційно високий рівень алергенів; задання множини порогових значень концентрації пилку різних рослин $LPC = \{30, 25, 8, 17, 27, 5, 5, 7, 14, 17, 4, 3, 4, 3, 3\}$ зерен пилку на m^3 , нижче яких рівень алергенів вважається низьким і безпечним.

Обрані датчики пилку рослин – монітори якості повітря Dylos DC 1100 – розташовуються, наприклад, в чотирьох районах міста Хмельницький (Озерна+Виставка+Заріччя+Лезневе, Книжківці+Ружична, Ракове+Дубове+Південно-західний, Гречани+Центр) для забезпечення охоплення всієї території міста.

Відбувається збір геолокаційних даних та їх передача на сервер для аналізу та обробки – визначення місцезнаходження кожного датчика пилку рослин за допомогою вбудованих в датчики GPS-трекерів або інших систем моніторингу геолокації для створення карти розподілу алергенів у конкретному регіоні (1 раз на добу), а також визначення місцезнаходження користувача мобільного додатку кіберфізичної системи за допомогою функції «Місцезнаходження» його мобільного телефону (1 раз на годину або за вимогою самого користувача).

Відбувається формування множини значень концентрації пилку різних рослин на кожній з 4-х ділянок (Озерна+Виставка+Заріччя+Лезневе, Книжківці+Ружична, Ракове+Дубове+Південно-західний, Гречани+Центр) на основі даних, отриманих з карт пилку, характерних для визначеного регіону для поточної дати (1 раз на добу), а також передача даних щодо концентрації пилку різних рослин у визначеному регіоні, зібраних з карт пилку, на сервер для аналізу та обробки.

В першу добу роботи були отримані наступні значення:

$$PCM^1_1 = \{12, 16, 6, 7, 24, 4, 4, 6, 12, 14, 3, 2, 3, 3, 3\};$$

$$PCM^2_1 = \{10, 15, 6, 7, 23, 4, 4, 6, 11, 14, 3, 2, 3, 3, 3\};$$

$$PCM^3_1 = \{10, 15, 7, 8, 23, 5, 4, 7, 11, 14, 3, 2, 3, 3, 3\},$$

$$PCM^4_1 = \{12, 16, 6, 7, 25, 4, 4, 6, 14, 14, 3, 2, 4, 3, 3\}.$$

Відбувається формування множин значень концентрації пилку різних рослин на кожній з 4-х ділянок (Озерна+Виставка+Заріччя+Лезневе, Книжківці+Ружична, Ракове+Дубове+Південно-західний, Гречани+Центр) на основі даних, отриманих з датчиків пилку рослин кіберфізичної системи (1 раз на добу), а також передача даних щодо концентрації пилку різних рослин у визначеному регіоні, зібраних з датчиків пилку рослин кіберфізичної системи, на сервер для аналізу та обробки.

В першу добу роботи були отримані наступні значення:

$$PC^1_1 = \{11, 16, 5, 6, 24, 5, 4, 7, 12, 14, 4, 3, 3, 3, 3\};$$

$$PC^2_1 = \{10, 15, 7, 10, 24, 5, 5, 6, 11, 14, 3, 3, 3, 3, 3\};$$

$$PC^3_1 = \{10, 14, 8, 9, 25, 5, 4, 7, 13, 15, 3, 2, 3, 3, 3\},$$

$$PC^4_1 = \{12, 18, 7, 7, 25, 4, 5, 6, 14, 16, 4, 2, 4, 3, 3\}.$$

Система виконала аналіз геолокаційних даних, даних щодо концентрації пилку різних рослин у визначеному регіоні, отриманих з карт пилку та з датчиків кіберфізичної системи, з використанням аналітичних методів для обробки даних та створила карту розподілу алергенів у визначеному регіоні в даний момент часу з графічним відображенням рівня пилку на певній ділянці – рис. 4.2.

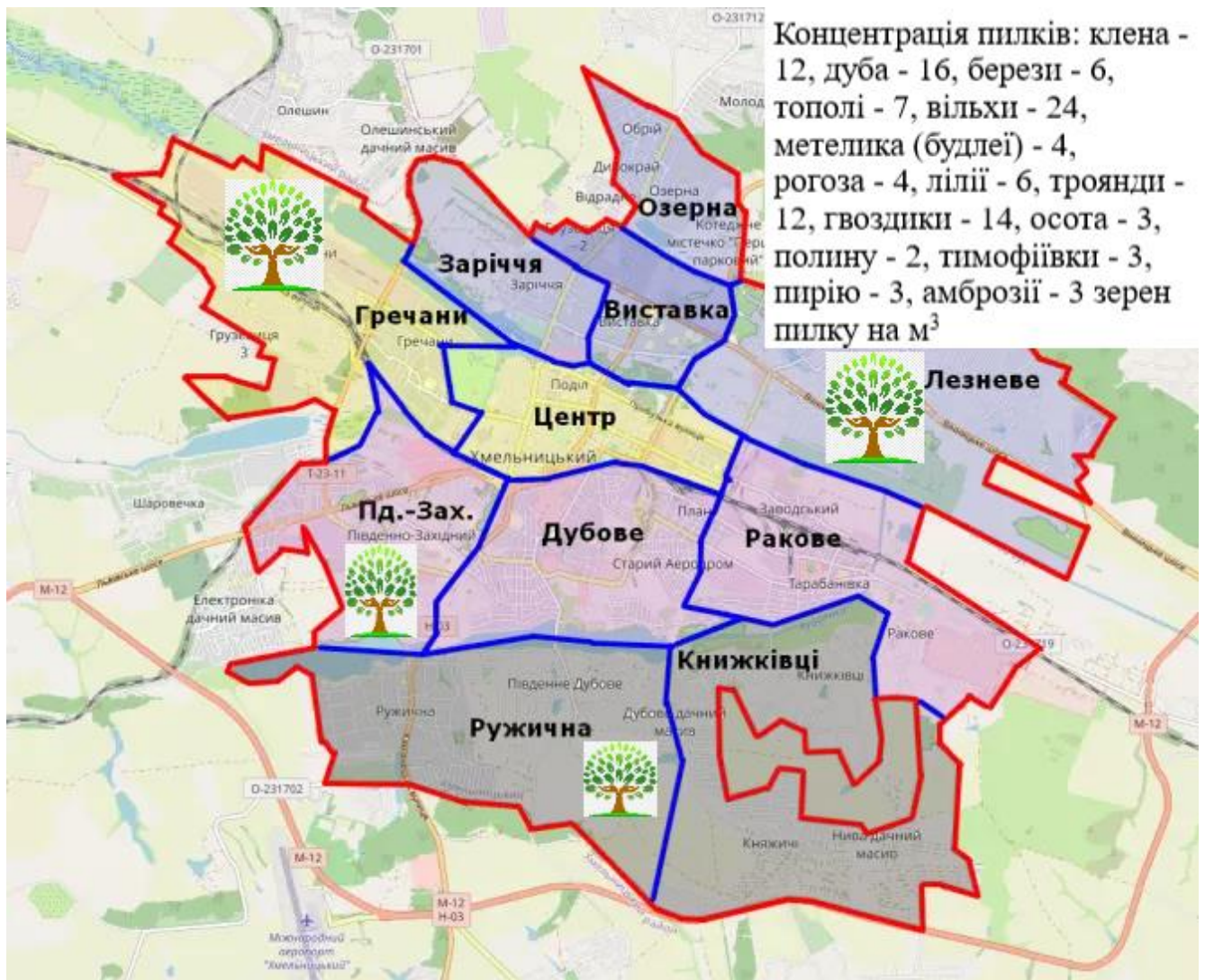


Рисунок 4.2 – Візуалізація результатів моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних

Далі користувач виконав фільтрацію алергенів користувачем – здійснив вибір тієї рослини / тих рослин, пилок якої / яких викликає в нього алергію, зокрема, користувачем було здійснено вибір таких алергенів: «вільха», «полин», «амброзія».

Оскільки на ділянці 1 (Озерна+Виставка+Заріччя+Лезневе) отримані з карт пилку рівні концентрації пилку вільхи $рст_5 = 24$, полину $рст_{12} = 2$, амброзії $рст_{15} = 3$; отримані з датчиків пилку рівні концентрації пилку вільхи $рс_5 = 24$, полину $рс_{12} = 3$, амброзії $рс_{15} = 3$ не перевищують відповідних порогових значень $лрс_5 = 27$, $лрс_{12} = 3$, $лрс_{15} = 3$, то така ділянка позначається на карті в мобільному додатку кіберфізичної системи зеленим кольором, як така, що має низький рівень вмісту алергенів і є безпечною для користувачів (рис. 4.3).

Оскільки на ділянці 2 (Книжківці+Ружична) отримані з карт пилку рівні концентрації пилку вільхи $рст_5 = 23$, полину $рст_{12} = 2$, амброзії $рст_{15} = 3$; отримані з датчиків пилку рівні концентрації пилку вільхи $рс_5 = 24$, полину $рс_{12} = 3$, амброзії $рс_{15} = 3$ не перевищують відповідних порогових значень $лрс_5 = 27$, $лрс_{12} = 3$, $лрс_{15} = 3$, то така ділянка позначається на карті в мобільному додатку кіберфізичної системи зеленим кольором, як така, що має низький рівень вмісту алергенів і є безпечною для користувачів (рис. 4.3).

Оскільки на ділянці 3 (Ракове+Дубове+Південно-західний) отримані з карт пилку рівні концентрації пилку вільхи $рст_5 = 23$, полину $рст_{12} = 2$, амброзії $рст_{15} = 3$; отримані з датчиків пилку рівні концентрації пилку вільхи $рс_5 = 25$, полину $рс_{12} = 2$, амброзії $рс_{15} = 3$ не перевищують відповідних порогових значень $лрс_5 = 27$, $лрс_{12} = 3$, $лрс_{15} = 3$, то така ділянка позначається на карті в мобільному додатку кіберфізичної системи зеленим кольором, як така, що має низький рівень вмісту алергенів і є безпечною для користувачів (рис. 4.3).

Оскільки на ділянці 4 (Гречани+Центр) отримані з карт пилку рівні концентрації пилку вільхи $рст_5 = 25$, полину $рст_{12} = 2$, амброзії $рст_{15} = 3$; отримані з датчиків пилку рівні концентрації пилку вільхи $рс_5 = 25$, полину $рс_{12} = 2$, амброзії $рс_{15} = 3$ не перевищують відповідних порогових значень $лрс_5 = 27$, $лрс_{12} = 3$, $лрс_{15} = 3$, то така ділянка позначається на карті в мобільному додатку кіберфізичної

системи зеленим кольором, як така, що має низький рівень вмісту алергенів і є безпечною для користувачів (рис. 4.3).

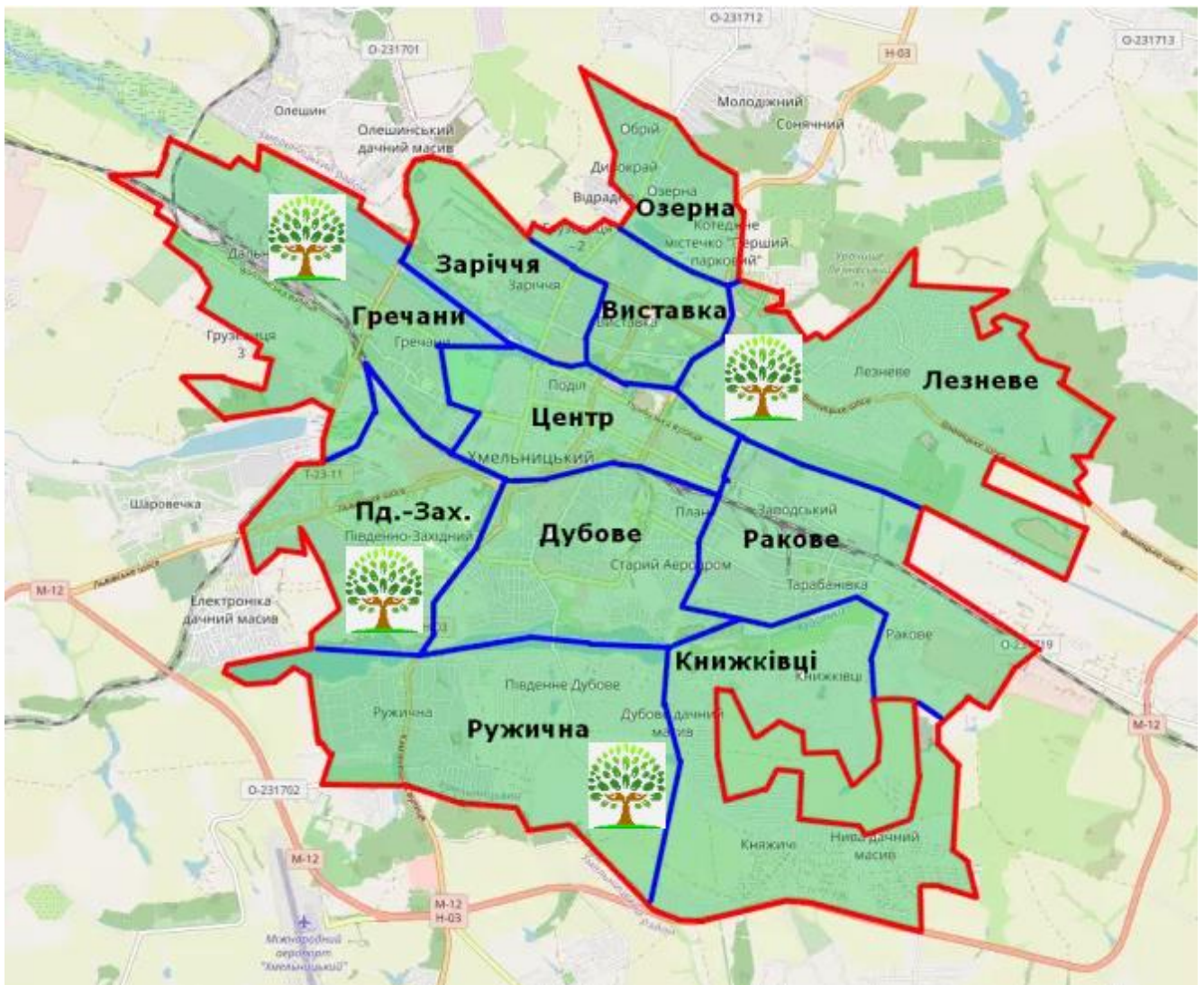


Рисунок 4.3 – Візуалізація прийняття рішення щодо рівня трьох алергенів у повітрі (вільхи, полину та амброзії) – Доба 1

На другу добу роботи системи були отримані наступні значення рівнів пилків-алергенів з карт пилку та з датчиків пилку відповідно:

$$PCM^1_2 = \{12, 16, 6, 7, 24, 4, 4, 6, 12, 14, 3, 2, 3, 3, 3\};$$

$$PCM^2_2 = \{10, 15, 6, 7, 23, 4, 4, 6, 11, 14, 3, 2, 3, 3, 3\};$$

$$PCM^3_2 = \{10, 15, 7, 8, 23, 5, 4, 7, 11, 14, 3, 2, 3, 3, 3\},$$

$$PCM^4_2 = \{12, 16, 6, 7, 25, 4, 4, 6, 14, 14, 3, 2, 4, 3, 3\};$$

$$PC^1_2 = \{12, 18, 6, 8, 28, 5, 4, 7, 12, 14, 4, 3, 3, 3, 3\};$$

$$PC^2_2 = \{11, 17, 7, 11, 24, 5, 5, 6, 11, 14, 3, 3, 3, 3, 3\};$$

$$PC^3_2 = \{13, 16, 8, 12, 25, 5, 4, 7, 13, 15, 3, 2, 3, 3, 3\},$$

$$PC^4_2 = \{14, 20, 8, 11, 25, 4, 5, 6, 14, 16, 4, 2, 4, 3, 3\}.$$

Система виконала аналіз геолокаційних даних, даних щодо концентрації пилку різних рослин у визначеному регіоні, отриманих з карт пилку та з датчиків кіберфізичної системи, з використанням аналітичних методів для обробки даних та створила карту розподілу алергенів у визначеному регіоні в даний момент часу з графічним відображенням рівня пилку на певній ділянці.

Користувач виконав фільтрацію алергенів користувачем – здійснив вибір тієї рослини / тих рослин, пилок якої / яких викликає в нього алергію, зокрема, користувачем було залишено вибір таких алергенів: «вільха», «полин», «амброзія».

Оскільки на ділянці 1 (Озерна+Виставка+Заріччя+Лезневе) отримані з карт пилку рівні концентрації пилку вільхи $pc_{t5} = 24$, полину $pc_{t12} = 2$, амброзії $pc_{t15} = 3$; отримані з датчиків пилку рівні концентрації пилку полину $pc_{12} = 3$, амброзії $pc_{15} = 3$ не перевищують відповідних порогових значень $lpc_5 = 27$, $lpc_{12} = 3$, $lpc_{15} = 3$, але отриманий з датчика пилку рівень концентрації пилку вільхи $pc_5 = 28$ перевищує відповідне порогове значення $lpc_5 = 27$, проте не перевищує $hpc_5 = 81$, то така ділянка позначається на карті в мобільному додатку кіберфізичної системи жовтим кольором, як така, що має середній рівень вмісту алергенів (рис. 4.4).

Оскільки на ділянці 2 (Книжківці+Ружична) отримані з карт пилку рівні концентрації пилку вільхи $pc_{t5} = 23$, полину $pc_{t12} = 2$, амброзії $pc_{t15} = 3$; отримані з датчиків пилку рівні концентрації пилку вільхи $pc_5 = 24$, полину $pc_{12} = 3$, амброзії $pc_{15} = 3$ не перевищують відповідних порогових значень $lpc_5 = 27$, $lpc_{12} = 3$, $lpc_{15} = 3$, то така ділянка позначається на карті в мобільному додатку кіберфізичної системи зеленим кольором, як така, що має низький рівень вмісту алергенів і є безпечною для користувачів (рис. 4.4).

Оскільки на ділянці 3 (Ракове+Дубове+Південно-західний) отримані з карт пилку рівні концентрації пилку вільхи $pc_{t5} = 23$, полину $pc_{t12} = 2$, амброзії $pc_{t15} = 3$; отримані з датчиків пилку рівні концентрації пилку вільхи $pc_5 = 25$, полину

$pc_{12} = 2$, амброзії $pc_{15} = 3$ не перевищують відповідних порогових значень $lpc_5 = 27$, $lpc_{12} = 3$, $lpc_{15} = 3$, то така ділянка позначається на карті в мобільному додатку кіберфізичної системи зеленим кольором, як така, що має низький рівень вмісту алергенів і є безпечною для користувачів (рис. 4.4).

Оскільки на ділянці 4 (Гречани+Центр) отримані з карт пилку рівні концентрації пилку вільхи $pc_{12} = 25$, полину $pc_{12} = 2$, амброзії $pc_{15} = 3$; отримані з датчиків пилку рівні концентрації пилку вільхи $pc_5 = 25$, полину $pc_{12} = 2$, амброзії $pc_{15} = 3$ не перевищують відповідних порогових значень $lpc_5 = 27$, $lpc_{12} = 3$, $lpc_{15} = 3$, то така ділянка позначається на карті в мобільному додатку кіберфізичної системи зеленим кольором, як така, що має низький рівень вмісту алергенів і є безпечною для користувачів (рис. 4.4).

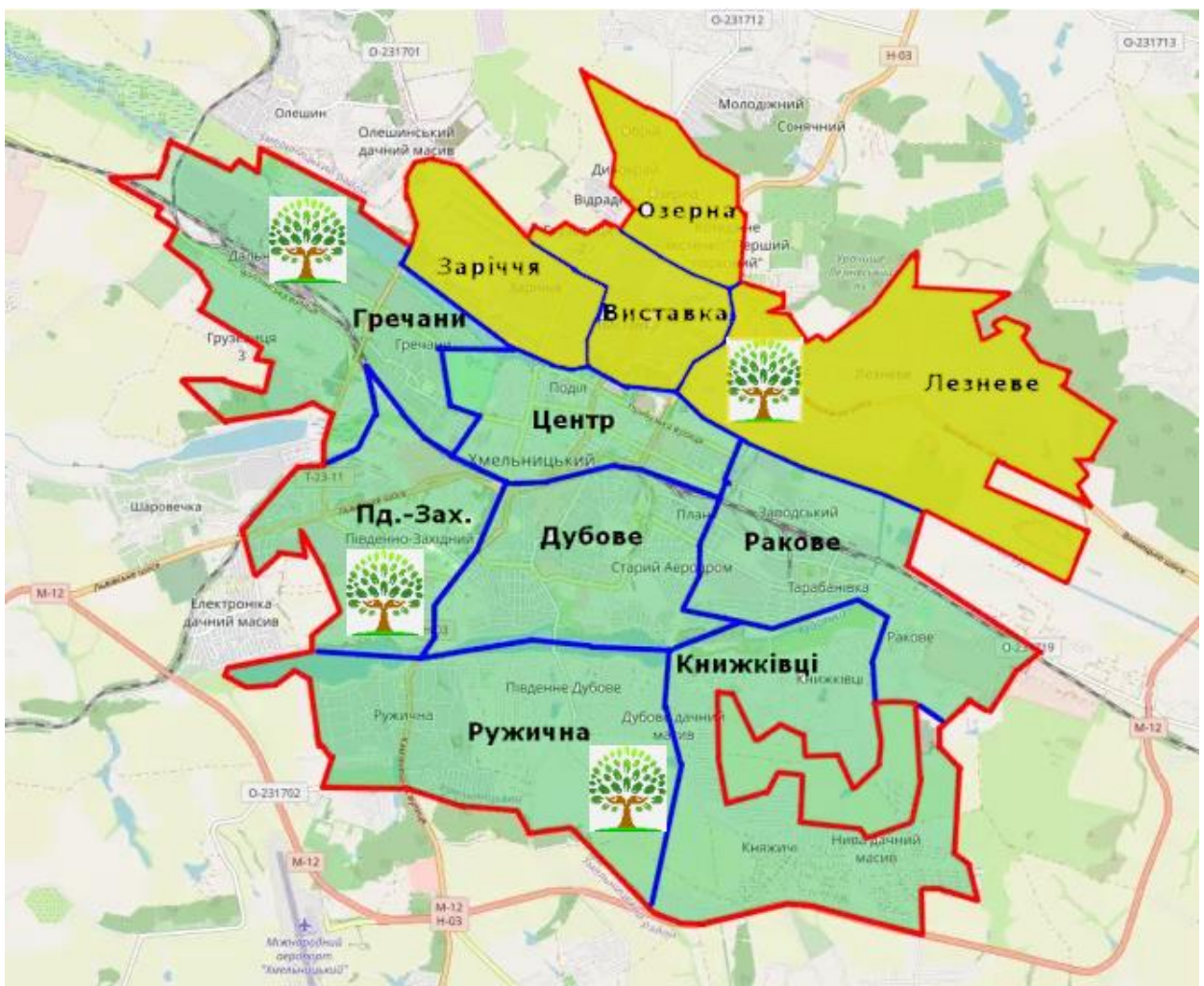


Рисунок 4.4 – Візуалізація прийняття рішення щодо рівня трьох алергенів у повітрі (вільхи, полину та амброзії) – Доба 2

Кіберфізична система продовжувала свою роботу, і на десяту добу роботи системи були отримані наступні значення рівнів пилок-алергенів з карт пилку та з датчиків пилку відповідно:

$$PCM^1_{10} = \{17, 19, 7, 10, 73, 4, 4, 6, 12, 14, 3, 2, 3, 3, 3\};$$

$$PCM^2_{10} = \{16, 19, 7, 10, 73, 4, 4, 6, 11, 14, 3, 2, 3, 3, 3\};$$

$$PCM^3_{10} = \{17, 18, 7, 10, 73, 5, 4, 7, 11, 14, 3, 2, 3, 3, 3\},$$

$$PCM^4_{10} = \{17, 19, 7, 11, 73, 4, 4, 6, 14, 14, 3, 2, 4, 3, 3\};$$

$$PC^1_{10} = \{19, 19, 7, 9, 82, 5, 4, 7, 12, 14, 4, 3, 3, 3, 3\};$$

$$PC^2_{10} = \{17, 18, 7, 10, 78, 5, 5, 6, 11, 14, 3, 3, 3, 3, 3\};$$

$$PC^3_{10} = \{17, 17, 8, 9, 75, 5, 4, 7, 13, 15, 3, 2, 3, 3, 3\},$$

$$PC^4_{10} = \{17, 18, 8, 11, 75, 4, 5, 6, 14, 16, 4, 2, 4, 3, 3\}.$$

Система виконала аналіз геолокаційних даних, даних щодо концентрації пилку різних рослин у визначеному регіоні, отриманих з карт пилку та з датчиків кіберфізичної системи, з використанням аналітичних методів для обробки даних та створила карту розподілу алергенів у визначеному регіоні в даний момент часу з графічним відображенням рівня пилку на певній ділянці.

Користувач виконав фільтрацію алергенів користувачем – здійснив вибір тієї рослини / тих рослин, пилок якої / яких викликає в нього алергію, зокрема, користувачем було залишено вибір таких алергенів: «вільха», «полин», «амброзія».

Оскільки на ділянці 1 (Озерна+Виставка+Заріччя+Лезневе) отримані з карт пилку рівні концентрації пилку полину $pc_{12} = 2$, амброзії $pc_{15} = 3$; отримані з датчиків пилку рівні концентрації пилку полину $pc_{12} = 3$, амброзії $pc_{15} = 3$ не перевищують відповідні порогові значення $lpc_{12} = 3$, $lpc_{15} = 3$; отриманий з карти пилку рівень концентрації пилку вільхи $pc_5 = 73$ перевищує відповідне порогове значення $lpc_5 = 27$, проте не перевищує $hpc_5 = 81$; отриманий з датчика пилку рівень концентрації пилку вільхи $pc_5 = 82$ перевищує відповідне порогове значення $hpc_5 = 81$, тому така ділянка позначається на карті в мобільному додатку кіберфізичної системи червоним кольором, а користувачу видається попередження та сповіщення про високий рівень вмісту алергенів на такій ділянці визначеного регіону (рис. 4.5).

Оскільки на ділянці 2 (Книжківці+Ружична) отримані з карт пилку рівні концентрації пилку полину $рст_{12} = 2$, амброзії $рст_{15} = 3$; отримані з датчиків пилку рівні концентрації пилку полину $рс_{12} = 3$, амброзії $рс_{15} = 3$ не перевищують відповідних порогових значень $лрс_{12} = 3$, $лрс_{15} = 3$, але отримані з карти пилку рівень концентрації пилку вільхи $рст_5 = 73$ та з датчика пилку рівень концентрації пилку вільхи $рс_5 = 78$ перевищують відповідне порогове значення $лрс_5 = 27$, проте не перевищують $һрс_5 = 81$, то така ділянка позначається на карті в мобільному додатку кіберфізичної системи жовтим кольором, як така, що має середній рівень вмісту алергенів (рис. 4.5).

Оскільки на ділянці 3 (Ракове+Дубове+Південно-західний) отримані з карт пилку рівні концентрації пилку полину $рст_{12} = 2$, амброзії $рст_{15} = 3$; отримані з датчиків пилку рівні концентрації пилку полину $рст_{12} = 2$, амброзії $рст_{15} = 3$ не перевищують відповідних порогових значень $лрс_{12} = 3$, $лрс_{15} = 3$, але отримані з карти пилку рівень концентрації пилку вільхи $рст_5 = 73$ та з датчика пилку рівень концентрації пилку вільхи $рс_5 = 75$ перевищують відповідне порогове значення $лрс_5 = 27$, проте не перевищують $һрс_5 = 81$, то така ділянка позначається на карті в мобільному додатку кіберфізичної системи жовтим кольором, як така, що має середній рівень вмісту алергенів (рис. 4.5).

Оскільки на ділянці 4 (Гречани+Центр) отримані з карт пилку рівні концентрації пилку полину $рст_{12} = 2$, амброзії $рст_{15} = 3$; отримані з датчиків пилку рівні концентрації пилку полину $рст_{12} = 2$, амброзії $рст_{15} = 3$ не перевищують відповідних порогових значень $лрс_{12} = 3$, $лрс_{15} = 3$, але отримані з карти пилку рівень концентрації пилку вільхи $рст_5 = 73$ та з датчика пилку рівень концентрації пилку вільхи $рс_5 = 75$ перевищують відповідне порогове значення $лрс_5 = 27$, проте не перевищують $һрс_5 = 81$, то така ділянка позначається на карті в мобільному додатку кіберфізичної системи жовтим кольором, як така, що має середній рівень вмісту алергенів (рис. 4.5).

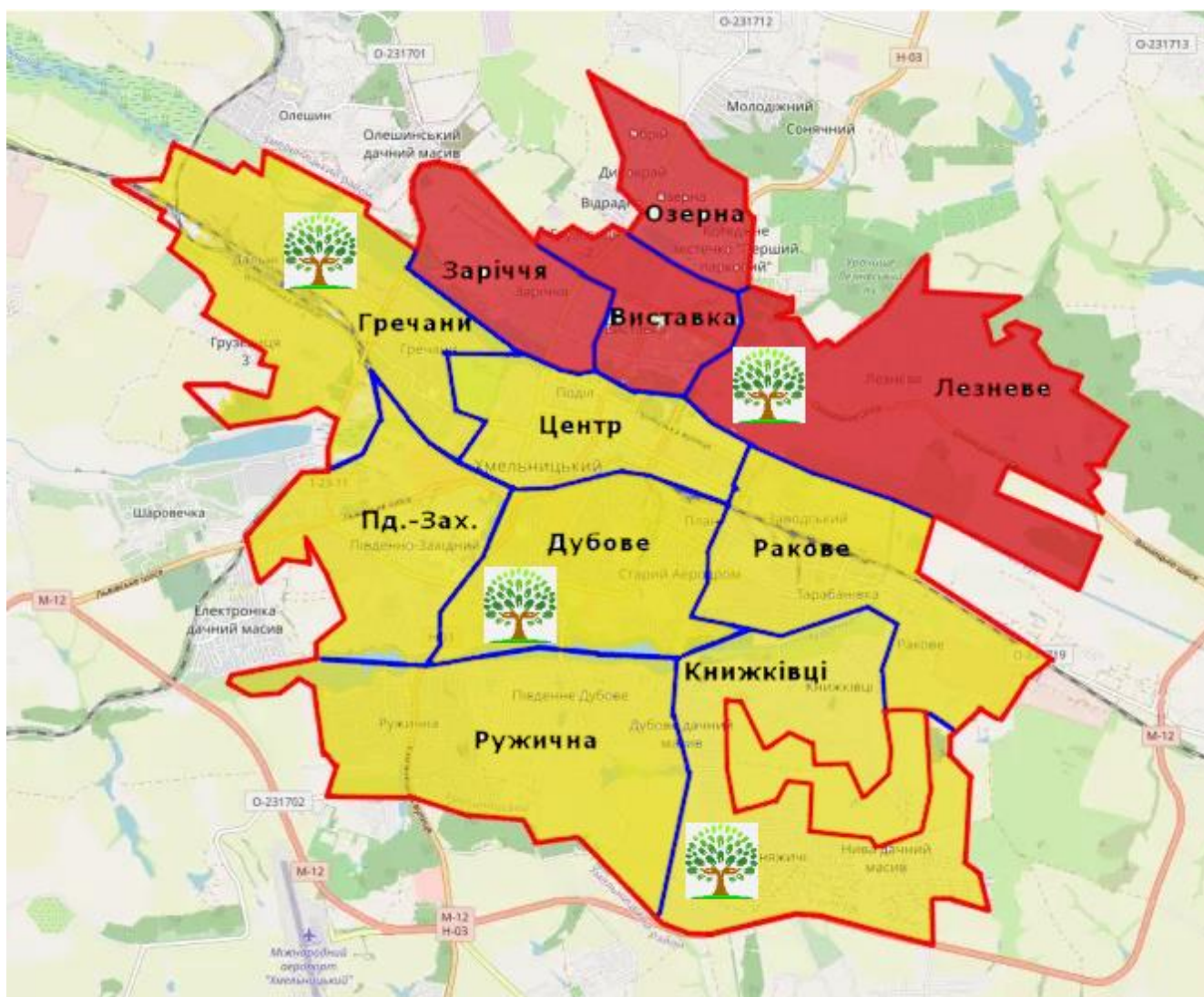


Рисунок 4.5 – Візуалізація прийняття рішення щодо рівня трьох алергенів у повітрі (вільхи, полину та амброзії) – Доба 10

4.3 Висновки

В розділі 4 кваліфікаційної роботи вперше розроблено архітектуру кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, яка не тільки використовує наявну інформацію про активність джерел пилку у заданому регіоні, але й вимірює концентрацію пилку в повітрі в реальному часі, завдяки чому допомагає відстежувати рівень пилку в регіоні, де перебуває користувач, а також, враховуючи геолокаційні дані користувача, надає йому корисну інформацію для планування

маршруту з уникненням перебування у зонах підвищеного ризику. Збір та аналіз геолокаційних даних дозволяє відстежувати зміни в розподілі алергенів з часом та в просторі. Це може бути корисним для розуміння тенденцій зміни алергенних реакцій та для розробки ефективних стратегій управління алергіями.

Кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів є корисною для людей з алергіями, надаючи їм доступну та актуальну інформацію про навколишнє середовище та ризики алергічних реакцій, дозволяючи їм краще планувати свої дії та уникати областей з високим рівнем концентрації пилку рослин. Така кіберфізична система надає можливість індивідуального підходу до кожного користувача, враховуючи його унікальні проблеми шляхом виконання фільтрації алергенів. Це дозволяє забезпечити ефективні та персоналізовані рішення управління алергіями. Пропонована кіберфізична система може створити цінну базу даних з алергічними реакціями та прогнозами, яка буде використовуватися для вдосконалення методів діагностики, лікування та управління алергіями.

Пропонована кіберфізична система може бути використана для глобального моніторингу рівня пилку та алергенів у різних частинах світу. Це дозволить виявити глобальні тенденції змін у розподілі алергенів та виробляти ефективні стратегії управління алергіями на світовому рівні.

ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень забезпечено моніторинг навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, шляхом створення кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, яка забезпечує можливість відстеження рівня пилку в регіоні, де перебуває користувач, а також, враховуючи геолокаційні дані користувача, надає йому корисну інформацію для планування маршруту з уникненням перебування у зонах підвищеного ризику.

У першому розділі проведений аналіз відомих методів та рішень для моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, визначені задачі дослідження.

У розділі 2 кваліфікаційної роботи виконано вибір датчика для формування нижнього рівня та вибір контролера для формування середнього рівня кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, а також вибір протоколу передачі даних для налагодження зв'язку між компонентами всіх трьох рівнів кіберфізичної системи.

Враховуючи функціональність, точність та вартість датчиків пилку в повітрі, для проектування нижнього рівня кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних обрано монітор якості повітря Dylos DC 1100.

Враховуючи функціональність, гнучкість та вартість IoT-контролерів, для проектування середнього рівня кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних обрано IoT-контролер Raspberry Pi.

Для налагодження зв'язку між компонентами всіх трьох рівнів кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних стандарт Wi-Fi.

Враховуючи визначені найпоширеніші пилки-алергени, які буде моніторити кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, в розділі 2 кваліфікаційної роботи розроблені критерії загрози від пилку різних алергенів у повітрі *i*-ї ділянки, а також загальне правило для прийняття рішення щодо рівня одного чи декількох алергенів у повітрі *i*-ї ділянки, які ляжуть в основу методу моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних.

В розділі 3 кваліфікаційної роботи розроблений метод моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних передбачає не тільки використання наявної на карті пилків інформації про активність джерел пилку у заданому регіоні, але й вимірювання концентрації пилку в повітрі в реальному часі, завдяки чому допомагає відстежувати рівень пилку в регіоні, де перебуває користувач, а також, враховуючи геолокаційні дані користувача, надає йому корисну інформацію для планування маршруту з уникненням перебування у зонах підвищеного ризику.

Крім цього, в розділі 3 кваліфікаційної роботи розроблено алгоритм моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, за яким виконуватиметься постійний моніторинг повітря на вміст пилків рослин-алергенів, прийматиметься рішення щодо рівня одного чи декількох алергенів у повітрі *i*-ї ділянки з візуалізацією результатів та видачею сповіщень в разі високого рівня вмісту алергену/алергенів, які цікавлять користувача, відобразатимуться (у візуальному вигляді) рівні алергійних пилків у різних районах. Цей алгоритм забезпечує комплексний підхід до моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, оскільки передбачає отримання інформації про концентрації пилків не тільки з датчиків, але й з наявних карт пилків, а також дозволяє забезпечити покращення якості життя людей, що страждають від алергій.

В розділі 4 кваліфікаційної роботи вперше розроблено архітектуру кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, яка не тільки використовує наявну

інформацію про активність джерел пилку у заданому регіоні, але й вимірює концентрацію пилку в повітрі в реальному часі, завдяки чому допомагає відстежувати рівень пилку в регіоні, де перебуває користувач, а також, враховуючи геолокаційні дані користувача, надає йому корисну інформацію для планування маршруту з уникненням перебування у зонах підвищеного ризику. Збір та аналіз геолокаційних даних дозволяє відстежувати зміни в розподілі алергенів з часом та в просторі. Це може бути корисним для розуміння тенденцій зміни алергенних реакцій та для розробки ефективних стратегій управління алергіями.

Кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів є корисною для людей з алергіями, надаючи їм доступну та актуальну інформацію про навколишнє середовище та ризики алергічних реакцій, дозволяючи їм краще планувати свої дії та уникати областей з високим рівнем концентрації пилку рослин. Така кіберфізична система надає можливість індивідуального підходу до кожного користувача, враховуючи його унікальні проблеми шляхом виконання фільтрації алергенів. Це дозволяє забезпечити ефективні та персоналізовані рішення управління алергіями. Пропонована кіберфізична система може створити цінну базу даних з алергічними реакціями та прогнозами, яка буде використовуватися для вдосконалення методів діагностики, лікування та управління алергіями.

Пропонована кіберфізична система може бути використана для глобального моніторингу рівня пилку та алергенів у різних частинах світу. Це дозволить виявити глобальні тенденції змін у розподілі алергенів та виробляти ефективні стратегії управління алергіями на світовому рівні.

Наукова новизна отриманих результатів:

1) вперше розроблено метод моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використання геолокаційних даних, який, на відміну від відомих, не тільки використовує наявну інформацію про активність джерел пилку у заданому регіоні, але й вимірює концентрацію пилку в повітрі в реальному часі, завдяки чому дозволяє відстежувати рівень пилку в регіоні, де перебуває користувач, а також, враховуючи геолокаційні дані користувача, надає йому

корисну інформацію для планування маршруту з уникненням перебування у зонах підвищеного ризику;

2) вперше розроблено архітектуру кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використання геолокаційних даних, яка, на відміну від відомих, надає можливість індивідуального підходу до кожного користувача, враховуючи його унікальні проблеми, шляхом виконання фільтрації алергенів, і є корисною для людей з алергіями, надаючи їм доступну та актуальну інформацію про навколишнє середовище та ризики алергічних реакцій, дозволяючи їм краще планувати свої дії та уникати областей з високим рівнем концентрації пилку рослин, забезпечуючи ефективні та персоналізовані рішення управління алергіями.

Практична значущість отриманих результатів полягає у реалізації кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використання геолокаційних даних, яка дозволяє створити цінну базу даних з алергічними реакціями та прогнозами, яка буде використовуватися для вдосконалення методів діагностики, лікування та управління алергіями, а також виявити глобальні тенденції змін у розподілі алергенів та виробляти ефективні стратегії управління алергіями на світовому рівні.

За темою кваліфікаційної роботи опублікована одна стаття у фаховому науковому журналі України категорії Б (додаток А):

1) Т. Novorushchenko, Ye. Voevudskyi, O. Ivanov, O. Voichur. Cyber-physical system for monitoring the environment for allergens using geolocation data. Computer systems and information technologies. 2024. №1.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Identifying the most at-risk age-group and longitudinal trends of drug allergy labeling amongst 7.3 million individuals in Hong Kong / V. Chiang et al. *BMC Medicine*. 2024. Vol. 22, no. 1.
2. Age-specific Metabolomic profiles in children with food allergy / E. Crestani et al. *Clinical Immunology*. 2024. Vol. 261. P. 109928.
3. Allergic sensitization is age-dependently associated with rhinitis, but less so with asthma / K. Warm et al. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2015. Vol. 136, no. 6. P. 1559–1565.e2.
4. Clinical Remission of Asthma and Allergic Rhinitis – in a Longitudinal Population Study / J. Heldin et al. *Journal of Asthma and Allergy*. 2022. Volume 15. P. 1569–1578.
5. Beswick D. M., Wise S. K. Allergy and Asthma in Otolaryngology: Current Management Paradigms. *Otolaryngologic Clinics of North America*. 2023.
6. Allergy and Asthma Prevalence and Management Across Nasal Polyp Subtypes / K. G. Bolk et al. *Otolaryngologic Clinics of North America*. 2023.
7. Imported allergens in Italy: an emerging issue / L. Pecoraro et al. *Italian Journal of Pediatrics*. 2024. Vol. 50, no. 1.
8. Multicenter study of seasonal and regional airborne allergens in Chinese preschoolers with allergic rhinitis / Z. Huang et al. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14, no. 1.
9. Recent advance in sesame allergens: Influence of food processing and their detection methods / J. Zeng et al. *Food Chemistry*. 2024. P. 139058.
10. Disease burden and unmet need for acute allergic reactions – A patient perspective / E. Andersson et al. *World Allergy Organization Journal*. 2024. Vol. 17, no. 4. P. 100896.
11. Van Loon J., Wu P., Yong S.-B. Intense allergic reactions to personalized oral immunotherapy treatments for food allergies at home. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*. 2024. Vol. 12, no. 3. P. 797.

12. Updated grading system for systemic allergic reactions: Joint Statement of the World Allergy Organization Anaphylaxis Committee and Allergen Immunotherapy Committee / P. J. Turner et al. *World Allergy Organization Journal*. 2024. Vol. 17, no. 3. P. 100876.

13. Severity and presentation of allergic reactions during baked milk oral food challenges / R. Khaliliya et al. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*. 2023.

14. Risk Factors Associated with Severe Systemic Allergic Reaction after Wasp Sting in Subjects with a History of European Hornet Sting Allergy / S. Perčič et al. *Slovenian Journal of Public Health*. 2024. Vol. 63, no. 2. P. 66–72.

15. Abe T., Aoyama T., Takeuchi Y. Evaluating Risk Factors for Developing Allergic Reactions during Plasma Exchange using Fresh-frozen Plasma: A Single-center Retrospective Study. *Internal Medicine*. 2023.

16. Epidemiology and risk factors of self-reported systemic allergic reactions to a Hymenoptera venom in beekeepers worldwide: a protocol for a systematic review of observational studies / T. Carli et al. *BMJ Open*. 2022. Vol. 12, no. 7. P. e058130.

17. Defining risk factors and presentations of allergic reactions to platelet transfusion / W. J. Savage et al. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2014. Vol. 133, no. 6. P. 1772–1775.e9.

18. Perčič S., Kukec A., Košnik M. Evaluation of the risk factors for the rate of allergic reaction after bee and vespid sting in adults – A systematic review of the literature. *Slovenian Medical Journal*. 2020. Vol. 89, no. 9-10. P. 485–497.

19. Impact of Preventive Measures on Subjective Symptoms and Antigen Sensitization against Japanese Cedar, Cypress Pollen and House Dust Mites in Patients with Allergic Rhinitis: A Retrospective Analysis in the COVID-19 Era / T. Oda et al. *Atmosphere*. 2022. Vol. 13, no. 7. P. 1000.

20. Characterizing seasonal dynamics of indoor fungal exposure and its relations with allergic diseases/symptoms of children – A case-control based investigation in residences / C. Du et al. *Journal of Building Engineering*. 2023. P. 106296.

21. Evaluation of Allergic Diseases, Symptom Control, and Relation to Infections in a Group of Italian Elite Mountain Bikers / F. Perrotta et al. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2018.
22. Asthma control, lung function, symptoms, and corticosteroid sparing after omalizumab initiation in patients with allergic asthma / D. Pilon et al. *Allergy and Asthma Proceedings*. 2018. Vol. 39, no. 2. P. 127–135.
23. Pham-Thi N., Montagne R., Demoly P. Worsening of pollinosis: Results of a national survey of French-speaking allergists. *Revue Française d'Allergologie*. 2024. Vol. 64, no. 3. P. 104066.
24. Lu Q., Wu Y., Zhang Q., Deng S. Research progress on effects of air pollution on pollinosis and its mechanisms. *Journal of Environmental and Occupational Medicine*. 2024. Vol. 41. Issue 1. Pp. 103 – 109.
25. Jung C.-G., Park H.-S. Emerging Hop Japanese Pollinosis in Asia. *Current Protein & Peptide Science*. 2022. Vol. 23.
26. Hoogveen M. J. Pollen likely seasonal factor in inhibiting flu-like epidemics. A Dutch study into the inverse relation between pollen counts, hay fever and flu-like incidence 2016–2019. *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 727. P. 138543.
27. Aeroflora and pollinosis in selected areas of Lagos, Nigeria / T. I. Ibigbami et al. *Aerobiologia*. 2022.
28. Sub-pollen in platelet products: A potential cause of allergic transfusion reactions / R. Yanagisawa et al. *Allergology International*. 2023.
29. Pollen Sensitization Can Increase the Allergic Reaction to Non-Cross-Reactive Allergens in a Soy-Allergic Patient / D. B. Briceno Noriega et al. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2023. Vol. 20, no. 11. P. 6045.
30. Wagner A., Zielińska-Bliźniewska H., Wagner W. The Incidence of Delayed-Type Hypersensitivity Reactions to Apples Among Patients Allergic to Birch Pollen. *Allergy, Asthma & Immunology Research*. 2018. Vol. 10, no. 4. P. 420.
31. Climate Change and Future Pollen Allergy in Europe / I. R. Lake et al. *Environmental Health Perspectives*. 2017. Vol. 125, no. 3. P. 385–391.

32. Pollen Allergy: A Growing Problem. URL: <https://www.bayer.com/en/news-stories/the-pollen-problem>.

33. Pectate Lyase Pollen Allergens: Sensitization Profiles and Cross-Reactivity Pattern / U. Pichler et al. *PLOS ONE*. 2015. Vol. 10, no. 5. P. e0120038.

34. There Is No Stopping the Allergy Apocalypse. URL: <https://www.theatlantic.com/science/archive/2023/05/seasonal-allergies-pollen-climate-change/673935/>.

35. Allergens and Pollen. URL: <https://www.cdc.gov/climateandhealth/effects/allergen.htm>.

36. Весна іде, алергію несе... Радимо, як бути. URL: <https://radioukrajina.cz/novyny/byd-te-zdorov-z-rad-o-ukrajina/vesna-de-alerg-u-nese-radymo-jak-byty#:~:text=%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%96%D0%BD%D0%BE%D0%B7%20%E2%80%93%D1%86%D0%B5%20%D0%B0%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%B3%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B5%20%D0%B7%D0%B0%D1%85%D0%B2%D0%BE%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D1%81%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%85,%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%BE%207%25%20%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D0%B2%20%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D1%96>.

37. Роднікова В., Юр'єв С. Чутливість населення до чинників полінозу в Україні за даними молекулярної діагностики алергії ALEX. *Клінічна імунологія. Алергологія. Інфектологія*. 2019. № 2 (115). С. 1-5.

38. Modeling hay fever risk factors caused by pollen from *Ambrosia* spp. using pollen load mapping in Ukraine / V. Rodinkova et al. *Acta Agrobotanica*. 2018. Vol. 71, no. 3.

39. Development of personal pollen information—the next generation of pollen information and a step forward for hay fever sufferers / M. Kmenta et al. *International Journal of Biometeorology*. 2013. Vol. 58, no. 8. P. 1721–1726.

40. Venkatesan S., Zare A., Stevanovic S. Pollen and sub-pollen particles: External interactions shaping the allergic potential of pollen. *Science of The Total Environment*. 2024. P. 171593.

41. Natural course of pollen-induced allergic rhinitis from childhood to adulthood: A 20-year follow up / M. Lindqvist et al. *Allergy*. 2023.

42. Effects of airborne pollen on allergic rhinitis and asthma across different age groups in Beijing, China / S. Zhaobin et al. *Science of The Total Environment*. 2024. Vol. 912. P. 169215.

43. Circulating mast cell progenitors increase during natural birch pollen exposure in allergic asthma patients / P. A. Alvarado-Vazquez et al. *Allergy*. 2023.

44. Matricardi P. M., Hoffmann T., Dramburg S. The “allergic nose as a pollen detector” concept: e-Diaries to predict pollen trends. *Pediatric Allergy and Immunology*. 2023. Vol. 34, no. 6.

45. An Y., Ouyang Y., Zhang L. Impact of airborne pollen concentration and meteorological factors on the number of outpatients with allergic rhinitis. *World Allergy Organization Journal*. 2023. Vol. 16, no. 4. P. 100762.

46. Rodinkova V. V. Airborne pollen spectrum and hay fever type prevalence in Vinnitsa, central Ukraine. *Acta Agrobotanica*. 2015. Vol. 68, no. 4. P. 383–389.

47. Szema A. M. Asthma, Hay Fever, Pollen, and Climate Change. *Global Climate Change and Public Health*. New York, NY, 2013. P. 155–165.

48. Besancenot J.-P., Thibaudon M., Cecchi L. Has allergenic pollen an impact on non-allergic diseases? *European Annals of Allergy and Clinical Immunology*. 2021. Vol. 43. Issue 3. P. 69-76.

49. Codina R., Esch R. E., Lockey R. F. The Clinical Relevance of Pollen Versus Fungal Spores in Allergic Diseases. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*. 2021.

50. Robledo-Retana T., Mani B. M., Teran L. M. Ligustrum pollen: New insights into allergic disease. *World Allergy Organization Journal*. 2020. Vol. 13, no. 2. P. 100104.

51. Early Intervention with Fluticasone Furoate for Nasal Symptoms and Sleep Disturbance in Patients with Japanese Cedar Pollinosis / S. Igarashi et al. *Practica Oto-Rhino-Laryngologica*. 2022. Vol. 115, no. 12. P. 1039–1046.
52. Symptoms and Quality of life of Patients with Cedar Pollinosis / Y. Hyo et al. *Practica oto-rhino-laryngologica. Suppl.* 2017. Vol. 149. P. 170–175.
53. Association between first airborne cedar pollen level peak and pollinosis symptom onset: a web-based survey / H. Bando et al. *International Journal of Environmental Health Research*. 2014. Vol. 25, no. 1. P. 104–113.
54. Evaluating the Effects of Testing Period on Pollinosis Symptoms Using an Allergen Challenge Chamber / A. Yuki et al. *Allergology International*. 2011. Vol. 60, no. 4. P. 533–539.
55. Are Respiratory Viruses Involved in Preseasonal Symptoms or Severity in Japanese Cedar Pollinosis? / H. Otsuka et al. *Allergy & Rhinology*. 2016. Vol. 7, no. 2. P. ar.2016.7.0157.
56. NIH Statement on World Asthma Day 2021. URL: <https://www.niaid.nih.gov/news-events/nih-statement-world-asthma-day-2021>.
57. Parental hay fever reinforces IgE to pollen as pre-clinical biomarker of hay fever in childhood / L. Hatzler et al. *Pediatric Allergy and Immunology*. 2014. Vol. 25, no. 4. P. 366–373.
58. Emberlin J. C., Lewis R. A. Pollen challenge study of a phototherapy device for reducing the symptoms of hay fever. *Current Medical Research and Opinion*. 2009. Vol. 25, no. 7. P. 1635–1644.
59. Lichtenstein L. M. Hay Fever Symptoms, Blocking Antibody Levels, and Leucocyte Histamine Release in Patients Receiving Very High Dosage Immunotherapy with Ragweed Pollen Extract. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2009. Vol. 123, no. 2. P. S3.
60. Distribution pattern of allergenic plants in the Beijing metropolitan region / Q. Mao et al. *Aerobiologia*. 2012. Vol. 29, no. 2. P. 217–231.

61. Five-Year Data on Pollen Monitoring, Distribution and Health Impact of Allergenic Plants in Bucharest and the Southeastern Region of Romania / P. M. Leru et al. *Medicina*. 2019. Vol. 55, no. 5. P. 140.

62. Portnoy J., Barnes C., Barnes C. S. The National Allergy Bureau: Pollen and spore reporting today. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2004. Vol. 114, no. 5. P. 1235–1238.

63. Aeroallergen Monitoring by the NAB: A Review of the Past and a Look into the Future / E. Levetin et al. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*. 2022.

64. Simulation Palynologists for Pollinosis Prevention: A Progressive Learning of Pollen Localization and Classification for Whole Slide Images / L.-N. Zhao et al. *Biology*. 2022. Vol. 11, no. 12. P. 1841.

65. The public health impact of hay fever: is it time to look at prevention through environmental modification? *Perspectives in Public Health*. 2014. Vol. 134, no. 3. P. 121.

66. Survey of problems while wearing a hay fever prevention mask in 2009 and 2012 / M. Morishima et al. *New Ergonomics Perspective*. 2014. P. 189–193.

67. White S., Leong S. C. Endonasal phototherapy for the treatment of allergic rhinitis/hay fever. *Clinical Otolaryngology*. 2012. Vol. 37, no. 2. P. 163–164.

68. GRAZAX®: a sublingual immunotherapy vaccine for Hay fever treatment: from concept to commercialization / D. Barber et al. *Human Vaccines & Immunotherapeutics*. 2019. Vol. 15, no. 12. P. 2887–2895.

69. Allergy Alert by Pollen.com. URL: <https://allergy-alert.en.aptoide.com/app>.

70. Allergy Tools. URL: <https://www.pollen.com/tools>.

71. Allergy Alert by Pollen.com. URL: <https://www.amazon.com/IMS-Health-Allergy-Alert-Pollen-com/dp/B005XNVKGW>.

72. My Pollen Forecast – Allergies. URL: <https://apps.apple.com/us/app/my-pollen-forecast-allergies/id1244428929>.

73. ZYRTEC® AllergyCast®. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mcneil.zyrtec.allergycast.activity&hl=en&pli=1>.

74. Discover Your Allergy Forecast with AllergyCast. URL: <https://www.zyrtec.com/allergy-forecast>.
75. Johnson & Johnson: ZYRTEC AllergyCast App with Symptom Tracker. URL: https://www.mmaglobal.com/case-study-hub/case_studies/view/27469.
76. WebMD Allergy. URL: <https://cafebazaar.ir/app/com.webmd.allergy?l=en>.
77. Segal L. N., Martinez F. J. Chronic obstructive pulmonary disease subpopulations and phenotyping. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2018. Vol. 141, no. 6. P. 1961–1971.
78. Evans N. WebMD Allergy app. *Nursing Standard*. 2014. Vol. 29, no. 2. P. 31.
79. AccuWeather. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.polestar.accuweather.production.android&hl=uk&gl=US>.
80. De Jesus P. J., Christopher Mendoza B., Mendoza L. Environmental Assessment on the Effect of Particulate Matter as Air Pollutant to the Health of Individuals in Ermita, City of Manila, Philippines. *2023 5th International Conference on Electrical, Control and Instrumentation Engineering (ICECIE)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 22–24 December 2023. 2023.
81. AccuWeather 2021 US Fall Allergy Forecast. URL: <https://texasborderbusiness.com/accuweather-2021-us-fall-allergy-forecast/>.
82. Allergies: Symptoms, Causes, Diagnosis, and Treatment. URL: <https://www.webmd.com/allergies/allergy-symptoms>.
83. Yaici W., Entchev E., Longo M. Internet of Things (IoT)-Based System for Smart Home Heating and Cooling Control. *2022 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2022 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, Prague, Czech Republic, 28 June – 1 July 2022. 2022.
84. A Laboratory Evaluation of the New Automated Pollen Sensor Beenose: Pollen Discrimination Using Machine Learning Techniques / H. El Azari et al. *Sensors*. 2023. Vol. 23, no. 6. P. 2964.

85. Automatic and Online Pollen Monitoring / J. Oteros et al. *International Archives of Allergy and Immunology*. 2015. Vol. 167, no. 3. P. 158–166.

86. An operational robotic pollen monitoring network based on automatic image recognition / J. Oteros et al. *Environmental Research*. 2020. Vol. 191. P. 110031.

87. A laboratory assessment of the Waveband Integrated Bioaerosol Sensor (WIBS-4) using individual samples of pollen and fungal spore material / D. A. Healy et al. *Atmospheric Environment*. 2012. Vol. 60. P. 534–543.

88. Real-time pollen monitoring using digital holography / E. Sauvageat et al. *Atmospheric Measurement Techniques*. 2020. Vol. 13, no. 3. P. 1539–1550.

89. Automatic pollen recognition with the Rapid-E particle counter: the first-level procedure, experience and next steps / I. Šaulienė et al. *Atmospheric Measurement Techniques*. 2019. Vol. 12, no. 6. P. 3435–3452.

90. An algorithm and a device for counting airborne pollen automatically using laser optics / S. Kawashima et al. *Atmospheric Environment*. 2017. Vol. 41, no. 36. P. 7987–7993.

91. Towards an Automatic Pollen Detection System in Ambient Air Using Scattering Functions in the Visible Domain / J.-B. Renard et al. *Sensors*. 2022. Vol. 22, no. 13. P. 4984.

92. Pollen Sensor. URL: https://www.sca-shinyei.com/stc/particle_pollen.

93. Pollen Sense Introduces Revolutionary New Sensor. URL: <https://www.newswire.com/news/pollen-sense-introduces-revolutionary-new-sensor-21567491>.

94. Field Evaluation of an Automated Pollen Sensor / C. Jiang et al. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. Vol. 19, no. 11. P. 6444.

95. FEATURED PRODUCTS. URL: <https://dylosproducts.com/>.

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

КОПІЯ СТАТТІ У ФАХОВОМУ НАУКОВОМУ ЖУРНАЛІ УКРАЇНИ
(КАТЕГОРІЯ Б)

1) Т. Novorushchenko, Ye. Voevudskyi, O. Ivanov, O. Voichur. Cyber-physical system for monitoring the environment for allergens using geolocation data. Computer systems and information technologies. 2024. №1.

UDC 004.9

T. O. HOVORUSHCHENKO, Ye. H. VOEVUDSKYI, O. V. IVANOV, O. Y. VOICHUR

Khmelnitskyi National University

CYBER-PHYSICAL SYSTEM FOR MONITORING THE ENVIRONMENT FOR ALLERGENS USING GEOLOCATION DATA

The task of creating a cyber-physical system for monitoring the environment for allergens is relevant. Therefore, our study is devoted to the development of a method and a cyber-physical system for monitoring the environment for allergens using geolocation data.

The developed cyber-physical system for monitoring the environment for allergens not only uses the available information on the activity of pollen sources in a given region, but also measures the concentration of pollen in the air in real time, which helps to monitor the level of pollen in the region where the user is located, and, taking into account the user's geolocation data, provides him with useful information for route planning to avoid staying in high-risk areas. Collecting and analyzing geolocation data allows you to track changes in the distribution of allergens over time and in space. This can be useful for understanding trends in allergenic reactions and for developing effective allergy management strategies.

The cyber-physical system for monitoring the environment for allergens is useful for people with allergies by providing them with accessible and up-to-date information about the environment and the risks of allergic reactions, allowing them to better plan their activities and avoid areas with high levels of plant pollen concentration. Such a cyber-physical system enables an individualized approach to each user, taking into account their unique problems by performing allergen filtering. This allows for effective and personalized allergy management solutions. The proposed cyber-physical system can create a valuable database with allergic reactions and predictions that will be used to improve the methods of diagnosis, treatment and management of allergies.

The proposed cyber-physical system can be used for global monitoring of pollen and allergen levels in different parts of the world. This will allow us to identify global trends in the distribution of allergens and develop effective strategies for managing allergies at the global level.

Keywords: cyber-physical system, allergy, allergen, monitoring the environment for allergens, geolocation data, plant pollen sensors, pollen maps.

T. O. ГОВОРУЩЕНКО, Є. Г. ВОЄВУДСЬКИЙ, О. В. ІВАНОВ, О. Ю. ВОЙЧУР

Хмельницький національний університет

КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ПРЕДМЕТ АЛЕРГЕНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОЛОКАЦІЙНИХ ДАНИХ

Анотація – Задача створення кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів є актуальною. Відтак наше дослідження присвячене розробленню методу та кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних.

Розроблена кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища не тільки використовує наявну інформацію про активність джерел пилку у заданому регіоні, але й вимірює концентрацію пилку в повітрі в реальному часі, завдяки чому допомагає відстежувати рівень пилку в регіоні, де перебуває користувач, а також, враховуючи геолокаційні дані користувача, надає йому корисну інформацію для планування маршруту з уникненням перебування у зонах підвищеного ризику. Збір та аналіз геолокаційних даних дозволяє відстежувати зміни в розподілі алергенів з часом та в просторі. Це може бути корисним для розуміння тенденцій зміни алергенних реакцій та для розробки ефективних стратегій управління алергіями.

Кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів є корисною для людей з алергіями, надаючи їм доступу та актуальну інформацію про навколишнє середовище та ризики алергічних реакцій, дозволяючи їм краще планувати свої дії та уникати областей з високим рівнем концентрації пилку рослин. Така кіберфізична система надає можливість індивідуального підходу до кожного користувача, враховуючи його унікальні проблеми шляхом виконання фільтрації алергенів. Це дозволяє забезпечити ефективні та персоналізовані рішення управління алергіями. Пропонована кіберфізична система може створити цінну базу даних з алергічними реакціями та прогнозами, яка буде використовуватися для вдосконалення методів діагностики, лікування та управління алергіями.

Пропонована кіберфізична система може бути використана для глобального моніторингу рівня пилку та алергенів у різних частинах світу. Це дозволить виявити глобальні тенденції змін у розподілі алергенів та виробити ефективні стратегії управління алергіями на світовому рівні.

Ключові слова: кіберфізична система, алергія, алерген, моніторинг навколишнього середовища на предмет алергенів, геолокаційні дані, датчики пилку рослин, карти пилку.

Introduction

An allergy is a cross-reaction of the immune system to substances that are not normally harmful to most people. An allergy is an overreaction of the immune system to something called an allergen. An allergen is a foreign substance that is harmless to most people, such as pollen or pet hair. But an allergic person's immune system tries to fight the allergen as if it were a germ or virus. The human body produces a protein called an antibody to fight the allergen. This is how a reaction to an allergen occurs - to pollen, various foods, subcutaneous injections, medications, various substances in the air, etc. Allergy symptoms can range from mild to severe and include itching, rashes, swelling, coughing, red eyes, shortness of breath, and other symptoms [1-3].

Allergies can have a significant impact on a person's quality of life, especially if the symptoms are frequent or severe. To reduce the risk of allergic reactions, it is important to avoid contact with allergens. Avoiding what causes the

allergy can help improve a person's condition, but this is not always possible, especially if the allergen is widespread in the environment, such as plant pollen [4-6].

A very common allergy is pollen allergy (hay fever), which is especially dangerous in conditions when plants actively produce their pollen. Pollen is often a direct or indirect factor in the seasonality of influenza-like epidemics [7]. Pollen allergies can affect a significant proportion of the population in many countries. The allergen content, pollen load, and symptoms of pollen allergy vary by region and year. Hay fever symptoms can be particularly pronounced in spring or summer, depending on when certain plants bloom and shed their pollen, and the pollen from specific plants is in the air in large quantities. It can be particularly pronounced in regions with a large number of plants that disperse their pollen [8, 9]. As for the plants that most often cause allergic reactions, these are usually herbaceous and woody plants. The most common allergens include pollen from woody trees such as maple, oak, and birch, as well as pollen from herbaceous plants such as timothy, wheatgrass, ragweed, etc. As a rule, there are 50 to 69 types of pollen in the air, depending on the season. From 24 to 27 types of pollen belong to woody plants and from 22 to 46 types of pollen belong to herbaceous plants [10].

In addition, a large amount of pollen causes not only allergic but also non-allergic diseases, for example, ragweed produces more reactive oxygen species, so it can cause inflammation, which leads to symptoms of upper and lower respiratory tract diseases even in people without allergic asthma, rhinitis or conjunctivitis [11].

According to the World Health Organization (WHO), approximately 10-30% of the world's population suffers from pollen allergy. Europe and other regions of the world have a high prevalence of this allergy. Pollen allergy affects a significant proportion of the European population and is believed to be on the rise [9]. In the United States of America, according to the National Institute of Allergy and Infectious Diseases, about 30% of adults and 40% of children are allergic to plant pollen [12]. The level of pollen allergy can vary depending on geographic location, the type of plants that grow in a particular area, and other environmental factors.

Doctors can diagnose pollen allergies using skin tests or blood tests. Treatment may include the use of antihistamines, inhaled corticosteroids, immunotherapy, and other methods [13-15].

Knowing the types of allergenic plants in a particular region can help people avoid contact with allergens and better manage their symptoms. Understanding this allows people to avoid unnecessary contact with allergens and take preventive measures. Thus, knowledge of allergenic plants in a particular region can be an important tool for managing allergic symptoms.

The public has a great interest in pollen counts and their predictions, as do many healthcare professionals in the allergy community. Many organizations and health institutes provide information on the types of allergenic plants in specific regions. For example, in the United States, the American Academy of Allergy, Asthma and Immunology (AAAAI) provides an online tool called the National Allergy Bureau, where you can find information about pollen levels in different cities and regions. The purpose of this program is to provide information on plant pollen levels to help people with pollen allergies plan their activities and avoid areas with high pollen levels. The National Allergy Bureau works with a network of air testing stations across the United States to collect air samples and determine the concentration of different types of plant pollen. This data is then analyzed and published online, where it is available for public use. Using the National Allergy Bureau tool, people can check pollen levels in their area and get information about which plant species are currently actively releasing pollen. This allows people to be more aware and manage their actions to reduce the impact of allergic reactions [16, 17].

There are also several mobile applications that help track pollen levels and predict peaks in allergic reactions, which helps to better plan user actions and avoid health problems. Here are some of them:

- 1) Pollen.com's Allergy Alert – the application provides daily pollen forecasts for a given region, including data on the pollen concentration of various plants, as well as forecasts of allergic reactions for a given region; the application allows users to receive up-to-date pollen and weather data, which helps them to better plan their actions and avoid allergic problems; the main functions of Allergy Alert are: daily pollen forecasts – information on pollen levels of various plant species for today and the next days, symptom monitoring – users can keep a log of their allergic reactions to track the impact of pollen on their health, allergic reaction forecasts – forecasts of allergic reactions based on pollen levels and other factors for better planning of actions by users, notification settings – users can set up notifications about pollen peaks and allergic reactions; thus, Allergy Alert is a useful tool for people suffering from pollen allergies, helping them to better manage their symptoms and reduce their impact on their daily lives [18];
- 2) Zyrtec AllergyCast – a mobile application designed specifically for people suffering from pollen and other allergens, which provides daily forecasts of allergic reactions, including information on pollen levels and weather conditions for a given region; the main functions of Zyrtec AllergyCast are daily allergy forecasts – the app provides daily forecasts of plant pollen and other allergens for a given region and weather data, plant pollen map – the app has a map showing pollen levels of different plant species in a given region to help users avoid areas with high pollen levels, symptom forecasts – the app provides allergy symptom forecasts based on pollen levels and other factors to help users plan better, pollen peak alerts – users can receive alerts about pollen peaks to get an overview of the situation; thus, Zyrtec AllergyCast is also a useful tool for managing allergic symptoms and planning for people with allergies to pollen and other allergens [19];

- 3) WebMD Allergy – a mobile application of the well-known medical resource WebMD, which offers information about allergic reactions and pollen in a given region, as well as tips for managing allergy symptoms; the main functions of the application are: daily allergy forecasts – the application provides information on the level of plant pollen, allergens in the air and other factors that can affect allergic reactions for a given region, symptoms and treatment – the application contains information on the symptoms of various types of allergies and treatment recommendations, including advice on medication use and other symptom management methods, an allergy reaction tracker – users can keep a log of their allergic reactions and symptoms to track them and share with their doctor, allergen avoidance tips – the app provides tips on how to avoid contact with allergens and reduce the risk of allergic reactions; in general, WebMD Allergy is also a useful tool for those who face allergies, helping them to better understand their symptoms, manage them, and find effective treatments [20];
- 4) AccuWeather – one of the most famous mobile apps and websites for weather forecasting, providing users with weather information for today, the next days and even several weeks ahead, which also provides pollen level information and allergy forecasts; the main features of AccuWeather are daily allergy forecasts – the app provides information on plant pollen levels, allergens in the air, and allergy forecasts for a given region, pollen maps – the app can display a map of pollen distribution for a given region, helping the user to understand which allergens prevail in a given area and how this can affect their allergic reactions, Allergy alerts – the user can set up alerts for pollen peaks and allergic reactions to stay informed of the situation, Allergy management tips – the app can also provide tips on how to avoid contact with allergens and reduce the risk of allergic reactions; overall, AccuWeather is a handy tool that helps people with allergies better manage their symptoms and plan their activities depending on weather conditions and pollen levels in the air [21].

Obviously, there are other mobile apps for tracking pollen levels and predicting allergic reactions, but as we can see, they all have similar functions. However, the level of use of such applications has been and remains relatively low, especially in Ukraine, which is obviously largely influenced by potential users' perception of the price-benefit ratio, reliability, and accessibility [17, 22].

Of course, the more useful would be a cyber-physical environmental monitoring system that not only uses available and predictive information about the activity of pollen sources in a given region, but also measures the concentration of pollen in the air in real time, which would help to monitor the level of pollen in the region where the user is located, and, taking into account the user's geolocation data, provide useful information for route planning by the user to avoid high-risk areas.

So, the task of creating a cyber-physical system for monitoring the environment for allergens is relevant. Therefore, our study is devoted to the development of a method and a cyber-physical system for monitoring the environment for allergens using geolocation data.

Cyber-Physical System for Monitoring the Environment for Allergens Using Geolocation Data

Many studies have been devoted to the task of creating various cyber-physical systems, in particular, the studies described in [23-25].

To develop the above-described cyber-physical system for monitoring the environment for allergens, pollen maps in Ukraine will be needed for Ukrainian consumers. To do this, we will use the modeling of pollen distribution in Ukraine in terms of identifying regions with high pollen concentrations and the time when high pollen load occurs, which was carried out using the SILAM system, followed by mapping of pollen using the Grid Analysis and Display System, performed in [8]. The modeling results were compared and matched with aerobiological data obtained from six monitoring stations in Ukraine. In addition, the system under development will measure the concentration of pollen in the air in real time, which will help to monitor the level of pollen in the region where the user is located.

So, the method of monitoring the environment for allergens consists of the following steps:

- 1) training of the system – setting a set of threshold values for the pollen concentration of different plants $HPC = \{hpc_1, hpc_2, \dots, hpc_n\}$, above which the system warns and notifies of a potentially high level of allergens; setting a set of threshold values for the pollen concentration of different plants $LPC = \{lpc_1, lpc_2, \dots, lpc_n\}$, below which the level of allergens is considered low and safe;
- 2) collection of geolocation data – determination of the location of each plant pollen sensor using GPS trackers or other geolocation monitoring systems built into the sensors to create a map of allergen distribution in a particular region, determination of the location of the user of the mobile application of the cyber-physical system using the "Location" function of his mobile phone;
- 3) transfer of geolocation data to the server for analysis and processing;
- 4) formation of a set of indicators of pollen concentration values of different plants $PCM = \{pcm_1, pcm_2, \dots, pcm_n\}$ based on data obtained from pollen maps characteristic of a particular region for the current date taken from the study [9]
- 5) transferring data on the pollen concentration of various plants in a particular region, collected from pollen maps, to a server for analysis and processing;

- 6) formation of sets of indicators of pollen concentration values of different plants in a given area $PC^1 = \{pc_1^1, pc_2^1, \dots, pc_n^1\}$, $PC^2 = \{pc_1^2, pc_2^2, \dots, pc_n^2\}$, ..., $PC^m = \{pc_1^m, pc_2^m, \dots, pc_n^m\}$ based on data obtained from n plant pollen sensors of the cyber-physical system located on one of m areas;
- 7) transferring data on the pollen concentration of various plants in a given region collected by the sensors to a server for analysis and processing;
- 8) analyzing geolocation data, data on pollen concentration of various plants in a given region, obtained from pollen maps and sensors of the cyber-physical system, using analytical methods for data processing;
- 9) creation of a map of allergen distribution in a certain region at a given time, available in the mobile application of the cyber-physical system, with a graphical display of the pollen level in a certain area;
- 10) allergen filtration by the user - selection of the plant(s), pollen of which causes allergies in the user;
- 11) if in a certain area of a certain region the level of pollen concentration of the i -th plant, selected by the user in the previous step, pcm_i , obtained from pollen maps, or pc_i^j , obtained from plant pollen sensors from j -th area, exceeds the corresponding threshold value of the pollen concentration of different plants hpc_i , then such an area is marked on the map in the mobile application of the cyber-physical system in red, and the user is given a warning and notification of high allergen levels in such an area of a particular region (for example, the one in which he or she is currently located);
- 12) if in a certain area of a certain region the level of pollen concentration of the i -th plant, selected by the user in the previous step, pcm_i , obtained from pollen maps, or pc_i^j , obtained from plant pollen sensors from j -th area, does not exceed the corresponding threshold value of the pollen concentration of different plants hpc_i , but exceeds the corresponding threshold value lpc_i , then such an area is marked on the map in the mobile application of the cyber-physical system in yellow as having an average level of allergens;
- 13) if in a certain area of a certain region the level of pollen concentration of the i -th plant, selected by the user in the previous step, pcm_i , obtained from pollen maps, or pc_i^j , obtained from plant pollen sensors from j -th area, does not exceed the corresponding threshold value lpc_i in a certain area of the defined region, such area is marked on the map in the mobile application of the cyber-physical system in green as having a low level of allergens and is safe for users.

Let's design a cyber-physical system for monitoring the environment for allergens using the proposed method. The architecture of the cyber-physical system for monitoring the environment for allergens is shown in Fig. 1.

Thus, the developed cyber-physical system for monitoring the environment for allergens collects geolocation data, collects pollen concentration values of various plants based on data obtained from pollen maps and on data obtained from plant pollen sensors of the cyber-physical system. Plant pollen sensors are specialized devices designed to detect and measure the level of pollen in the atmosphere. The following types of pollen sensors can be used: optical sensors – use light or infrared radiation to measure pollen levels in the atmosphere; electronic sensors – use electronic components such as pressure sensors, resistors, or capacitors to measure changes caused by the presence of pollen; biological sensors – use living organisms such as bacteria or plants to detect pollen; mechanical sensors – use mechanical means to detect pollen, such as filters or membranes that collect pollen from the

The data received by the cyber-physical system from various sources is transferred to the server for analysis and processing using analytical methods. Based on the analysis, a map of the distribution of allergens in a particular region at a given time is created with a graphical display of pollen levels in a particular area, which allows users to monitor pollen levels in their region and plan their actions to avoid contact with allergens during periods of high concentrations. The map is then made available to the user in the mobile application of the cyber-physical system, where the user can filter allergens - select the plant(s) whose pollen causes allergies. After the user selects the plant(s), the areas are colored red (high danger), yellow (medium danger) or green (safety) (graphical display of pollen levels using a color scheme) on the map of the defined region in accordance with steps 11-13 of the proposed method of monitoring the environment for allergens.

The developed cyber-physical system for monitoring the environment for allergens not only uses the available information on the activity of pollen sources in a given region, but also measures the concentration of pollen in the air in real time, which helps to monitor the level of pollen in the region where the user is located, and, taking into account the user's geolocation data, provides him with useful information for route planning to avoid staying in high-risk areas. Collecting and analyzing geolocation data allows you to track changes in the distribution of allergens over time and in space. This can be useful for understanding trends in allergenic reactions and for developing effective allergy management strategies.

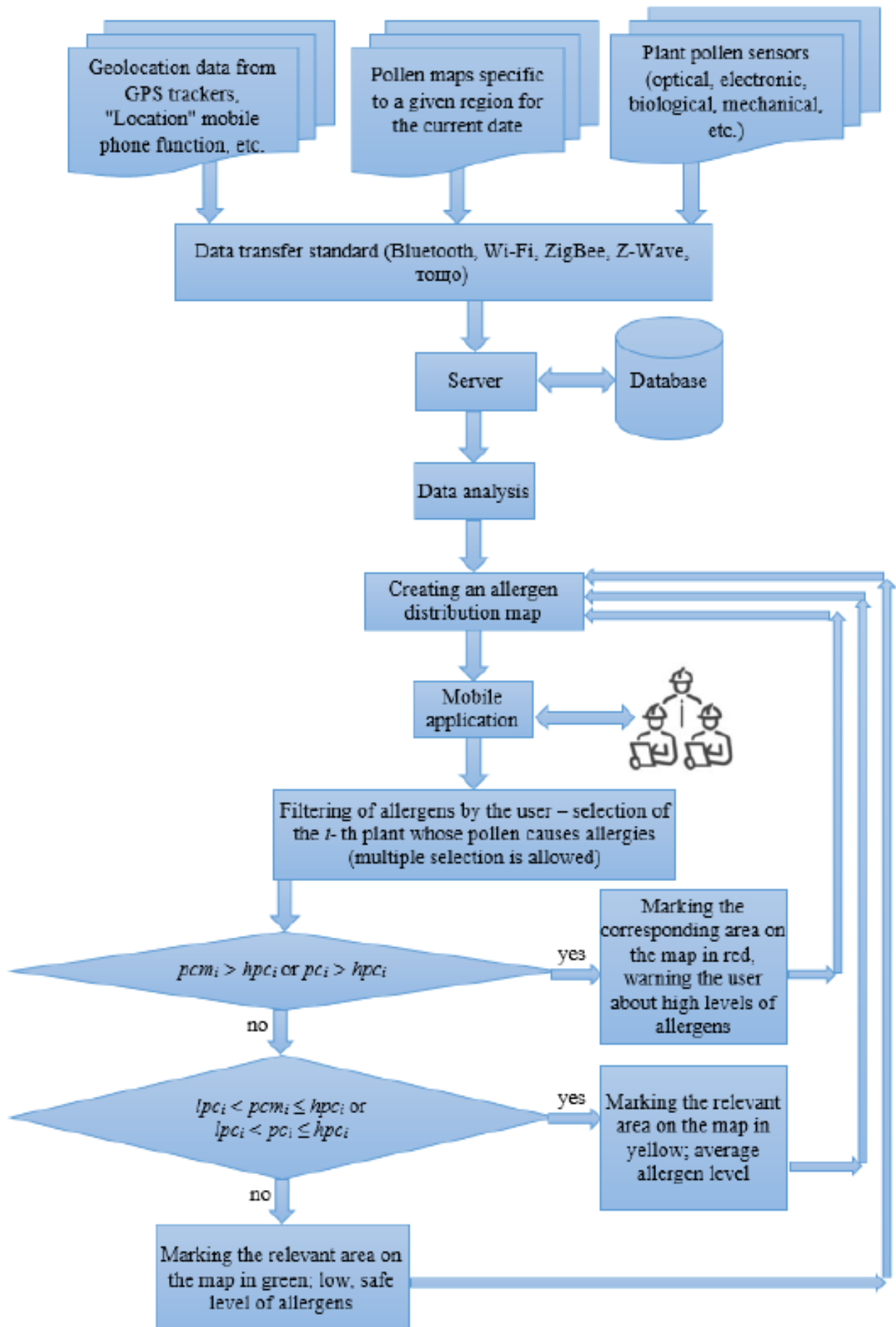


Fig. 1. Architecture of cyber-physical system for monitoring the environment for allergens using geolocation data

The cyber-physical system for monitoring the environment for allergens is useful for people with allergies by providing them with accessible and up-to-date information about the environment and the risks of allergic reactions, allowing them to better plan their activities and avoid areas with high levels of plant pollen concentration. Such a cyber-physical system enables an individualized approach to each user, taking into account their unique problems by performing allergen filtering. This allows for effective and personalized allergy management solutions. The proposed cyber-physical system can create a valuable database with allergic reactions and predictions that will be used to improve the methods of diagnosis, treatment and management of allergies.

The developed system can be integrated with other medical systems. Medical institutions can receive real-time data and take appropriate measures to treat and manage patients' allergic reactions. The data collected by the cyber-physical system can be used for scientific research in the field of environmental and ecological allergens. They can be used to improve diagnostic methods for allergic diseases, as well as to study the relationship between plant pollen levels and poor health. In case of a spike in the level of allergenic plant pollen, the system can automatically send warnings and recommendations to residents, medical institutions, and local authorities regarding the necessary safety measures. Thus, the proposed cyber-physical system can serve as a platform for collaboration between different stakeholders, such as healthcare professionals, researchers, authorities, and NGOs. This facilitates the exchange of data and knowledge, which allows for more informed and effective decisions in the field of allergy and public health. The proposed cyber-physical system can be used for global monitoring of pollen and allergen levels in different parts of the world. This will allow us to identify global trends in the distribution of allergens and develop effective strategies for managing allergies at the global level.

Conclusions

The task of creating a cyber-physical system for monitoring the environment for allergens is relevant. Therefore, our study is devoted to the development of a method and a cyber-physical system for monitoring the environment for allergens using geolocation data.

The developed cyber-physical system for monitoring the environment for allergens not only uses the available information on the activity of pollen sources in a given region, but also measures the concentration of pollen in the air in real time, which helps to monitor the level of pollen in the region where the user is located, and, taking into account the user's geolocation data, provides him with useful information for route planning to avoid staying in high-risk areas. Collecting and analyzing geolocation data allows you to track changes in the distribution of allergens over time and in space. This can be useful for understanding trends in allergenic reactions and for developing effective allergy management strategies.

The cyber-physical system for monitoring the environment for allergens is useful for people with allergies by providing them with accessible and up-to-date information about the environment and the risks of allergic reactions, allowing them to better plan their activities and avoid areas with high levels of plant pollen concentration. Such a cyber-physical system enables an individualized approach to each user, taking into account their unique problems by performing allergen filtering. This allows for effective and personalized allergy management solutions. The proposed cyber-physical system can create a valuable database with allergic reactions and predictions that will be used to improve the methods of diagnosis, treatment and management of allergies.

The proposed cyber-physical system can be used for global monitoring of pollen and allergen levels in different parts of the world. This will allow us to identify global trends in the distribution of allergens and develop effective strategies for managing allergies at the global level.

References

1. Identifying the most at-risk age-group and longitudinal trends of drug allergy labeling amongst 7.3 million individuals in Hong Kong / V. Chiang et al. *BMC Medicine*. 2024. Vol. 22, no. 1.
2. Age-specific Metabolomic profiles in children with food allergy / E. Crestani et al. *Clinical Immunology*. 2024. Vol. 261. P. 109928.
3. Allergic sensitization is age-dependently associated with rhinitis, but less so with asthma / K. Warm et al. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2015. Vol. 136, no. 6. P. 1559–1565.e2.
4. Clinical Remission of Asthma and Allergic Rhinitis - in a Longitudinal Population Study / J. Heldin et al. *Journal of Asthma and Allergy*. 2022. Volume 15. P. 1569–1578.
5. Beswick D. M., Wise S. K. *Allergy and Asthma in Otolaryngology: Current Management Paradigms*. Otolaryngologic Clinics of North America. 2023.
6. Allergy and Asthma Prevalence and Management Across Nasal Polyp Subtypes / K. G. Bolk et al. *Otolaryngologic Clinics of North America*. 2023.
7. Hoogveen M. J. Pollen likely seasonal factor in inhibiting flu-like epidemics. A Dutch study into the inverse relation between pollen counts, hay fever and flu-like incidence 2016–2019. *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 727. P. 138543.

8. Modeling hay fever risk factors caused by pollen from *Ambrosia* spp. using pollen load mapping in Ukraine / V. Rodinkova et al. *Acta Agrobotanica*. 2018. Vol. 71, no. 3.
9. Development of personal pollen information—the next generation of pollen information and a step forward for hay fever sufferers / M. Kmenta et al. *International Journal of Biometeorology*. 2013. Vol. 58, no. 8. P. 1721–1726.
10. Rodinkova V. V. Airborne pollen spectrum and hay fever type prevalence in Vinnitsa, central Ukraine. *Acta Agrobotanica*. 2015. Vol. 68, no. 4. P. 383–389.
11. Szema A. M. Asthma, Hay Fever, Pollen, and Climate Change. *Global Climate Change and Public Health*. New York, NY, 2013. P. 155–165.
12. NIH Statement on World Asthma Day 2021. URL: <https://www.niaid.nih.gov/news-events/nih-statement-world-asthma-day-2021>.
13. Parental hay fever reinforces IgE to pollen as pre-clinical biomarker of hay fever in childhood / L. Hatzler et al. *Pediatric Allergy and Immunology*. 2014. Vol. 25, no. 4. P. 366–373.
14. Emberlin J. C., Lewis R. A. Pollen challenge study of a phototherapy device for reducing the symptoms of hay fever. *Current Medical Research and Opinion*. 2009. Vol. 25, no. 7. P. 1635–1644.
15. Lichtenstein L. M. Hay Fever Symptoms, Blocking Antibody Levels, and Leucocyte Histamine Release in Patients Receiving Very High Dosage Immunotherapy with Ragweed Pollen Extract. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2009. Vol. 123, no. 2. P. S3.
16. Portnoy J., Barnes C., Barnes C. S. The National Allergy Bureau: Pollen and spore reporting today. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2004. Vol. 114, no. 5. P. 1235–1238.
17. Aeroallergen Monitoring by the NAB: A Review of the Past and a Look into the Future / E. Levetin et al. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*. 2022.
18. Allergy Alert by Pollen.com. URL: <https://allergy-alert.en.aptoide.com/app>.
19. ZYRTEC® AllergyCast®. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mcneil.zyrtec.allergycast.activity&hl=en&pli=1>.
20. WebMD Allergy. URL: <https://cafebazaar.ir/app/com.webmd.allergy?l=en>.
21. AccuWeather. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.polestar.accuweather.production.android&hl=uk&gl=US>.
22. Allergies: Symptoms, Causes, Diagnosis, and Treatment. URL: <https://www.webmd.com/allergies/allergy-symptoms>.
23. Concept of Intelligent Measuring System for Analyzing the Energy Consumption of IoT Modules / A. Sachenko et al. *Computer systems and information technologies*. 2022. No. 4. P. 101–105.
24. Hovorushchenko T. O., Zabelina I. A., Rei K. S., Hovorushchenko O. O. Method Of Creating An Information System For Monitoring Infectious Patients. *Computer systems and information technologies*. 2023. №3. Pp. 59-64.
25. Hovorushchenko T. O., Aleksov S. V., Talapchuk S. I., Shpylyuk O. V., Magdin V. V.. Overview of the Methods and Tools for Situation Identification and Decision-Making Support in the Cyberphysical System "Smart House". *Computer Systems & Information Technologies*. 2022. №4. Pp. 20-26.

Тетяна Hоворущенко Tetyana Hovorushchenko	DrSc (Engineering), Professor, Head of Computer Engineering & Information Systems Department, Khmelnytskyi National University ORCID: 0000-0002-7942-1857 E-mail: govorushchenko@gmail.com	Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем, Хмельницький національний університет
Yevhen Voevudskiy Євген Воевудський	Master Student of Computer Engineering & Information Systems Department, Khmelnytskyi National University E-mail: voevuda@i.ua	Магістрант кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем, Хмельницький національний університет
Oleksii Ivanov Олександр Іванов	PhD, Associate Professor, Associate Professor of Computer Engineering & Information Systems Department, Khmelnytskyi National University ORCID: [0000-0001-6119-4134 E-mail: ivanovov@ukrtelecom.ua	Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем, Хмельницький національний університет
Oleg Voichur Олег Войчур	PhD Student of Computer Engineering & Information Systems Department, Khmelnytskyi National University ORCID: 0000-0001-8503-6464 E-mail: o.voichur@gmail.com	Аспірант кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем, Хмельницький національний університет

ДОДАТОК Б
(обов'язковий)

ПРЕЗЕНТАЦІЯ ДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Кіберфізична система
моніторингу навколишнього
середовища на предмет
алергенів з використанням
геолокаційних даних

Студент Євген Воевудський
Керівник к.т.н., доц. Іванов О.В.

- **Мета кваліфікаційної роботи** – моніторинг навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних шляхом створення кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, яка надає користувачу корисну інформацію для планування маршруту з уникненням перебування у зонах підвищеного ризику
- **Об'єкт дослідження** – процес моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів
- **Предмет дослідження** – метод та кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів

НАУКОВА НОВИЗНА ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

- **вперше розроблено метод моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використання геолокаційних даних**, який, на відміну від відомих, не тільки використовує наявну інформацію про активність джерел пилку у заданому регіоні, але й вимірює концентрацію пилку в повітрі в реальному часі, завдяки чому дозволяє відстежувати рівень пилку в регіоні, де перебуває користувач, а також, враховуючи геолокаційні дані користувача, надає йому корисну інформацію для планування маршруту з уникненням перебування у зонах підвищеного ризику;
- **вперше розроблено архітектуру кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використання геолокаційних даних**, яка, на відміну від відомих, надає можливість індивідуального підходу до кожного користувача, враховуючи його унікальні проблеми, шляхом виконання фільтрації алергенів, і є корисною для людей з алергіями, надаючи їм доступну та актуальну інформацію про навколишнє середовище та ризики алергічних реакцій, дозволяючи їм краще планувати свої дії та уникати областей з високим рівнем концентрації пилку рослин, забезпечуючи ефективні та персоналізовані рішення управління алергіями

Практична значущість отриманих результатів

- полягає у реалізації кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використання геолокаційних даних, яка дозволяє створити цінну базу даних з алергічними реакціями та прогнозами, яка буде використовуватися для вдосконалення методів діагностики, лікування та управління алергіями, а також виявити глобальні тенденції змін у розподілі алергенів та виробляти ефективні стратегії управління алергіями на світовому рівні

ПУБЛІКАЦІЯ

- ▶ Т. Novorushchenko, Ye. Voevudskyi, O. Ivanov, O. Voichur. Cyber-physical system for monitoring the environment for allergens using geolocation data. Computer systems and information technologies. 2024. №1. **Стаття у фаховому науковому журналі України категорії Б**

Актуальність дослідження

- Алергія може мати значний вплив на якість життя людини, особливо якщо симптоми проявляються часто або важко. Щоб зменшити ризик виникнення алергічних реакцій, важливо уникати контакту з алергенами, Уникнення того, що спричиняє алергію, може допомогти покращити стан людини, але це не завжди можливо, особливо якщо алерген широко поширений у навколишньому середовищі, наприклад, пилок рослин.
- Пилок – це надто дрібний порошок, що виробляється деревами, квітами, травами та бур'янами для добрива інших рослин того ж виду. У багатьох людей виникає несприятлива імунна відповідь, коли вони вдихають пилок.
- Отже, задача створення кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів є *актуальною*.



Постановка задачі

Для розроблення кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геокаційних даних слід розв'язати наступні задачі:

- аналіз відомих методів та рішень для моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів;
- моделювання процесу моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів;
- розроблення методу моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів;
- розроблення архітектури кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів;
- проведення експериментів із використанням розробленої кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів.

Вибір компонентів для кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних

Датчик пилку PS2



Датчик пилку Beenose



Датчик пилку Pollen Sense APS-400



Датчик пилку Dylos DC 1100

IoT-контролер Raspberry Pi



Стандарт передачі даних Wi-Fi



Моделювання процесу моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів

Перелік найпоширеніших пилок-алергенів, які буде моніторити кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів:

- пилок клена;
- пилок дуба;
- пилок берези;
- пилок тополі;
- пилок вільхи;
- пилок метелика (будлеї);
- пилок рогоза;
- пилок лілії;
- пилок троянди;
- пилок гвоздики;
- пилок осота;
- пилок полину;
- пилок тимофіївки;
- пилок пирію;
- пилок амброзії.

Нехай hrc_1 – порогове значення вмісту пилку клена у повітрі, по перевищенню якого відбувається попередження та сповіщення про потенційно високий рівень алергена, lrc_1 – порогове значення вмісту пилку клена у повітрі, нижче якого рівень алергена вважається низьким і безпечним, rc_1^i – виміряне датчиком значення вмісту пилку клена у повітрі i -ї ділянки з множини значень концентрації пилку різних рослин на i -ій ділянці $PC^i = \{rc_1^i, rc_2^i, \dots, rc_{15}^i\}$, rct_1^i – отримане з наявних карт пилку, характерних для визначеного регіону для поточної дати, значення вмісту пилку клена з множини значень концентрації пилку різних рослин $PCM^i = \{rct_1^i, rct_2^i, \dots, rct_{15}^i\}$, тоді критерій загрози від пилку клена у повітрі i -ї ділянки має вигляд:

- якщо $rc_1^i > hrc_1$ та/або $rct_1^i > hrc_1$, то вміст пилку клена у повітрі i -ї ділянки – потенційно високий та небезпечний;
- якщо $hrc_1 \geq rc_1^i > lrc_1$ та/або $hrc_1 \geq rct_1^i > lrc_1$, то вміст пилку клена у повітрі i -ї ділянки – середній;
- якщо $rc_1^i \leq lrc_1$ та/або $rct_1^i \leq lrc_1$, то вміст пилку клена у повітрі i -ї ділянки – низький і безпечний.

Аналогічно розроблено критерії загрози від пилку інших алергенів у повітрі i -ї ділянки.

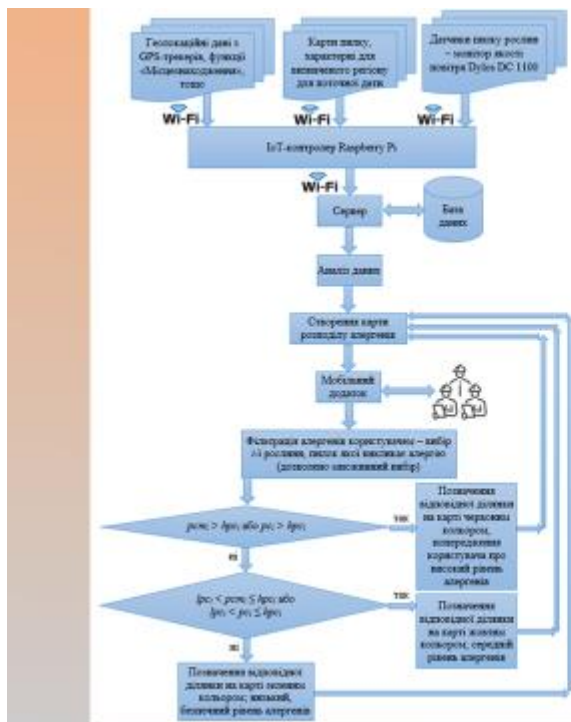
Враховуючи представлені критерії загрози від пилку алергенів у повітрі i -ї ділянки, **загальне правило для прийняття рішення щодо рівня одного чи декількох алергенів у повітрі i -ї ділянки** матиме вигляд:

- якщо $pc_1^i > hpc_1$ та/або $pcm_1^i > hpc_1$ та/або $pc_2^i > hpc_2$ та/або $pcm_2^i > hpc_2$ та/або $pc_3^i > hpc_3$ та/або $pcm_3^i > hpc_3$ та/або $pc_4^i > hpc_4$ та/або $pcm_4^i > hpc_4$ та/або $pc_5^i > hpc_5$ та/або $pcm_5^i > hpc_5$ та/або $pc_6^i > hpc_6$ та/або $pcm_6^i > hpc_6$ та/або $pc_7^i > hpc_7$ та/або $pcm_7^i > hpc_7$ та/або $pc_8^i > hpc_8$ та/або $pcm_8^i > hpc_8$ та/або $pc_9^i > hpc_9$ та/або $pcm_9^i > hpc_9$ та/або $pc_{10}^i > hpc_{10}$ та/або $pcm_{10}^i > hpc_{10}$ та/або $pc_{11}^i > hpc_{11}$ та/або $pcm_{11}^i > hpc_{11}$ та/або $pc_{12}^i > hpc_{12}$ та/або $pcm_{12}^i > hpc_{12}$ та/або $pc_{13}^i > hpc_{13}$ та/або $pcm_{13}^i > hpc_{13}$ та/або $pc_{14}^i > hpc_{14}$ та/або $pcm_{14}^i > hpc_{14}$ та/або $pc_{15}^i > hpc_{15}$ та/або $pcm_{15}^i > hpc_{15}$, то має місце високий та небезпечний рівень вмісту алергену/алергенів на такій ділянці визначеного регіону;
- якщо $hpc_1 \geq pc_1^i > lpc_1$ та/або $hpc_1 \geq pcm_1^i > lpc_1$ та/або $hpc_2 \geq pc_2^i > lpc_2$ та/або $hpc_2 \geq pcm_2^i > lpc_2$ та/або $hpc_3 \geq pc_3^i > lpc_3$ та/або $hpc_3 \geq pcm_3^i > lpc_3$ та/або $hpc_4 \geq pc_4^i > lpc_4$ та/або $hpc_4 \geq pcm_4^i > lpc_4$ та/або $hpc_5 \geq pc_5^i > lpc_5$ та/або $hpc_5 \geq pcm_5^i > lpc_5$ та/або $hpc_6 \geq pc_6^i > lpc_6$ та/або $hpc_6 \geq pcm_6^i > lpc_6$ та/або $hpc_7 \geq pc_7^i > lpc_7$ та/або $hpc_7 \geq pcm_7^i > lpc_7$ та/або $hpc_8 \geq pc_8^i > lpc_8$ та/або $hpc_8 \geq pcm_8^i > lpc_8$ та/або $hpc_9 \geq pc_9^i > lpc_9$ та/або $hpc_9 \geq pcm_9^i > lpc_9$ та/або $hpc_{10} \geq pc_{10}^i > lpc_{10}$ та/або $hpc_{10} \geq pcm_{10}^i > lpc_{10}$ та/або $hpc_{11} \geq pc_{11}^i > lpc_{11}$ та/або $hpc_{11} \geq pcm_{11}^i > lpc_{11}$ та/або $hpc_{12} \geq pc_{12}^i > lpc_{12}$ та/або $hpc_{12} \geq pcm_{12}^i > lpc_{12}$ та/або $hpc_{13} \geq pc_{13}^i > lpc_{13}$ та/або $hpc_{13} \geq pcm_{13}^i > lpc_{13}$ та/або $hpc_{14} \geq pc_{14}^i > lpc_{14}$ та/або $hpc_{14} \geq pcm_{14}^i > lpc_{14}$ та/або $hpc_{15} \geq pc_{15}^i > lpc_{15}$ та/або $hpc_{15} \geq pcm_{15}^i > lpc_{15}$, то має місце середній рівень вмісту алергену/алергенів на такій ділянці визначеного регіону;
- якщо $pc_1^i \leq lpc_1$ та/або $pcm_1^i \leq lpc_1$ та/або $pc_2^i \leq lpc_2$ та/або $pcm_2^i \leq lpc_2$ та/або $pc_3^i \leq lpc_3$ та/або $pcm_3^i \leq lpc_3$ та/або $pc_4^i \leq lpc_4$ та/або $pcm_4^i \leq lpc_4$ та/або $pc_5^i \leq lpc_5$ та/або $pcm_5^i \leq lpc_5$ та/або $pc_6^i \leq lpc_6$ та/або $pcm_6^i \leq lpc_6$ та/або $pc_7^i \leq lpc_7$ та/або $pcm_7^i \leq lpc_7$ та/або $pc_8^i \leq lpc_8$ та/або $pcm_8^i \leq lpc_8$ та/або $pc_9^i \leq lpc_9$ та/або $pcm_9^i \leq lpc_9$ та/або $pc_{10}^i \leq lpc_{10}$ та/або $pcm_{10}^i \leq lpc_{10}$ та/або $pc_{11}^i \leq lpc_{11}$ та/або $pcm_{11}^i \leq lpc_{11}$ та/або $pc_{12}^i \leq lpc_{12}$ та/або $pcm_{12}^i \leq lpc_{12}$ та/або $pc_{13}^i \leq lpc_{13}$ та/або $pcm_{13}^i \leq lpc_{13}$ та/або $pc_{14}^i \leq lpc_{14}$ та/або $pcm_{14}^i \leq lpc_{14}$ та/або $pc_{15}^i \leq lpc_{15}$ та/або $pcm_{15}^i \leq lpc_{15}$, то має місце низький і безпечний рівень вмісту алергенів.

Метод моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів :

- **задання множин порогових значень концентрації пилку різних рослин $HPC = \{hpc_1, hpc_2, \dots, hpc_n\}$** , по перевищенню яких відбувається попередження та сповіщення про потенційно високий рівень алергенів; $LPC = \{lpc_1, lpc_2, \dots, lpc_n\}$, нижче яких рівень алергенів вважається низьким і безпечним;
- **збір та передача геолокаційних даних;**
- **формування множини значень концентрації пилку різних рослин на певній ділянці $PCM^1 = \{pcm_1^1, pcm_2^1, \dots, pcm_n^1\}$, $PCM^2 = \{pcm_1^2, pcm_2^2, \dots, pcm_n^2\}$, ..., $PCM^m = \{pcm_1^m, pcm_2^m, \dots, pcm_n^m\}$ на основі даних, отриманих з карт пилку (потрібні, якщо обраний датчик не в змозі виміряти концентрацію пилка певної рослини);**
- **передача таких даних на сервер;**
- **формування множин значень концентрації пилку різних рослин на певній ділянці $PC^1 = \{pc_1^1, pc_2^1, \dots, pc_n^1\}$, $PC^2 = \{pc_1^2, pc_2^2, \dots, pc_n^2\}$, ..., $PC^m = \{pc_1^m, pc_2^m, \dots, pc_n^m\}$ на основі даних, отриманих з n датчиків пилку рослин кіберфізичної системи, розташованих на одній з m ділянок;**
- **передача таких даних на сервер;**

- **аналіз даних;**
- **створення карти розподілу алергенів у визначеному регіоні в даний момент часу, доступної в мобільному додатку кіберфізичної системи, з графічним відображенням рівня пилку на певній ділянці;**
- **фільтрація алергенів користувачем** – вибір тієї рослини / тих рослин, пилок якої / яких викликає алергію в користувача;
- якщо на певній ділянці визначеного регіону рівень концентрації пилку i -ї рослини ($i=1..15$), обраної користувачем на попередньому кроці, $рст_{i,j}$, отриманий з карт пилку, або $рс'_i$, отриманий з датчиків пилку рослин j -ї ділянки ($j=1..m$), перевищує відповідне порогове значення концентрації пилку різних рослин $hpc_{i,j}$, то така ділянка позначається на карті в мобільному додатку кіберфізичної системи червоним кольором, а користувачу видається попередження та сповіщення про високий рівень вмісту алергенів на такій ділянці визначеного регіону (наприклад, того, в якому він наразі перебуває);
- якщо на певній ділянці визначеного регіону рівень концентрації пилку i -ї рослини ($i=1..15$), обраної користувачем на попередньому кроці, $рст_{i,j}$, отриманий з карт пилку, або $рс'_i$, отриманий з датчиків пилку різних рослин j -ї ділянки ($j=1..m$), не перевищує відповідне порогове значення концентрації пилку різних рослин $hpc_{i,j}$, але перевищує відповідне порогове значення lpc_i , то така ділянка позначається на карті в мобільному додатку кіберфізичної системи жовтим кольором, як така, що має середній рівень вмісту алергенів;
- якщо на певній ділянці визначеного регіону рівень концентрації пилку i -ї рослини ($i=1..15$), обраної користувачем на попередньому кроці, $рст_{i,j}$, отриманий з карт пилку, або $рс'_i$, отриманий з датчиків пилку рослин j -ї ділянки ($j=1..m$), не перевищує відповідне порогове значення lpc_i , то така ділянка позначається на карті в мобільному додатку кіберфізичної системи зеленим кольором, як така, що має низький рівень вмісту алергенів і є безпечною для користувачів.



Архітектура кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних

Приклади функціонування кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних

- На першому кроці роботи кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних **були задані множини порогових значень концентрації пилку різних рослин (клена, дуба, берези, тополі, вільхи, метелика (будлеї), рогоза, лілії, троянди, гвоздики, осота, полину, тимофіївки, пирію, амброзії), надані медичними експертами: $HPC = \{hpc_1, hpc_2, \dots, hpc_{15}\} = \{100, 80, 25, 50, 81, 15, 15, 20, 40, 50, 10, 10, 10, 10, 10\}$ зерен пилку на m^3 , по перевищенню яких відбувається попередження та сповіщення про потенційно високий рівень алергенів; задання множини порогових значень концентрації пилку різних рослин $LPC = \{30, 25, 8, 17, 27, 5, 5, 7, 14, 17, 4, 3, 4, 3, 3\}$ зерен пилку на m^3 , нижче яких рівень алергенів вважається низьким і безпечним.**
- **Обрані датчики пилку рослин – монітори якості повітря Dylos DC 1100 – розташовуються, наприклад, в чотирьох районах міста Хмельницький (Озерна+Виставка+Заріччя+Лезневе, Книжківці+Ружична, Ракове+Дубове+ Південно-західний, Гречани+Центр) для забезпечення охоплення всієї території міста**
- Відбувається **формування множини значень концентрації пилку різних рослин на кожній з 4-х ділянок (Озерна+Виставка+Заріччя+Лезневе, Книжківці+Ружична, Ракове+Дубове+Південно-західний, Гречани+Центр) на основі даних, отриманих з карт пилку та з датчиків пилку (1 раз на добу), а також аналіз зібраних даних**

Візуалізація результатів моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних



Візуалізація прийняття рішення щодо рівня трьох обраних користувачем алергенів у повітрі (вільхи, полину та амброзії) – Доба 2



Візуалізація прийняття рішення щодо рівня трьох обраних користувачем алергенів у повітрі (вільхи, полину та амброзії) – Доба 1



Візуалізація прийняття рішення щодо рівня трьох обраних користувачем алергенів у повітрі (вільхи, полину та амброзії) – Доба 10



ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень забезпечено моніторинг навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, шляхом створення кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, яка забезпечує можливість відстеження рівня пилку в регіоні, де перебуває користувач, а також, враховуючи геолокаційні дані користувача, надає йому корисну інформацію для планування маршруту з уникненням перебування у зонах підвищеного ризику:

- у першому розділі проведений аналіз відомих методів та рішень для моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, визначені задачі дослідження;
- у другому розділі виконано вибір датчика для формування нижнього рівня та вибір контролера для формування середнього рівня кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, а також вибір протоколу передачі даних для налагодження зв'язку між компонентами всіх трьох рівнів кіберфізичної системи;

- у третьому розділі розроблені метод та алгоритм моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, які передбачають не тільки використання наявної на карті пилків інформації про активність джерел пилку у заданому регіоні, але й вимірювання концентрації пилку в повітрі в реальному часі, завдяки чому допомагають відстежувати рівень пилку в регіоні, де перебуває користувач, а також, враховуючи геолокаційні дані користувача, надають йому корисну інформацію для планування маршруту з уникненням перебування у зонах підвищеного ризику;
- у четвертому розділі вперше розроблено архітектуру кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, яка не тільки використовує наявну інформацію про активність джерел пилку у заданому регіоні, але й вимірює концентрацію пилку в повітрі в реальному часі, завдяки чому допомагає відстежувати рівень пилку в регіоні, де перебуває користувач, а також, враховуючи геолокаційні дані користувача, надає йому корисну інформацію для планування маршруту з уникненням перебування у зонах підвищеного ризику. Збір та аналіз геолокаційних даних дозволяє відстежувати зміни в розподілі алергенів з часом та в просторі. Це може бути корисним для розуміння тенденцій зміни алергенних реакцій та для розробки ефективних стратегій управління алергіями.



Ім'я користувача:
Кафедра КІ

ID перевірки:
1016199435

Дата перевірки:
18.04.2024 22:51:31 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
19.04.2024 08:56:52 EEST

ID користувача:
100005591

Назва документа: Воєвудський_Кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет...

Кількість сторінок: 92 Кількість слів: 21506 Кількість символів: 150180 Розмір файлу: 4.52 MB ID файлу: 1015966237

9.72% Схожість

Найбільша схожість: 1.55% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1015966231)

8.66% Джерела з Інтернету 926 Сторінка 94

3.07% Джерела з Бібліотеки 69 Сторінка 104

0.16% Цитат

Цитати 2 Сторінка 105

Не знайдено жодних посилань

10.6% Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 8 слів та 0%)

Немає вилучених Інтернет-джерел

10.6% Вилученого тексту з Бібліотеки 1 Сторінка 105

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 13%

ID: 125379 Назва: МКР Кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних Додано в БД: 2024-04-18 Автора: Воевудський Є.Г. Керівники: Іванов О.В. Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	133878	629	2177 (2%)	22 (3%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Воевудський Євген Георгійович

Тема: Кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг дипломної роботи:

Кількість сторінок записки 108 с.

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є моніторинг навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних шляхом створення кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, яка надає користувачу корисну інформацію для планування маршруту з уникненням перебування у зонах підвищеного ризику.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведений аналіз відомих методів та рішень для моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, визначені задачі дослідження. У розділі 2 кваліфікаційної роботи виконано вибір датчика для формування нижнього рівня та вибір контролера для формування середнього рівня кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, а також вибір протоколу передачі даних для налагодження зв'язку між компонентами всіх трьох рівнів кіберфізичної системи. Враховуючи визначені найпоширеніші пилки-алергени, які буде моніторити кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, в розділі 2 кваліфікаційної роботи розроблені критерії загрози від пилку різних алергенів у повітрі i -ї ділянки, а також загальне правило для прийняття рішення щодо рівня одного чи декількох алергенів у повітрі i -ї ділянки, які ляжуть в основу методу моніторингу навколишнього

середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних. В розділі 3 кваліфікаційної роботи розроблений метод моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних передбачає не тільки використання наявної на карті пилків інформації про активність джерел пилку у заданому регіоні, але й вимірювання концентрації пилку в повітрі в реальному часі, завдяки чому допомагає відстежувати рівень пилку в регіоні, де перебуває користувач, а також, враховуючи геолокаційні дані користувача, надає йому корисну інформацію для планування маршруту з уникненням перебування у зонах підвищеного ризику. В розділі 4 кваліфікаційної роботи вперше розроблено архітектуру кіберфізичної системи моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних, яка не тільки використовує наявну інформацію про активність джерел пилку у заданому регіоні, але й вимірює концентрацію пилку в повітрі в реальному часі, завдяки чому допомагає відстежувати рівень пилку в регіоні, де перебуває користувач, а також, враховуючи геолокаційні дані користувача, надає йому корисну інформацію для планування маршруту з уникненням перебування у зонах підвищеного ризику. Збір та аналіз геолокаційних даних дозволяє відстежувати зміни в розподілі алергенів з часом та в просторі. Це може бути корисним для розуміння тенденцій зміни алергенних реакцій та для розробки ефективних стратегій управління алергіями.

4. Позитивні сторони роботи: отримання двох пунктів наукової новизни.

5. Негативні сторони роботи:

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно з діючими стандартами оформлення документації.

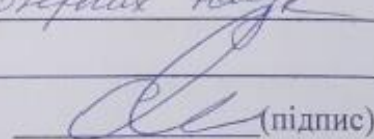
7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на середньому науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: добре/В.

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Бармас О.В.,
д.т.н., проф., зав. кафедри комп'ютерних наук

“ ” _____ 2024 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри КІПС
д-р.техн.наук, проф. Говорущенко Т. О.

Восвудського Євгена Георгійовича

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курсу, групи КІ2М-22-2

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

17 квітня 2024 року



РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Кіберфізична система моніторингу навколишнього середовища на предмет алергенів з використанням геолокаційних даних

Автор: Воевудський Євген Георгійович

Спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-наукова

Науковий керівник: Іванов Олексій Валентинович, к.т.н, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з шим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укріплення запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) найбільшу схожість встановлено з одним документом і становить вона 1.55% в частині загальноприйнятої термінології;
- 4) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 9.72% і адресується до 995 першоджерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи. Зі звіту про подібність вилучено одне джерело – статтю, співавтором якої є Воевудський Є.Г., підготовлену за результатами його дослідження.

Керівник роботи

О. В. Іванов

Гарант ОНП

О. С. Савенко

Завідувач кафедри КІС

Т. О. Говорущенко