

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Інформаційна система моделювання поширення забруднень на основі аналізу
погодних умов та прогнозів погоди

Назва теми

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

Спеціальність 126 «Інформаційні системи та технології»

Шифр, назва

Освітня програма «Інформаційні системи та технології»

Назва

Шифр КвРІСТ 220176.22.01.11 ПЗ

Виконав здобувач IV курсу, група ІСТ-22-1


Підпис

Олексій НІКОЛЕНКО

Ініціали, прізвище

Керівник канд. техн. наук, доцент
Науковий ступінь, учене звання


Підпис

Марія КАПУСТЯН

Ініціали, прізвище

Нормоконтролер канд. фіз.-мат. наук, доц.
Науковий ступінь, учене звання


Підпис

Тетяна КИСІЛЬ

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
завідувач кафедри КІС
«11» червня 2026 р.


Підпис

Ольга ПАВЛОВА


Ініціали, прізвище

дата

Хмельницький 2026

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
Рівень вищої освіти ПЕРШИЙ (БАКАЛАВРСЬКИЙ)
Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
Спеціальність 126 ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ
Освітня програма «ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувачка кафедри КІС
 Ольга ПАВЛОВА

“ _ ” _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Ніколенко Олексію Віталійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Інформаційна система моделювання поширення забруднень на основі аналізу погодних умов та прогнозів погоди

Керівник проекту (роботи) Капустян Марія Вікторівна, к.т.н., доцент.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 17.02.2026 р. № 11

2. Термін подання здобувачем роботи на кафедру 17.02.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Завдання на кваліфікаційну роботу

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

Аналіз предметної області моделювання поширення атмосферних забруднень та постановка задачі щодо розроблення інформаційної системи

Проектування інформаційної системи моніторингу та моделювання поширення атмосферних забруднень на основі погодних даних і сенсорного контролю

Програмна реалізація та перевірка працездатності інформаційної системи моніторингу й моделювання поширення атмосферних забруднень

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

Архітектура ПЗ проекту

Архітектура ПЗ для кіберфізичної системи

Апаратне забезпечення проекту

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання « 17 » 02 2026 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	17.02.2026	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю моделювання поширення атмосферних забруднень, формулювання мети й завдань дослідження	18.02.2026	виконано
3	Робота над розділом 1 – аналіз атмосферного забруднення, моделей прогнозування поширення домішок	01.03.2026	виконано
4	Робота над розділом 2 – проектування інформаційної системи моделювання поширення атмосферних забруднень	01.04.2026	виконано
5	Робота над розділом 3 – реалізація інформаційної системи, картографічне відображення результатів, перевірка працездатності та аналіз отриманих даних	29.04.2026	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	20.05.2026	виконано
7	Попередній захист ВКР		виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2026 року	

Здобувач


Підпис

Олексій Ніколенко

Імя, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Марія Капустян

Імя, ПРІЗВИЩЕ

№ р я д к а	Ф о р м а т	Позначення	Найменування	К і л · л и с т і в	№ ек з	П р и м і т к а
			<u>Текстові документи</u>			
1		КвРІСТ 220176.22.01.11 ПЗ	Пояснювальна записка	60		
			<u>Графічні матеріали</u>			
2		КвРІСТ 220176.22.01.11 Е8	Архітектура ПЗ проекту	1		
3		КвРІСТ 220176.22.01.11 Е8	Архітектура ПЗ для кіберфізичної системи	1		
4		КвРІСТ 220176.22.01.11 Е8	Апаратне забезпечення проекту	1		

					КвРІСТ 220176.22.01.11 ВП			
Зм	Арк	№ докум	Підп ис	Дата	Відомість проекту	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Ніколенко	<i>[Signature]</i>			У	1	1
Перевір.		Капустян	<i>[Signature]</i>			ХНУ, ІСТ-22-1		
Н. контр.		Кисіль	<i>[Signature]</i>					
Затв.		Павлова	<i>[Signature]</i>					

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: « Інформаційна система моделювання поширення забруднень на основі аналізу погодних умов та прогнозів погоди ».

Автор роботи: Олексій Ніколенко.

Керівник роботи: Марія Капустян.

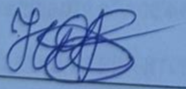
Пояснювальна записка: 60 с., 33 рис., 1 табл., 3 дод., 50 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

АТМОСФЕРНЕ ЗАБРУДНЕННЯ, БАЗА ДАНИХ, ГЕОПРОСТОРОВА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ, ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА, МОДЕЛЮВАННЯ, ПОГОДНІ ДАНІ, ПРОГНОЗУВАННЯ.

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробленню інформаційної системи, призначеної для моделювання поширення атмосферних забруднень з урахуванням параметрів джерела викиду, метеорологічних умов і прогнозних погодних даних. Актуальність теми зумовлена необхідністю оперативного оцінювання можливих зон впливу диму, пилу та домішок, що виникають унаслідок природних пожеж, пилових явищ або аварійних промислових викидів.

Метою роботи є проєктування, програмна реалізація та перевірка інформаційної системи для сценарного прогнозування поширення атмосферних забруднень, побудови зон потенційного впливу й картографічного подання результатів. У роботі створено веборієнтовану систему з інтерактивною картою, засобами керування сценаріями, переглядом часової динаміки прогнозу та відображенням аналітичних показників окремих кадрів моделювання. Реалізовано серверну частину для запуску розрахунків і передавання прогресу виконання, базу даних для збереження сценаріїв і результатів.



Підпис здобувача

20.05.2026

Дата

ЗМІСТ

Вступ..... 4

1 Аналіз предметної області моделювання поширення атмосферних забруднень та постановка задачі щодо її удосконалення 5

 1.1 Актуальність та предметні особливості моделювання поширення атмосферних забруднень 5

 1.2 Аналіз моделей, методів та інформаційних рішень для прогнозування поширення атмосферних забруднень 7

 1.3 Постановка задачі 12

 1.4 Висновки до першого розділу 13

2 ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ АТМОСФЕРНИХ ЗАБРУДНЕНЬ 14

 2.1 Проєктування загальної логіки функціонування системи моніторингу та моделювання поширення атмосферних забруднень 14

 2.2 Проєктування архітектури програмного забезпечення проєкту 19

 2.3 Проєктування алгоритму моделювання поширення атмосферних забруднень 23

 2.4 Проєктування підсистеми погодного забезпечення та сценарного аналізу 29

 2.6 Проєктування апаратного забезпечення сенсорного вузла моніторингу 36

 2.7 Висновки до другого розділу 39

3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ПЕРЕВІРКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ АТМОСФЕРНИХ ЗАБРУДНЕНЬ 41

 3.1 Реалізація серверної частини та логіки запуску моделювання 41

 3.2 Реалізація збереження сценаріїв і результатів моделювання 46

 3.3 Реалізація клієнтського вебінтерфейсу та картографічного подання результатів 50

КвРІСТ.220176.22.01.06 ПЗ

Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата	Літера	Аркуші	Аркушів
Виконав		Олексій Ніколенко					
Перевір.		Марія Капустян					
Н.контр.		Тетяна КИСІЛЬ					
Затвер.		Ольга ПАВЛОВА					

Інформаційна система моделювання поширення забруднень на основі аналізу погодних умов та прогнозу погоди
Пояснювальна записка

ХНУ ІСТ-22-1

3.4 Демонстрація роботи системи на прикладі сценарію поширення забруднення.....	56
3.5 Реалізація експорту результатів моделювання.....	61
3.6. Висновки до третього розділу.....	64
Перелік джерел посилань.....	67
Додаток А Архітектура пз проєкту	76
Додаток Б Архітектура пз для інформаційної системи	77
Додаток В Апаратне забезпечення проєкту.....	78

ВСТУП

Забруднення атмосферного повітря залишається однією з найбільш відчутних екологічних проблем, оскільки його наслідки стосуються не лише стану довкілля, а й безпеки населення, та готовності служб реагування до надзвичайних подій. Особливу небезпеку створюють ситуації, пов'язані з лісовими й торф'яними пожежами, пиловими бурями, аваріями на промислових об'єктах і короткочасними інтенсивними викидами аерозольних домішок.

Хмара забруднення здатна швидко виходити за межі початкової ділянки, змінювати напрямок під дією вітру та охоплювати території, які без спеціального аналізу складно своєчасно віднести до небезпечних. Складність задачі полягає в тому, що наслідки забруднення визначаються не лише фактом виникнення джерела викиду, а його координатами, інтенсивністю надходження домішок, висотою джерела, напрямком та швидкістю вітру. За відсутності інтегрованого програмного засобу дані залишаються роз'єднаними, через що ускладнюється оцінювання напряму поширення забруднювальної хмари, прогнозування її просторової форми та виділення зон потенційного впливу. Тому актуальним є створення інформаційної системи, яка поєднує моделювання, роботу з погодними даними, картографічне подання результатів і засоби моніторингу стану повітряного середовища. У межах дипломної роботи розглядається інформаційна система, яка забезпечує формування сценарію забруднення, розрахунок поширення домішок, відображення результатів на карті, аналіз часових кадрів прогнозу та підготовку підсумкових матеріалів для подальшого використання. Метою кваліфікаційної роботи є розроблення інформаційної системи моніторингу та моделювання поширення атмосферних забруднень на основі аналізу погодних умов і прогнозів погоди, яка забезпечує формування сценаріїв забруднення, розрахунок просторово-часової динаміки забруднювальної хмари, визначення зон потенційного впливу, картографічне подання результатів і підтримку подальшого аналізу отриманої інформації.

					КвРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ АТМОСФЕРНИХ ЗАБРУДНЕНЬ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ЩОДО ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ

1.1 Актуальність та предметні особливості моделювання поширення атмосферних забруднень

Забруднення атмосферного повітря є важливою екологічною проблемою, оскільки воно впливає на здоров'я населення, безпеку територій і стан навколишнього середовища. Особливу небезпеку становлять події, що супроводжуються утворенням значних обсягів диму, пилу або аерозольних домішок. До них належать лісові й торф'яні пожежі, промислові аварії, займання складських об'єктів, пилові бурі та інші надзвичайні ситуації. У таких випадках забруднювальна хмара може швидко виходити за межі місця виникнення події та поширюватися на значні території [1]. Найбільш небезпечними для людини є дрібнодисперсні частинки, зокрема PM_{2.5}, які утворюються під час горіння та можуть тривалий час залишатися в повітрі. Через малий розмір вони проникають у глибокі відділи дихальної системи й підвищують ризик серцево-судинних і респіраторних порушень [2]. Значний вплив атмосферних домішок на здоров'я населення підтверджує необхідність своєчасного оцінювання територій, що можуть опинитися в зоні забруднення [3].

Лісові та торф'яні пожежі, пилові бурі, аварійні викиди й руйнування промислових об'єктів можуть спричиняти різке погіршення якості повітря на регіональному рівні, адже продукти горіння здатні поширюватися на великі відстані, а поєднання пожежної активності з пиловими явищами істотно ускладнює екологічну ситуацію [4, 5]. У таких умовах недостатньо лише зафіксувати факт виникнення пожежі чи викиду.

Важливо визначити, у якому напрямку переміщуватиметься забруднювальна хмара, які території можуть потрапити під її вплив і як змінюватиметься розподіл домішок. Дим від ландшафтних пожеж може впливати навіть на віддалені населені пункти, а займання на територіях із

					КвРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

попереднім техногенним забрудненням здатні створювати додаткові екологічні ризики [6, 7]. Пошкодження промислової інфраструктури, пожежі на складах і паливних об'єктах, аварійні ситуації на виробництві можуть призводити до короткочасних, але інтенсивних викидів небезпечних речовин. За таких обставин потрібні інструменти, що дозволяють швидко оцінити потенційний напрямок і масштаб поширення забруднення [8].

Формування забруднювальної хмари значною мірою залежить від погодних умов. Напрямок і швидкість вітру визначають основний вектор перенесення домішок, а температура, турбулентність і стійкість атмосфери впливають на інтенсивність їх розсіювання. За сприятливих умов забруднення швидше розбавляється в повітрі, тоді як за стійкого стану атмосфери воно може довше зберігатися поблизу земної поверхні [9, 10]. Моделювання поширення забруднень дає змогу перейти від загального опису небезпеки до просторової оцінки її можливих наслідків. Такі моделі застосовуються для визначення напрямку перенесення домішок, орієнтовних меж небезпечних зон і розвитку ситуації в часі [11]. Коректність результатів значною мірою залежить від урахування метеорологічної інформації та джерела забруднення [12].

У світовій практиці використовуються спеціалізовані системи AERMOD, HYSPLIT і NAME, які призначені для оцінювання атмосферного перенесення речовин, моделювання диму від пожеж і аналізу аварійних сценаріїв [13, 14, 15]. Окремі сервіси також формують картографічні прогнози поширення диму та частинок, що підтверджує практичну цінність поєднання математичного моделювання з візуальним поданням результатів [16, 17]. Оновлення нормативних підходів і вдосконалення класичних розрахункових схем свідчать про збереження високої значущості цієї проблематики [18, 19]. Основою таких задач залишається врахування параметрів джерела викиду, погодних умов і процесів перенесення та розсіювання домішок [20].

Отже, розроблення інформаційної системи моделювання поширення забруднень є актуальним завданням, яка може бути корисною для аналізу

					КВРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ситуацій, пов'язаних із пожежами, пиловими бурями та аварійними викидами, коли необхідно швидко оцінити можливий напрямок і масштаби поширення забруднювальної хмари.

1.2 Аналіз моделей, методів та інформаційних рішень для прогнозування поширення атмосферних забруднень

Моделювання поширення атмосферних забруднень є важливою складовою інформаційних систем екологічного аналізу. Метою якого є визначення напрямку переміщення домішок, оцінювання зміни їхньої концентрації у просторі та виявлення територій, що можуть потрапити до зони потенційного впливу. Для цього враховують характеристики джерела викиду, погодні умови, процеси перенесення повітряними масами та інтенсивність розсіювання речовини [21].

Гаусівські моделі шлейфу застосовуються для локальних джерел за відносно сталих умов. Моделі «пухів» краще враховують часову мінливість викиду та зміну метеорологічної ситуації. Лагранжеві частинкові моделі дозволяють описувати траєкторії перенесення умовних частинок у просторі, а ейлерові моделі використовуються переважно для складних регіональних розрахунків. Вибір конкретного підходу залежить від масштабу задачі, необхідної точності та наявних вхідних даних [35, 36, 37].

Однією з найпоширеніших регуляторних моделей є AERMOD. Вона призначена для оцінювання концентрацій поблизу стаціонарних джерел викиду та враховує особливості прикордонного шару атмосфери, тип місцевості й параметри джерела [21, 22]. Наукові описи AERMOD підтверджують її придатність для формалізованих оцінок якості повітря, однак така модель потребує значної кількості підготовлених даних і спеціалізованого налаштування [23, 24]. Подальші оновлення документації та нормативних вимог свідчать про активне вдосконалення цього підходу [42, 49, 50]. Для

					КвРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нестационарних сценаріїв застосовується CALPUFF, у якому викид представлено як послідовність окремих об'ємів забрудненої речовини. Такий метод краще враховує просторову зміну вітру, рельєф і триваліші процеси перенесення [25]. Водночас CALPUFF має вищі вимоги до структури вхідних даних і складності налаштування, тому його використання є більш характерним для професійних екологічних досліджень [26].

Окреме значення має система HYSPLIT, яка підтримує побудову траєкторій повітряних мас, розрахунок поширення домішок і моделювання аварійних або пожежних сценаріїв [27, 28]. Її перевагою є поєднання дисперсійного аналізу та картографічного подання результатів. Приклад поля концентрацій, сформованого у HYSPLIT (рисунок 1.1).

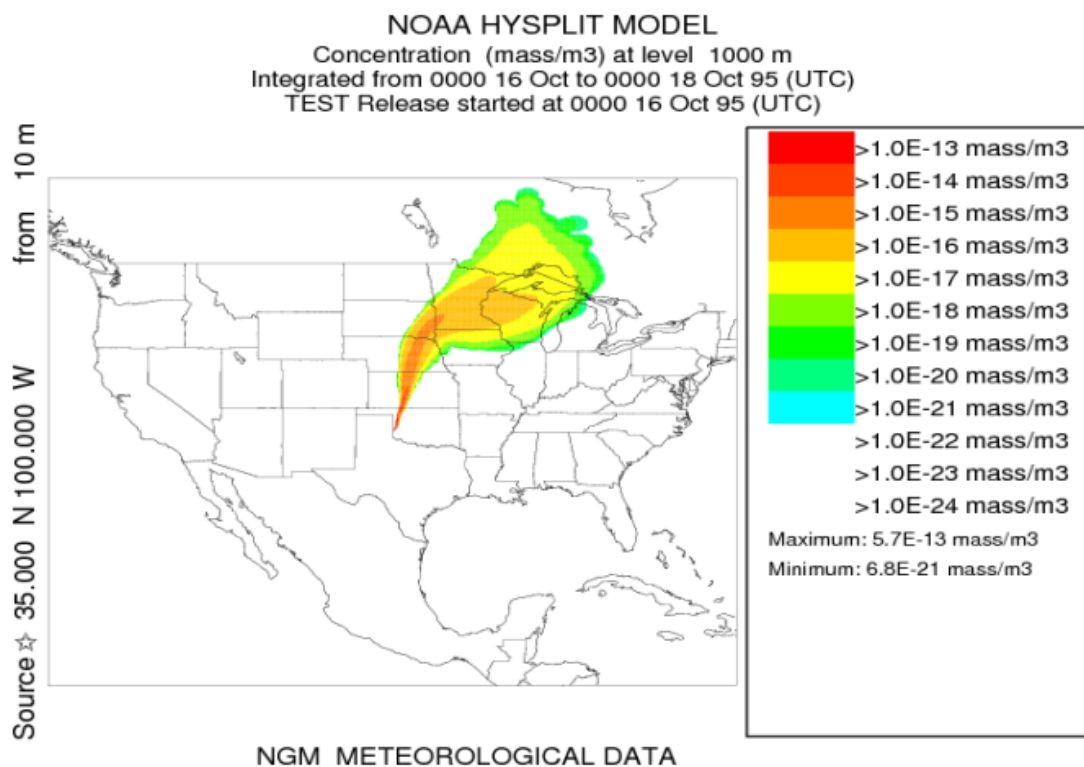


Рисунок 1.1 – Приклад поля концентрацій забруднювальної речовини у HYSPLIT [28]

У HYSPLIT також реалізовано частинкове подання перенесення домішок, що дозволяє наочно показати просторову динаміку забруднювальної хмари. Приклад такого результату наведено на рисунку 1.2.

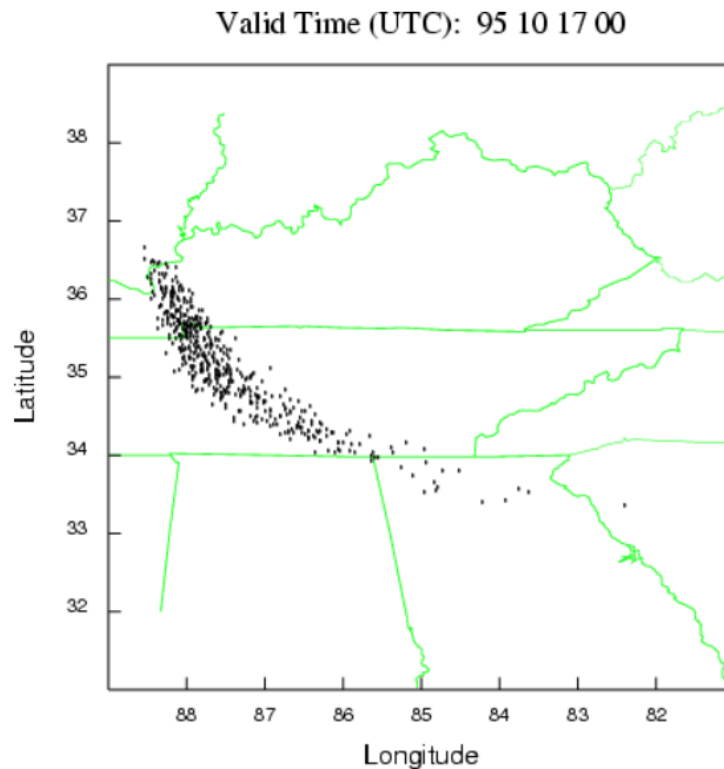


Рисунок 1.2 – Приклад просторового розподілу частинок у HYSPLIT [28]

HYSPLIT підсилює наявну вебсистему READY, яка надає доступ до атмосферних розрахунків через браузерний інтерфейс [41, 43]. Це демонструє доцільність створення інформаційних систем, у яких математичне моделювання поєднується з доступним інтерфейсом і наочною картою результатів. Ще одним відомим інструментом є модель NAME, розроблена британською метеорологічною службою. Вона застосовується для аналізу аварійних викидів, поширення диму, вулканічного попелу та інших небезпечних домішок [29, 30]. Приклад прогнозування NAME наведено на рисунку 1.3.

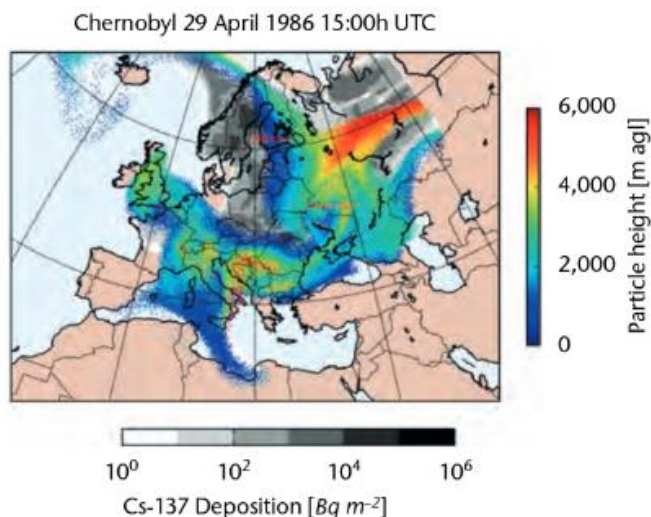


Рисунок 1.3 – Прогноз поширення радіоактивної хмари після аварії на ЧАЕС, побудований сучасною версією NAME [30]

Аналіз порівнюваних рішень показує, що складні професійні моделі забезпечують високу точність і широкий набір функцій, проте не завжди є зручними для швидкого сценарного використання. Для інформаційної системи, орієнтованої на прогнозування поширення пилу або диму від локального джерела, важливо поєднати зрозумілу математичну основу, оперативність обчислень і наочне представлення результатів. Основні особливості розглянутих систем узагальнено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння моделей прогнозування поширення атмосферних забруднень

Модель	Основний підхід	Переваги	Обмеження
AERMOD	Гаусівський шлейф	регуляторна придатність, формалізованість	Складність підготовки даних
CALPUFF	Модель «пухів»	Урахування змінної метеорології	Високі вимоги до налаштування
HYSPLIT	Лагранжева модель	Траєкторії, дисперсія, картографічні результати	Потребує якісних метеоданих

Кінець таблиці 1.1

NAME	Частинкова модель	Аналіз складних аварійних сценаріїв	Орієнтація на професійне застосування
------	-------------------	-------------------------------------	---------------------------------------

Серед розглянутих підходів доцільним для подальшого використання є гаусівська модель шлейфу, оскільки вона поєднує зрозумілу логіку розрахунку, достатню точність для локальних сценаріїв і невисокі вимоги до обчислювальних ресурсів [35]. У межах такого підходу характер поширення домішок оцінюється з урахуванням стану атмосфери та інтенсивності турбулентного перемішування [31, 32]. Методичні праці підтверджують придатність цієї моделі для орієнтовного прогнозування концентрацій забруднювальних речовин у локальному масштабі [33, 34]. Її застосування залишається актуальним у системах, де важливі швидкість обчислень і прозорість отриманого результату [37].

Напрямок і швидкість вітру визначають основний вектор переміщення забруднювальної хмари, а температура, хмарність і стійкість атмосфери впливають на характер її розсіювання. Для отримання необхідних метеорологічних параметрів можуть використовуватися відкриті погодні сервіси, що надають прогнозні дані для заданої території [38]. Додатковим джерелом поточних і погодинних метеорологічних показників можуть бути сервіси розширеного погодного доступу [39].

Окремі платформи також забезпечують доступ до прогнозних показників якості повітря, зокрема даних щодо аерозольних домішок і дрібнодисперсних частинок [40]. Подібні сервіси можуть надавати значення PM2.5, PM10 та інших показників атмосферного стану [44]. Водночас такі рішення переважно відображають уже сформовані регіональні оцінки й не орієнтовані на побудову користувацьких сценаріїв від довільного локального джерела викиду. Тому доцільним є поєднання власної моделі поширення забруднення з зовнішніми

метеорологічними даними. Сучасний розвиток цього напрямку пов'язаний із підвищенням точності розрахунків і врахуванням додаткових фізичних чинників, зокрема плавучості викиду та осідання частинок [45].

Отже, порівняння спрощених і складніших моделей також показує, що вибір підходу має відповідати масштабу задачі та доступності вихідних даних [46]. Паралельно розвиваються веборієнтовані системи, які поєднують математичне моделювання, картографічне подання та аналітичне відображення результатів [47, 48]. Для розроблюваної інформаційної системи доцільно використати підхід, який об'єднує гаусівську модель шлейфу, погодні дані та наочну візуалізацію результатів.

1.3 Постановка задачі

Головною метою кваліфікаційної роботи є розробка інформаційної системи моделювання поширення забруднень на основі аналізу погодних умов та прогнозів погоди. Система має забезпечувати прогнозування переміщення хмари пилу або диму від локального джерела забруднення в межах обраної території, визначати потенційні зони небезпеки та подавати результати у зручній для аналізу картографічній формі. Розроблювана інформаційна система повинна поєднувати математичну модель атмосферного розсіювання, обробку метеорологічних даних, сценарне задання параметрів джерела забруднення та візуалізацію результатів прогнозування.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

1. проаналізувати предметну область моделювання поширення атмосферних забруднень;
2. дослідити існуючі математичні моделі, методи та інформаційні системи прогнозування поширення забруднювальних речовин;
3. обґрунтувати вибір моделі атмосферного розсіювання;
4. визначити вимоги до інформаційної системи, її функціональних можливостей і структури основних модулів;

					КвРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. спроектувати архітектуру системи;
6. реалізувати механізм отримання й використання погодних умов;
7. розробити модуль сценарного моделювання, який дозволяє задавати параметри джерела викиду, тип забруднення, інтенсивність і тривалість прогнозу;
8. забезпечити формування картографічного результату з відображенням зон концентрації та потенційної небезпеки;
9. провести тестування розробленої системи та перевірити коректність роботи її основних функціональних складових.

Поставлена задача передбачає створення інформаційної системи, яка не лише відображає можливе забруднення, а й дозволяє оцінити його просторовий розвиток з урахуванням актуальних або прогнозних погодних умов. У результаті виконання роботи має бути створено функціональну інформаційну систему, здатну моделювати поширення хмари пилу або диму, відобразити зони потенційного впливу на інтерактивній карті та надавати користувачу результати, придатні для подальшого екологічного аналізу й підтримки прийняття рішень.

1.4 Висновки до першого розділу

Проведений аналіз підтвердив актуальність розроблення інформаційної системи моделювання поширення атмосферних забруднень на основі погодних умов і прогнозів погоди.

Визначено, що AERMOD, CALPUFF, HYSPLIT і NAME мають значні аналітичні можливості, однак часто орієнтовані на професійне застосування та потребують спеціалізованої підготовки.

Отже, на основі виконаного аналізу сформульовано задачу кваліфікаційної роботи, яка полягає у створенні інформаційної системи для моделювання поширення пилу або диму від локального джерела забруднення в межах обраної території.

2 ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ АТМОСФЕРНИХ ЗАБРУДНЕНЬ

2.1 Проєктування загальної логіки функціонування системи моніторингу та моделювання поширення атмосферних забруднень

Інформаційна система моніторингу та моделювання поширення атмосферних забруднень повинна об'єднувати кілька різних за змістом процесів в одну послідовну схему роботи. Вона має приймати опис джерела забруднення, враховувати погодні умови, виконувати оцінку подальшого поширення домішок, визначати просторові зони потенційного впливу, опрацьовувати дані сенсорного моніторингу та подавати результат у картографічній і аналітичній формах.

Координати місця викиду без погодних параметрів не дозволяють оцінити напрямок поширення, розрахункове поле концентрацій без картографічного подання є складним для інтерпретації, а сенсорні вимірювання без зв'язку зі сценарієм забруднення не показують просторовий контекст події. Проєктована система орієнтована на аналіз ситуацій, пов'язаних із потраплянням забруднювальних речовин у повітря від локалізованого джерела.

Таким джерелом може бути пожежа, пилове підняття, техногенний викид або інша подія, для якої потрібно оцінити ймовірну територію впливу. На початковому етапі користувач формує сценарій, задаючи місце виникнення події, тип забруднювача, інтенсивність надходження домішок, висоту їх потрапляння в атмосферу та часовий горизонт аналізу. Саме ці відомості задають вихідні умови, від яких надалі залежить вигляд прогнозованої зони поширення.

Важливе місце в загальній структурі системи займає блок погодних даних, адже атмосферні домішки не поширюються незалежно від стану повітряного середовища, тому напрямок і швидкість вітру, температурні умови, особливості вертикального перемішування та інші метеорологічні характеристики повинні враховуватися ще до розрахунку просторового розподілу забруднення. Погодні

					КВРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

параметри впливають не лише на напрямок руху хмари, а й на її ширину, довжину, щільність і швидкість зменшення концентрації зі збільшенням відстані від джерела. Через це погодні блок є повноцінною складовою загальної структури системи, а не допоміжним інформаційним додатком.

Після об'єднання сценарних і метеорологічних даних система переходить до розрахункового етапу. Його призначення полягає у формуванні прогнозного поля концентрацій на досліджуваній території. Для цього обраний регіон розглядається як простір, у якому можна оцінити можливий рівень забруднення в різних точках відносно джерела події.

Результатом такого оброблення стає не одна узагальнена оцінка, а масив просторових значень, який надалі використовується для виділення зон потенційного впливу. Ця частина системи забезпечує перехід від початкового опису події до конкретного просторового результату, придатного для подальшої візуалізації та аналізу. Загальну послідовність функціонування інформаційної системи наведено на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Загальна схема функціонування інформаційної системи моніторингу та моделювання поширення атмосферних забруднень

Наступним етапом стає визначення зон потенційного забруднення, для кожної ділянки території оцінюється рівень можливого впливу, після чого формуються області з різною інтенсивністю забруднення. Такий підхід дозволяє не лише побачити загальну форму поширення хмари, а й відокремити території, де очікується незначне підвищення концентрації, від зон, які потребують підвищеної уваги. Це робить результат набагато кориснішим, оскільки користувач працює вже не з окремими числовими величинами, а з просторовою картиною ситуації.

Сенсорний моніторинг у загальній структурі системи виконує іншу, але не менш важливу роль. Якщо розрахункова частина відповідає за оцінку можливого поширення домішок, то сенсорний блок пов'язаний із отриманням даних про фактичний стан повітряного середовища та погодних параметрів у контрольних точках. Наявність таких даних дозволяє розширити систему від суто прогнозної до комплексної інформаційної платформи, у якій результати розрахунку можуть співвідноситися з результатами спостереження. Для реалізації сенсорного моніторингу доцільно використати конкретний набір вимірювальних засобів. Контроль концентрації дрібнодисперсних частинок може виконуватися за допомогою оптичного сенсора Plantower PMS5003, який призначений для реєстрації забруднення повітря частинками малого розміру та є придатним для оцінювання задимлення або пилового навантаження в контрольній точці. Швидкість повітряного потоку доцільно визначати за допомогою анемометра RS-FSJT-N01, оскільки цей показник допомагає пояснювати локальні умови перенесення домішок. Для додаткового опису стану середовища до складу вузла варто включити сенсор BME280, який забезпечує отримання значень температури, відносної вологості та атмосферного тиску. У сукупності такі датчики дозволяють поєднати прогнозну оцінку поширення забруднення з локальними вимірюваннями стану повітряного середовища.

Користувач повинен бачити просторове розташування джерела забруднення, характер поширення хмари, межі зон впливу, положення найбільш

					КвРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навантажених ділянок і додаткову інформацію, що допомагає оцінити особливості конкретної ситуації. Що важливо для систем екологічного моніторингу, оскільки вона забезпечує перехід від складних внутрішніх обчислень до зрозумілого представлення екологічної події.

Сценарій визначає початкові умови, метеорологічний блок коригує умови перенесення домішок, розрахунковий компонент формує поле концентрацій, геопросторовий блок перетворює його на зони впливу, а сенсорні показники доповнюють загальну картину спостережень. Без сценарних параметрів неможливо описати джерело події, без погоди втрачається реалістичність напрямку й характеру поширення, без просторової обробки результат стає складним для практичного використання, а без сенсорної складової не формується повноцінний контур екологічного моніторингу.

Загальна структура системи також визначає характер даних, з якими вона працює на різних етапах, на вході використовуються параметри джерела, метеорологічні відомості та опис сценарію. Під час оброблення формуються проміжні масиви, часові кадри, розрахункові концентрації та просторові характеристики зон.

На виході користувач отримує картографічне представлення, аналітичні відомості, результати сенсорного контролю й матеріали для подальшого опрацювання. Такий поділ дозволяє простежити, як первинна інформація поступово перетворюється на завершений результат роботи системи. Вихідні дані можуть бути представлені у вигляді картографічних шарів, статистичних звітів, графічних матеріалів і цифрових моделей, що забезпечують комплексний аналіз досліджуваної території або об'єкта. Організація інформаційних потоків сприяє підвищенню точності обробки даних та ефективності використання результатів у практичній діяльності. Основні групи даних, що використовуються та формуються в інформаційній системі, подано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вхідні, проміжні та вихідні дані інформаційної системи

Група даних	Зміст
Вхідні дані	Координати джерела забруднення, тип забруднювальної речовини, інтенсивність викиду, висота надходження домішок, часовий горизонт аналізу, метеорологічні показники
Проміжні дані	Погодний профіль сценарію, розрахункова сітка території, прогнозне поле концентрацій, часові кадри поширення, значення рівнів впливу для окремих ділянок
Вихідні дані	Зони потенційного забруднення, картографічне подання результатів, аналітичні показники, дані сенсорного моніторингу, підсумкові матеріали для подальшого аналізу

Інформаційний процес не обмежується моментом введення параметрів і появою фінальної карти. Між цими етапами існує повноцінний ланцюг оброблення, у якому кожен тип даних виконує окрему роль. Вхідні відомості описують вихідну ситуацію та стан зовнішнього середовища, проміжні результати відображають роботу аналітичних і розрахункових компонентів, а вихідні дані формують представлення результату, придатне для користувача.

Дані сценарію повинні опрацьовуватися спеціалізованою підсистемою, погодні відомості надходити через окремий контур оброблення, результати розрахунків передаватися до геопросторового компонента, а сенсорні показники інтегруватися з аналітичним рівнем системи.

Отже, на рівні загальної структури можна побачити необхідність чіткого розмежування функцій між клієнтською частиною, серверними модулями, підсистемою погодних даних, алгоритмічним ядром, геопросторовою обробкою та блоком моніторингу. Крім того, наведений поділ дає змогу уникнути дублювання даних і суперечностей між різними етапами оброблення.

Наприклад, погодний профіль має бути єдиним для конкретного сценарію, щоб моделювання поширення, побудова часових кадрів і подальший аналіз зон впливу виконувалися на узгодженій основі.

2.2 Проектування архітектури програмного забезпечення проєкту

Система моніторингу та моделювання поширення атмосферних забруднень працює з різними типами інформації, починаючи з параметрів джерел викиду, погодними показниками, просторовими координатами, розрахунковими значеннями концентрацій, сенсорними даними, картографічними шарами та звітними результатами. Якщо всі операції зосередити в одному нерозділеному програмному блоці, система швидко стане складною для підтримки, а подальше розширення функцій потребуватиме постійного втручання в уже сформовану логіку.

Тому архітектуру програмного забезпечення доцільно будувати за модульним принципом, коли кожна частина системи відповідає за власний напрям роботи, але взаємодіє з іншими через визначені інформаційні потоки. У такій побудові клієнтська частина відповідає за взаємодію з користувачем, серверна частина керує сценаріями та координує розрахункові процеси, окремі внутрішні модулі обробляють погоду, моделюють поширення домішок, виконують геопросторові перетворення, приймають дані сенсорного моніторингу та готують матеріали для експорту. Архітектурно систему доцільно розглядати як поєднання трьох великих рівнів, де перший рівень утворює користувацький інтерфейс, через який задаються параметри сценарію, переглядаються результати моделювання, відкриваються картографічні шари, аналізуються зони потенційного впливу та формуються запити на експорт даних. Другий рівень становить серверне середовище, що приймає запити, перевіряє їхню коректність, запускає потрібні алгоритми, узгоджує дані між підсистемами й повертає результат клієнтській частині. Третій рівень охоплює збереження

					КВРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після запуску сценарію запит надходить до серверної частини, яка виконує роль координатора всієї подальшої обробки. Серверне API приймає дані, перевіряє їхню повноту й передає до сценарного компонента. Далі в роботу включаються модулі, необхідні для конкретного запуску, після чого погодні показники передаються до розрахункової частини, де враховуються під час оцінки переміщення та розсіювання забруднювальної хмари. Отримані результати надходять до геопросторового модуля, який приводить їх до форми, придатної для нанесення на карту.

Система повинна працювати не лише з поточним запуском моделювання, а й зберігати сформовані сценарії, параметри розрахунку, результати аналізу та підсумкові файли, а база даних забезпечує зв'язок між різними етапами роботи, підсистеми інформаційної системи зображено на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Основні програмні підсистеми інформаційної системи моніторингу та моделювання поширення атмосферних забруднень

Підсистема користувацького інтерфейсу забезпечує створення сценарію, запуск аналізу, взаємодію з картою, перегляд зон поширення та опрацювання отриманих результатів. Її роль полягає в тому, щоб складні обчислювальні процеси були представлені у зрозумілому вигляді та не вимагали від користувача роботи з внутрішніми структурами даних. Підсистема серверного керування приймає запити клієнта, перевіряє вхідні параметри й організовує взаємодію між іншими програмними складовими. Вона визначає порядок запуску модулів, контролює передавання даних і повертає результати до інтерфейсу після завершення оброблення.

Підсистема сценаріїв відповідає за формування опису події, пов'язаної з атмосферним забрудненням. У ній зберігаються координати джерела, тип домішки, інтенсивність надходження речовини, часовий горизонт аналізу та інші параметри, що задають вихідну ситуацію для моделювання. Підсистема погодного забезпечення готує метеорологічні дані, необхідні для подальших розрахунків. Вона пов'язана з показниками вітру та іншими характеристиками повітряного середовища, які впливають на напрямок, швидкість і просторову форму поширення забруднювальної хмари.

Підсистема моделювання поширення виконує основний розрахунковий процес. Вона поєднує параметри джерела з погодним станом, формує просторове поле концентрацій і створює числову основу для подальшого визначення зон потенційного впливу. Геопросторова підсистема перетворює розрахункові результати на об'єкти, придатні для відображення на карті. Вона формує контури зон забруднення, координатні межі, просторові області та інші елементи, які користувач бачить у графічному інтерфейсі.

Підсистема сенсорного моніторингу опрацьовує показники, пов'язані зі станом повітряного середовища та метеорологічними умовами в контрольних точках. Її дані можуть використовуватися для відображення поточних вимірювань, зіставлення з розрахунковими результатами й доповнення аналітичної картини.

Підсистема експорту відповідає за формування результатів у вигляді файлів, які можна використати поза межами інтерфейсу. Вона дає змогу підготувати табличні матеріали, звітні документи та геопросторові результати для подальшого аналізу або передавання іншим користувачам. Підсистема збереження даних підтримує роботу з усіма ключовими інформаційними об'єктами, що виникають під час аналізу. Вона зберігає сценарії, параметри моделювання, результати запусків, службові відомості та дані, які потрібні для повторного перегляду або подальшого порівняння.

Підсистеми роблять архітектуру більш зрозумілою й дозволяє пов'язати кожен етап роботи системи з конкретною програмною відповідальністю. Моделювання поширення забруднення не змішується з візуалізацією, погодне забезпечення відокремлене від експорту, а сенсорний блок має власну логіку оброблення даних. У результаті система набуває впорядкованої будови, у якій кожна підсистема виконує конкретну роль і водночас працює в загальному інформаційному циклі.

Отже, архітектура програмного забезпечення інформаційної системи побудована як взаємодія клієнтського інтерфейсу, серверного рівня, спеціалізованих обчислювальних модулів, підсистеми сенсорного моніторингу, бази даних і засобів експорту.

2.3 Проєктування алгоритму моделювання поширення атмосферних забруднень

Алгоритм моделювання поширення атмосферних забруднень у проєктованій системі має перетворювати вихідний опис події на просторову картину можливого впливу. Для чого потрібно послідовно врахувати параметри джерела, погодну ситуацію, просторове розташування розрахункових точок і часовий інтервал прогнозування. Тому алгоритм не зводиться до одного

обчислювального кроку, а формується як ланцюг взаємопов'язаних операцій, у якому результат попереднього етапу стає вихідною основою для наступного.

Початковим елементом моделювання є сценарій забруднення, що задає координати джерела, тип речовини, інтенсивність надходження домішок у повітря, висоту викиду та тривалість аналізу. Після формування параметрів джерела система переходить до опрацювання метеорологічних умов, найбільше значення мають напрямок і швидкість вітру, адже саме вони задають головну вісь перенесення домішок і темп їхнього віддалення від джерела. Не менш важливим є стан атмосфери, який характеризує інтенсивність перемішування повітряних мас. За одних умов шлейф може залишатися більш витягнутим і концентрованим, за інших він швидше розширюється в поперечному напрямку й охоплює більшу площу, але з меншими локальними значеннями.

Метеорологічні джерела зазвичай подаються як напрямок, звідки надходить повітряна маса, тоді як під час моделювання потрібно визначити напрямок, у який рухатиметься забруднювальна речовина. Через це в алгоритмі передбачено приведення метеорологічного значення до розрахункової логіки поширення шлейфу. Якщо цей крок пропустити, система може сформувати просторову область у протилежний бік від фактичного перенесення домішок, що зробить увесь подальший аналіз некоректним. Після коригування напрямку вітру територія розглядається відносно основної осі руху хмари, а всі наступні обчислення виконуються вже з урахуванням цієї орієнтації.

Наступним етапом є підготовка розрахункового простору, територія навколо джерела поділяється на сітку точок, для яких окремо визначається прогнозний рівень концентрації. Що дозволяє перейти від загального припущення про рух забруднення до детальної оцінки ситуації в просторі, де кожна точка має власне положення відносно джерела й головного напрямку перенесення, тому система може відрізнити ділянки, що розташовані вздовж центральної осі шлейфу, від бокових зон, де вплив поступово слабшає.

					КВРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Алгоритм, відображений на схемі, починається з поступового уточнення вихідної ситуації, спочатку визначаються особливості джерела забруднення, потім до них приєднуються погодні параметри, після чого формується розрахункова сітка, орієнтована відповідно до напрямку перенесення. Лише після цього система переходить до обчислення концентрацій у вузлах сітки та формування прогнозного поля. Коли для набору просторових точок отримано концентрації, система переходить до аналізу їхнього розподілу.

На основі сформованого поля система зможе побудувати зони різного рівня небезпеки, обчислити площі цих зон, визначити пікові концентрації та вказати центр забруднювальної хмари для окремого кадру прогнозу.

Тривалість прогнозу визначає кількість послідовних станів, які потрібно сформувати, для кожного часового кроку враховуються параметри джерела, погодний профіль і просторові характеристики, після чого обчислюється окреме поле концентрацій. Завдяки чому користувач отримує не нерухому схему, а часову зміну ситуації, де можна простежити переміщення, розширення або ослаблення зони впливу.

Параметри джерела визначають початкову силу події, погодні умови задають напрямок і характер перенесення, а просторова обробка переводить ці фактори в поле концентрацій, придатне для класифікації та візуалізації. На рисунку 2.5 подано взаємодію, без повторення повної покрокової схеми алгоритму. Додатково така структура дозволяє оцінювати динаміку поширення забруднення в часі, визначати потенційно небезпечні зони та підвищувати точність прогнозування наслідків надзвичайної ситуації. Отримані результати можуть використовуватися для підтримки прийняття рішень під час реагування на аварійні події, планування заходів цивільного захисту та оперативного інформування населення про рівень ризику в конкретних районах.

					КВРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

й часовими кадрами, система отримує можливість не просто показати карту, а пояснити причини її формування та дати основу для порівняння різних подій.

Отже, алгоритм моделювання поширення атмосферних забруднень у проєктованій інформаційній системі ґрунтується на послідовному поєднанні параметрів джерела, погодних умов, просторової сітки та часової динаміки.

2.4 Проєктування підсистеми погодного забезпечення та сценарного аналізу

Підсистема погодного забезпечення та сценарного аналізу відповідає за підготовку вихідної ситуації до розрахунку поширення атмосферного забруднення. Сценарій у проєктованій системі виконує роль повного опису екологічної ситуації, яку потрібно проаналізувати. Він включає координати джерела забруднення, тип події, інтенсивність надходження речовини, висоту викиду та часовий горизонт прогнозування. До нього приєднується погодна інформація, підібрана для тієї ж території та того самого періоду.

Завдяки такій структурі система працює не з розрізненими полями введення, а з цілісною конфігурацією моделювання, яка надалі може бути передана до розрахункового модуля, збережена для повторного використання або зіставлена з іншим сценарієм. У проєкті передбачено підтримку сценаріїв для диму, пилу та промислового аерозолю, а також можливість використання готових тематичних шаблонів.

Погодні дані можуть одержуватися з зовнішніх сервісів, а їхній часовий ряд додатково впорядковується перед передаванням до моделювання. Дані, отримані з зовнішніх погодних сервісів, використовуються для формування сценарію моделювання й побудови часової динаміки поширення забруднювальної хмари.. Перший датчик відображає рівень дрібнодисперсного забруднення, другий характеризує швидкість місцевого вітру, а третій доповнює спостереження показниками температури, вологості й тиску.

					КВРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо користувач обирає прогноз на кілька годин, то система повинна не лише прийняти тривалість аналізу, а й підготувати відповідну кількість метеорологічних станів, з якими надалі працюватиме розрахункове ядро. Загальну логіку підготовки сценарію наведено на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Формування сценарію моделювання

Параметри джерела задаються користувачем або обираються з готового шаблону, тоді як метеорологічний профіль формується на основі погодних даних для обраної території. Після цього обидва потоки об'єднуються в завершену конфігурацію запуску, яка містить усі необхідні відомості для наступного етапу моделювання. Такий порядок дозволяє відокремити редагування сценарію від зміни погодних умов.

У системі доцільно передбачити як створення індивідуального сценарію, так і використання заздалегідь підготовлених шаблонів. Перший варіант потрібен тоді, коли користувач задає власну подію з конкретними координатами й параметрами. Другий корисний для швидкого запуску типових прикладів, що вже містять базові налаштування. Їхня наявність розширює аналітичні можливості системи, оскільки дозволяє не лише моделювати довільну подію, а й швидко порівнювати характерні сценарії різного типу.

Особливістю погодної підсистеми є необхідність стабілізувати параметри перед використанням у розрахунку, де окремі значення можуть різко змінюватися між сусідніми моментами, що під час візуального відображення спричиняє неприродні стрибки траєкторії забруднювальної хмари. Така підготовка не підміняє вихідні погодні дані, а робить їх придатнішими для послідовного сценарного аналізу, де важлива не лише точність окремої точки, а й узгодженість прогнозу між часовими кадрами.

Параметри джерела визначають початкову силу події, погодні умови задають напрямок і характер перенесення, а просторова обробка переводить ці фактори в поле концентрацій, придатне для класифікації та візуалізації. На рисунку 2.5 подано взаємодію, без повторення повної покрокової схеми алгоритму. Додатково така структура дозволяє оцінювати динаміку поширення забруднення в часі, визначати потенційно небезпечні зони та підвищувати точність прогнозування наслідків надзвичайної ситуації. Отримані результати можуть використовуватися для підтримки прийняття рішень під час реагування на аварійні події, планування заходів цивільного захисту та оперативного інформування населення про рівень ризику в конкретних районах. Для забезпечення коректної роботи системи важливим є узгодження параметрів моделі, формату вхідних даних та методів просторового аналізу. Основні характеристики вхідних параметрів і результати їх обробки наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Структура сценарію моделювання поширення атмосферного забруднення

Складова сценарію	Призначення
Тип події	Визначає характер аналізованої ситуації: пожежа, пилове перенесення або промисловий викид
Координати джерела	Задають географічну точку, для якої формується прогноз і підбираються погодні умови
Параметри джерела	Описують інтенсивність надходження речовини, висоту викиду та особливості початкової події
Часовий горизонт	Визначає тривалість прогнозу та кількість послідовних кадрів для аналізу
Погодний профіль	Формує метеорологічну основу сценарію для кожного часового кроку
Шаблон сценарію	Дозволяє швидко запускати типові варіанти подій із попередньо підготовленими налаштуваннями

Наявність структурованого сценарію дає змогу системі працювати послідовно, користувач не задає окремо набір несумісних параметрів, а формує логічно завершений опис події, у якому джерело, час і погода пов'язані між собою. Це також полегшує подальше збереження та повторне використання налаштувань. У підсумку підсистема погодного забезпечення та сценарного аналізу виконує підготовчу, але важливу функцію, де має формуватися завершений опис події.

2.5 Проектування архітектури програмного забезпечення інформаційної складової системи

Складова інформаційної системи відповідає за роботу з вимірювальними даними, що надходять від сенсорного вузла моніторингу повітряного середовища. Якщо розрахунковий модуль формує прогноз можливого поширення забруднювальної хмари, то сенсорна частина забезпечує надходження контрольних показників із визначених точок спостереження.

У результаті система отримує можливість поєднувати прогнозну картину з даними моніторингу, зберігаючи при цьому відмінність між обчисленими значеннями та вимірюваннями. Для такого поєднання потрібна окрема програмна архітектура, яка визначає порядок приймання, перевірки, збереження й передавання сенсорних показників до клієнтського інтерфейсу.

Сенсорний вузол передає до інформаційної системи дані про концентрацію дрібнодисперсних частинок, швидкість вітру та супровідні метеорологічні параметри, необхідні для оцінювання стану повітряного середовища.

Програмна частина повинна приймати не ізольовані числові значення, а структуровані записи, у яких збережено час вимірювання, координати контрольної точки, тип показника та поточний стан каналу передавання. Обмін між сенсорним вузлом і серверним рівнем доцільно будувати через окремий комунікаційний контур. Після надходження пакета серверна частина виконує базову перевірку повноти даних, контролює коректність формату й передає значення до модуля опрацювання сенсорних вимірювань.

На цьому етапі показники приводяться до єдиної структури, отримують зв'язок із конкретною точкою спостереження та можуть бути спрямовані до бази даних, картографічного інтерфейсу або блоку формування повідомлень. Що дає змогу не перевантажувати центральну логіку системи низькорівневими операціями приймання телеметрії та водночас зберігати чітку відповідальність окремих програмних компонентів. Архітектуру програмного забезпечення інформаційної складової системи наведено на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 – Архітектура програмного забезпечення складової системи моніторингу атмосферних забруднень

Частина інформації зберігається в базі даних для накопичення історії спостережень і подальшого аналізу. Частина одразу надходить до клієнтського інтерфейсу, де значення відображаються як елементи карти або аналітичної панелі. Окремий канал пов'язаний із модулем контрольних повідомлень, який може реагувати на перевищення заданих порогів або на появу вимірювань, що потребують уваги користувача.

Завдяки такій організації сенсорні дані не залишаються службовою телеметрією, а стають повноцінною частиною загальної інформаційної моделі системи. Інтерфейс користувача повинен надавати не лише значення окремих показників, а й їхній зв'язок із просторовою ситуацією. Якщо контрольна точка розташована в зоні, для якої система прогнозує підвищений вплив забруднення, користувач має бачити поруч із цією зоною поточні сенсорні дані.

Це дозволяє оцінювати ситуацію ширше, не обмежуючись лише прогнозом картою або лише набором вимірювань. Програмна архітектура

повинна зберігати походження кожного типу інформації, щоб розрахункові результати й показники моніторингу не змішувалися на рівні обробки даних. Для оперативного оновлення інформації доцільно використовувати механізм двостороннього обміну, який дозволяє серверу передавати нові показники до інтерфейсу без постійного повторення однакових запитів із боку клієнта. Така логіка особливо корисна в системі, де значення можуть оновлюватися багаторазово протягом сеансу спостереження, а користувач працює з картою, часовими кадрами та повідомленнями про зміну стану контрольних точок.

У загальній програмній структурі проєкту для оперативного передавання результатів передбачено WebSocket-обмін, який може бути використаний і для виведення актуальних сенсорних показників. Основні інформаційні потоки складової системи зведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Інформаційні потоки складової системи

Напрямок обміну	Зміст переданої інформації
Сенсорний вузол - сервер	Значення концентрації частинок, швидкості вітру, супровідні метеорологічні показники, час фіксації та координати точки контролю
Сервер - база даних	Перевірені вимірювання, прив'язка до сенсорної точки, службові ознаки стану та історія оновлень
Сервер - клієнтський інтерфейс	Дані для карти, коротка аналітика щодо контрольної точки, поточний стан оновлення
Сервер - модуль повідомлень	Події, пов'язані з перевищенням установлених порогів або зміною стану сенсорного вузла

Такий розподіл потоків дає змогу чітко відокремити збір вимірювань від їх подальшої інтерпретації. Сенсорний вузол формує первинний пакет, серверна частина переводить його у впорядкований інформаційний запис, база даних

підтримує накопичення спостережень, а інтерфейс завершує процес, подаючи значення у формі, зручній для аналізу.

Отже, архітектура програмного забезпечення складової системи повинна забезпечувати послідовне передавання сенсорних даних від точки спостереження до карти, аналітики та повідомлень користувача. Така побудова дозволяє поєднати прогнозне моделювання із системним моніторингом стану повітряного середовища, не змішуючи різні за походженням інформаційні потоки.

2.6 Проєктування забезпечення сенсорного вузла моніторингу

Розрахункова частина інформаційної системи дає змогу оцінити можливе поширення атмосферного забруднення, однак для комплексного моніторингу цього недостатньо. Система також повинна отримувати показники безпосередньо з контрольних точок, щоб фіксувати стан повітряного середовища на конкретній території. Що покладається на сенсорний вузол, який поєднує вимірювальні елементи, первинну обробку сигналів, цифрове перетворення, керувальний мікроконтролер і канал передавання даних до серверної частини.

Основним показником, який доцільно контролювати в такій системі, є концентрація дрібнодисперсних частинок PM2.5. Ці частинки характерні для диму від пожеж, пилових перенесень і багатьох аерозольних забруднень, тому їхній рівень добре відображає зміну якості повітря в зоні спостереження. Дані про PM2.5 можуть використовуватися для оцінки фактичного стану контрольної точки й порівняння з результатами прогнозного моделювання.

Другим важливим напрямом вимірювання є швидкість вітру. Що за різної інтенсивності повітряного потоку одна й та сама забруднювальна хмара може поводитися по-різному, тому така інформація є корисною як для моніторингу, так і для подальшого аналізу ситуації. Для розширення характеристик контрольної точки до складу вузла також доцільно включити температурно-

					КвРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вологісний сенсор, оскільки ці показники доповнюють опис стану повітряного середовища та можуть впливати на інтерпретацію вимірювань. У запропонованій структурі сенсорного вузла за контроль забруднення відповідає Plantower PMS5003, який формує показник концентрації частинок PM2.5 у повітрі. Саме цей параметр є найбільш важливим для ситуацій, пов'язаних із димом від пожеж, пиловими явищами та аерозольними домішками. Для визначення швидкості повітряного потоку використовується анемометр RS-FSJT-N01, завдяки якому система може отримувати локальну характеристику вітрового режиму в точці спостереження. Температуру, відносну вологість і атмосферний тиск доцільно реєструвати сенсором BME280, оскільки ці показники доповнюють опис стану повітряного середовища та допомагають точніше аналізувати умови вимірювання. Зчитування даних із зазначених датчиків виконує мікроконтролер ESP32, який формує єдиний цифровий пакет і передає його до серверної частини інформаційної системи.

Сигнали, отримані від сенсорів, потребують підготовки перед подальшою обробкою. Якщо вимірювальний канал формує аналогову напругу, вона повинна пройти через узгодження та фільтрації. Після чого АЦП переводить аналогову величину у цифровий код, з яким уже може працювати мікроконтролерний блок.

Мікроконтролер об'єднує показники з усіх вимірювальних каналів і формує телеметричний пакет. До нього мають входити не лише самі значення PM2.5, швидкості вітру, температури й вологості, а й службові відомості, потрібні для серверної обробки: час фіксації, ідентифікатор контрольної точки, статус вузла та ознаки повноти даних.

Передавання телеметрії до серверної частини забезпечує комунікаційний модуль, регулярне надходження даних дозволяє оновлювати стан контрольних точок, формувати динамічну картину моніторингу та зіставляти вимірювання з прогнозними результатами. Структуру апаратного забезпечення сенсорного вузла наведено на рисунку 2.8.

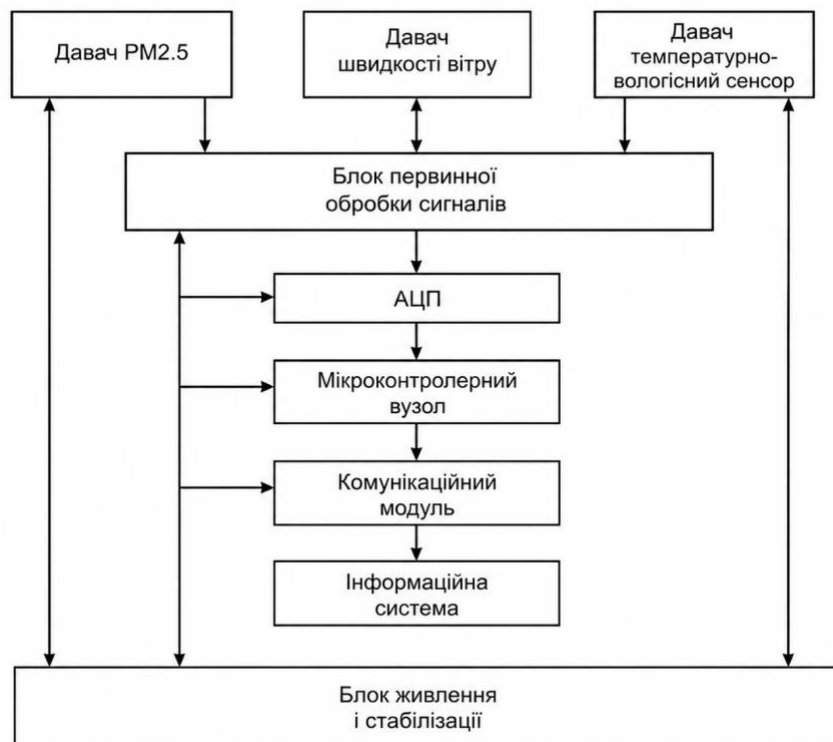


Рисунок 2.8 – Структурна схема забезпечення сенсорного вузла моніторингу атмосферних забруднень

Схема відображає послідовний шлях проходження даних від фізичного середовища до інформаційної системи, сенсори реєструють стан повітря та метеорологічні параметри, після чого сигнали надходять до блоку первинної обробки. Далі аналогові значення перетворюються в цифрову форму, мікроконтролер поєднує їх у єдиний пакет, а комунікаційний модуль передає сформовані відомості на сервер.

Запропоновану структуру доцільно будувати за модульним принципом, що дозволяє за потреби доповнювати сенсорний вузол новими каналами вимірювання, наприклад датчиками PM10, атмосферного тиску або окремих газових домішок, не змінюючи загальної логіки роботи. Це підвищує практичну цінність системи, оскільки екологічний моніторинг може розширюватися відповідно до нових задач і типів досліджуваних забруднень.

Отже, апаратне забезпечення сенсорного вузла має забезпечувати послідовний цикл отримання екологічних показників: від вимірювання

концентрації PM2.5 сенсором Plantower PMS5003, визначення швидкості вітру анемометром RS-FSJT-N01 і реєстрації температури, вологості та атмосферного тиску модулем BME280 до оброблення цих значень мікроконтролером ESP32 і передавання сформованого інформаційного пакета до серверної частини системи. Така структура створює технічну основу інформаційної складової проекту та дозволяє поєднати моделювання поширення забруднень із локальним моніторингом стану повітряного середовища.

2.7 Висновки до другого розділу

У другому розділі визначено проєктну структуру інформаційної системи моніторингу та моделювання поширення атмосферних забруднень. Розглянуто загальний порядок її роботи, який охоплює формування сценарію забруднення, підготовку погодних даних, розрахунок поширення домішок, оброблення результатів і використання сенсорної інформації. Що дозволяє розглядати систему як єдиний комплекс аналізу екологічної ситуації, а не як сукупність розрізнених програмних функцій.

Сформовано архітектуру програмного забезпечення, у якій поєднано клієнтський інтерфейс, серверну частину, сценарний модуль, погодну підсистему, розрахунковий блок, засоби просторової обробки, сенсорний контур і механізми експорту результатів. Описано алгоритм моделювання поширення забруднювальної хмари з урахуванням параметрів джерела, вітрового режиму, стану атмосфери та тривалості прогнозу.

Також спроектовано підсистему погодного забезпечення і сценарного аналізу, яка об'єднує характеристики події з метеорологічними умовами та формує повний набір даних для запуску моделювання. Визначено програмну логіку інформаційної складової, що забезпечує приймання сенсорних показників, їх передавання до серверної частини, збереження та відображення в інтерфейсі. Апаратна структура сенсорного вузла охоплює вимірювання PM2.5,

					КвРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

швидкості вітру, температурно-вологісних параметрів, обробку сигналів, аналого-цифрове перетворення, мікроконтролерне керування, зв'язок і живлення.

Окрему увагу приділено забезпеченню надійності обміну даними між компонентами системи, а також можливості масштабування сенсорної мережі для роботи в різних умовах експлуатації. Крім того, передбачено інтеграцію модулів візуалізації та аналітики, що дозволяє оперативно оцінювати стан середовища та ефективність прогнозних моделей. Запропоновані рішення створюють основу для автоматизованого моніторингу якості повітря та своєчасного виявлення небезпечних концентрацій забруднювальних речовин.

Реалізована архітектура забезпечує модульність системи, що спрощує її подальше вдосконалення, підключення нових типів датчиків і розширення функціональних можливостей. Завдяки використанню стандартизованих протоколів обміну даними та чіткому розподілу функцій між окремими підсистемами досягається висока гнучкість і адаптивність програмно-апаратного комплексу. Це дає можливість легко інтегрувати додаткові джерела даних, удосконалювати алгоритми аналізу та впроваджувати нові сервіси без суттєвих змін у структурі системи.

У межах розділу також розглянуто принципи організації інформаційних потоків, механізми обробки та збереження даних, а також особливості взаємодії між апаратними й програмними компонентами. Проведений аналіз дозволив обґрунтувати вибір технічних засобів, засобів зв'язку та програмних технологій, необхідних для реалізації поставлених завдань.

Отже, другий розділ визначає основні архітектурні, алгоритмічні та апаратні рішення, на яких базується розроблювана інформаційна система. Отримані результати формують теоретичне та технічне підґрунтя для подальшої програмної реалізації, тестування та впровадження системи моніторингу якості повітря, а також підтверджують можливість її ефективного використання для збору, обробки, аналізу та візуалізації екологічних даних..

3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ПЕРЕВІРКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ АТМОСФЕРНИХ ЗАБРУДНЕНЬ

3.1 Реалізація серверної частини та логіки запуску моделювання

Серверна частина розробленої інформаційної системи виконує основну координаційну функцію, оскільки саме через неї проходить повний цикл оброблення сценарію забруднення, від приймання початкових параметрів від користувача, збереження конфігурації запуску, отримання погодного профілю, виконання розрахунку поширення домішок, формування покадрового результату та передавання даних до клієнтського інтерфейсу. Серверна логіка системи орієнтована на приймання даних від конкретного сенсорного вузла, до складу якого входять PMS5003, RS-FSJT-N01, BME280 і керувальний модуль ESP32. До інформаційної системи мають надходити значення концентрації PM2.5, швидкості вітру, температури, вологості та атмосферного тиску разом із координатами контрольної точки й часом фіксації вимірювання. Після отримання пакета сервер перевіряє повноту даних, приводить їх до єдиної структури та передає до подальшого збереження, картографічного відображення або формування повідомлень. Завдяки цьому програмна реалізація працює не лише зі сценаріями прогнозування, а й підтримує повноцінний канал приймання локальних екологічних показників.

На відміну від окремого обчислювального скрипта, серверна реалізація поєднує математичний модуль, засоби роботи з даними, механізм поточного інформування користувача й API-рівень, через який система взаємодіє з вебінтерфейсом. Backend виступає не лише технічною проміжною ланкою між формою введення та картою, а середовищем, у якому об'єднуються всі програмні процеси моделювання.

Програмну реалізацію серверного рівня виконано на основі фреймворку FastAPI, який використано для побудови REST API та WebSocket-каналу.

					КвРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Структура проєкту організована модульно, щоб різні напрями оброблення не змішувалися в одному файлі й могли розвиватися незалежно. Маршрути HTTP-запитів зосереджено в каталозі `api`, логіку сценаріїв реалізовано в модулі `scenarios`, розрахунок поширення забруднення винесено до `dispersion`, опрацювання погодних даних виконується в `weather`, геопросторові перетворення й класифікація зон реалізовані в `geo`, а механізм передавання поточного прогресу симуляції підтримується модулем `runtime`.

Також зроблено блок для взаємодії з базою даних, модуль експорту результатів, програмний контур сенсорних даних і набір тестів, що використовуються під час перевірки правильності роботи ключових компонентів, що дозволяє пов'язати серверну реалізацію з архітектурою (рисунок 3.1).

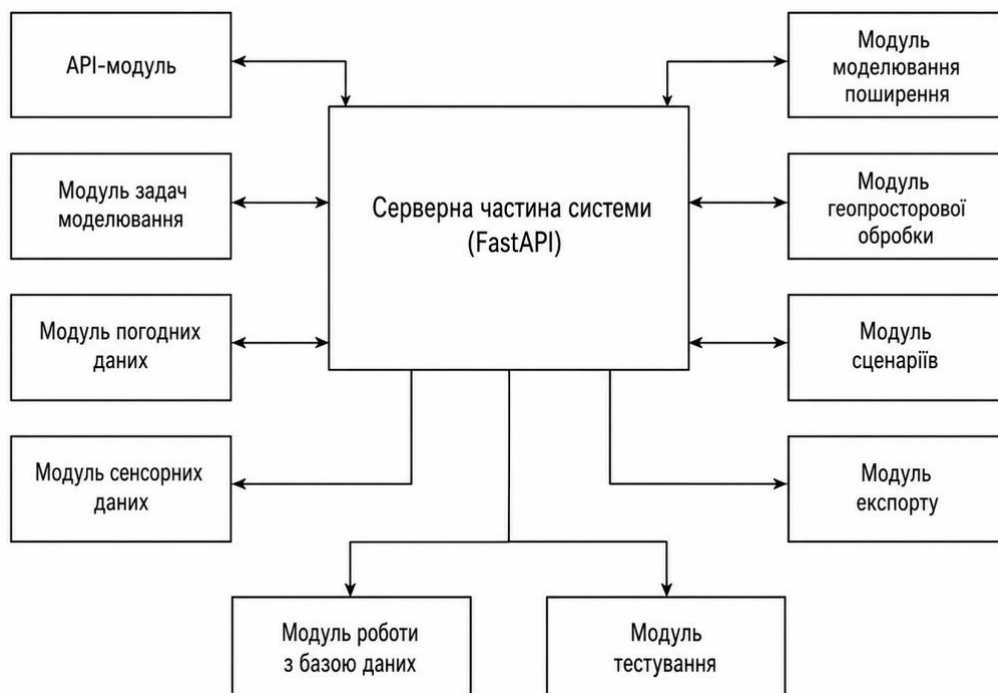


Рисунок 3.1 – Структура серверної частини інформаційної системи

Головним файлом backend-застосунку є `main.py`, у якому створюється об'єкт `FastAPI`, підключаються всі основні маршрутизатори та налаштовується підтримка `CORS` для взаємодії з клієнтською частиною, яка працює на іншому

локальному порту, також ініціалізується структура бази даних, а допоміжний маршрут /health використовується для швидкої перевірки доступності сервісу.

Це дозволяє зберегти головний файл компактним, оскільки в ньому не розміщується прикладна логіка прогнозування, а лише реєструються залежності та маршрути, необхідні для коректного запуску всієї системи. Додатково створено файл dependencies.py, у якому через кешування екземплярів служб забезпечується повторне використання об'єктів WeatherService і ScenarioService, що зменшує дублювання ініціалізацій та впорядковує доступ до основної бізнес-логіки. REST API серверної частини побудовано так, щоб користувацький інтерфейс міг працювати як із новими сценаріями, так і з уже збереженими конфігураціями. Для цього реалізовано групи маршрутів, пов'язані із запуском симуляцій, отриманням поточних результатів, керуванням сценаріями, погодними даними, програмним контуром сенсорних вимірювань та експортом підсумкових матеріалів.

Запуск власного розрахунку здійснюється через маршрут POST /api/v1/simulate, тоді як для швидкого відтворення типових ситуацій передбачено маршрут POST /api/v1/simulate/template/{template_id}. Після запуску клієнтська частина може звертатися до GET /api/v1/result/{task_id} і отримувати актуальний стан моделювання разом із уже сформованими часовими кадрами. Окремий набір маршрутів забезпечує створення, перегляд, редагування та видалення сценаріїв, що дозволяє системі підтримувати не лише одноразовий розрахунок, а й повторну роботу з раніше збереженими параметрами.

Після надходження запиту сервер спочатку створює запис сценарію в базі даних, далі генерує унікальний ідентифікатор task_id, після чого формує порожній результат симуляції зі статусом queued і нульовим відсотком виконання. На цьому етапі користувач ще не отримує повні просторові результати, однак сервер уже повертає відповідь, достатню для подальшого спостереження за ходом задачі. Це важливо для сценаріїв, що містять розрахунок

					КВРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на багато часових кадрів, оскільки користувач не змушений чекати завершення всього процесу в межах одного HTTP-запиту.

Після створення запису результату backend запускає внутрішню асинхронну функцію `_run_forecast_simulation()`, у якій відбувається основний обчислювальний цикл. Система отримує часовий ряд погодних даних відповідно до координат джерела та обраного горизонту прогнозування. Далі формується просторова сітка, на якій виконуватиметься розрахунок концентрацій. Для кожного погодинного кадру сервер використовує параметри джерела й метеорологічні показники, викликає розрахунковий модуль `Gaussian Plume`, формує поле концентрацій, перетворює його на картографічні контури у форматі `GeoJSON`, обчислює площі зон потенційного впливу, визначає пікові значення та просторові метрики кадру. Після цього сформований набір даних додається до результату поточної симуляції, а відсоток виконання оновлюється відповідно до кількості вже опрацьованих часових кроків.

Таким чином, серверна частина не формує результат одразу, а накопичує його послідовно, синхронізуючи розрахунок, збереження і відображення прогресу. Щоб користувацький інтерфейс міг реагувати на зміну стану задачі без постійного повторення однакових HTTP-запитів, у backend реалізовано WebSocket-канал `WS /ws/simulation/{task_id}`. Після запуску сценарію frontend відкриває з'єднання саме для відповідного `task_id` і підписується на повідомлення, що надходять від серверного механізму `SimulationEventBus`. Де у кожному повідомленні передається поточний статус, відсоток виконання та короткий текстовий опис етапу, наприклад інформація про те, який із прогнозних кадрів уже сформовано.

Якщо нових подій певний час немає, сервер надсилає `heartbeat`-повідомлення, завдяки чому з'єднання не виглядає втраченим для клієнта й інтерфейс може коректно показувати очікування. Після завершення симуляції надходить повідомлення зі статусом `done` і прогресом 100 відсотків, після чого

frontend отримує повний результат і переходить до візуалізації часових кадрів, зон впливу та аналітичних показників.

Особливістю backend-реалізації є те, що кожен етап розрахунку одразу готує дані до подальшого використання в інших частинах системи. Це дозволяє відокремити важкі розрахунки від вебінтерфейсу та передавати на frontend уже структурований результат, придатний для роботи карти, таймлайну, погодної панелі й аналітичних блоків. У такий спосіб сервер бере на себе не лише обчислювальну, а й підготовчу роль, формуючи дані в тій структурі, яка безпосередньо підтримує подальшу взаємодію користувача із системою.

Також частині реалізовано роботу з шаблонними сценаріями, які дають змогу швидко запускати демонстраційні розрахунки без ручного введення всіх параметрів. До таких шаблонів належать, зокрема, лісова пожежа на Львівщині, торф'яна пожежа на Волині, пилова буря на Херсонщині, промисловий викид у Дніпрі та радіаційна аварія в Запорізькому регіоні. Кожен із них містить фіксований набір координат, інтенсивність викиду, висоту джерела, тип забруднення й тривалість прогнозування. Завдяки цьому backend підтримує не лише довільні користувацькі сценарії, а й готові приклади для перевірки функціональності, демонстрації роботи та порівняння різних моделей події в однаковій програмній структурі.

Реалізована серверна логіка також передбачає обробку погодних запитів, що надаються через відповідні API-запити для поточного стану і прогнозного ряду, сенсорний маршрут дозволяє сформувати додаткові контрольні вимірювання для результату симуляції, а експортні маршрути створюють CSV, PDF і GeoTIFF для вже завершеної задачі. Це спрощує підтримку системи та зберігає чітку межу між запуском моделювання, супровідними службами й підготовкою підсумкових матеріалів.

Отже, серверна частина інформаційної системи реалізована як модульне середовище на FastAPI, у якому REST API, служби прогнозування, розрахункове ядро, геопросторова обробка, механізм WebSocket-оновлень і засоби збереження

					КВРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

результатів працюють у спільному сценарії. Її програмна структура забезпечує повний цикл запуску моделювання від приймання параметрів джерела до формування покадрового результату й передавання прогресу в інтерфейс користувача.

3.2 Реалізація збереження сценаріїв і результатів моделювання

Збереження даних у розробленій інформаційній системі побудовано щоб користувач міг повертатися до створених сценаріїв, переглядати результати попередніх моделювань і використовувати їх для подальшого аналізу. Адже один і той самий сценарій може бути запущений кілька разів за різних погодних умов або з уточненими параметрами. Тому база даних повинна розмежовувати дві різні групи інформації, як постійну конфігурацію сценарію та результат конкретного запуску симуляції, за таким принципом у системі реалізовано збереження через SQLite і SQLAlchemy ORM. У базі даних використано дві основні сутності.

Перша відповідає за сценарії моделювання, друга за результати їх виконання, модель ScenarioORM зберігає назву сценарію, час створення, координати джерела забруднення, інтенсивність викиду, висоту джерела, тип забруднювача, тривалість прогнозування та ознаку використання реальних погодних даних. Ці поля повністю відповідають тим параметрам, які користувач задає в інтерфейсі під час створення власного сценарію або отримує при запуску підготовленого шаблону.

Окреме місце в структурі даних повинні займати результати сенсорного моніторингу. Для кожної контрольної точки доцільно зберігати концентрацію PM2.5, отриману від PMS5003, швидкість вітру, виміряну анемометром RS-FSJT-N01, а також температуру, вологість і атмосферний тиск, що надходять від BME280. Разом із цими показниками потрібно фіксувати координати точки спостереження, час отримання пакета й службовий стан запису. Такий підхід

дозволяє не обмежуватися одноразовим показом даних у картографічному інтерфейсі, а накопичувати історію вимірювань для подальшого зіставлення з прогнозними зонами поширення забруднення.

База даних фіксує не тільки технічний ідентифікатор запису, а повний зміст події, яка стала вихідною точкою для розрахунку поширення атмосферних домішок. Друга модель, `SimulationResultORM`, призначена для фіксації результатів окремого запуску. Кожне моделювання отримує власний `task_id`, який використовується як первинний ключ і водночас слугує основним ідентифікатором задачі в API, WebSocket-каналі та на сторінці експорту звітів.

Запис результату містить посилання на відповідний сценарій, поточний статус виконання, відсоток прогресу, час створення задачі, поле для повідомлення про помилку та головний масив `frames`, у якому накопичується весь прогнозний результат. Завдяки цьому система зберігає не лише кінцеву позначку про успішне завершення розрахунку, а повний перебіг моделювання у формі послідовності часових кадрів. Між сценаріями та результатами реалізовано зв'язок типу один до багатьох. Один запис у таблиці сценаріїв може бути пов'язаний із кількома результатами симуляції, що дозволяє повторно запускати той самий набір параметрів і зберігати кожен результат окремо.

Якщо користувач кілька разів досліджує одну й ту саму лісову пожежу, база не дублює зміст сценарію в кожному записі, а створює нові результати, прив'язані до вже наявної конфігурації, що зменшує зайве повторення даних і водночас зберігає повну історію виконаних розрахунків. Логічну організацію збереження даних зображено на рисунку 3.2, де сценарій виступає вихідною сутністю, а результати моделювання формують пов'язані записи окремих запусків.

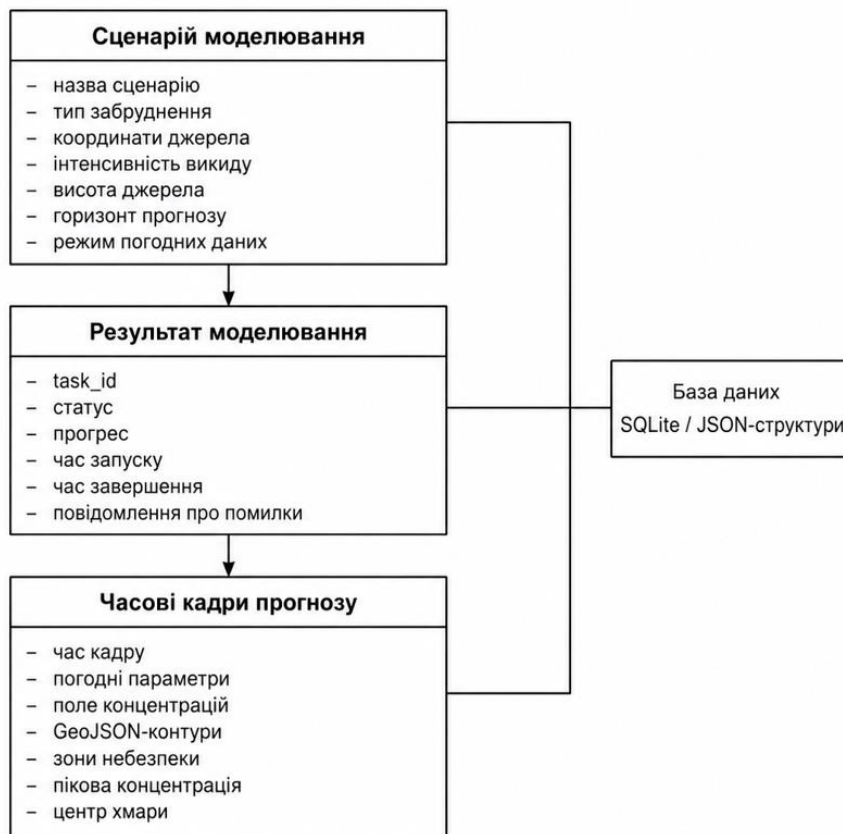


Рисунок. 3.2 – Логічна структура збереження сценаріїв і результатів моделювання

Важливе значення в базі даних має поле `frames`, у якому зберігається JSON-масив часових кадрів, де обране рішення дозволяє зафіксувати результат моделювання не як кілька розрізнених чисел, а як повний набір інформації для кожної години прогнозу. Один кадр містить дату й час, погодні параметри відповідного моменту, мінімальне та максимальне значення концентрації, матрицю концентрацій на просторовій сітці, картографічні контури у форматі GeoJSON, узагальнення по зонах небезпеки та додаткові метрики, зокрема координати пікової концентрації, центр хмари, зміну напрямку вітру і просторове зміщення центроїда.

Кожен прогнозний крок є самодостатнім, тому клієнтський інтерфейс може швидко отримати дані для вибраного кадру та відобразити їх на карті, у погодній панелі, таймлайні й блоці аналітики.

Структура одного прогнозного кадру поєднує вкладені масиви, набір погодних параметрів, геопросторові об'єкти й узагальнені розрахункові метрики. Збереження кадрів у JSON-масиві дозволяє передавати результат між серверною й клієнтською частинами практично в тому вигляді, у якому він формується під час розрахунку, а також додавати нові аналітичні поля без повної перебудови схеми даних.

У системі один прогнозний кадр містить концентраційну сітку розміром 160 на 160, масив картографічних контурів і службові обчислені показники, тому обсяг інформації для одного часового кроку є суттєвим. Під час запуску симуляції створюється запис зі статусом `queued`, далі він переходить у `running`, а після завершення приймає значення `done` або `failed`. Що пов'язано із WebSocket-оновленням, де користувач бачить зміну прогресу в інтерфейсі, тоді як база даних зберігає актуальний стан задачі та дозволяє відновити його навіть після повторного звернення до API.

Якщо під час розрахунку виникає помилка, повідомлення фіксується в полі `error_message`, що підвищує інформативність системи й спрощує технічний контроль виконаних запусків. Сторінка сценаріїв отримує з бази перелік раніше створених конфігурацій, сторінка карти працює з результатом конкретного `task_id`, а сторінка звітів використовує той самий ідентифікатор для експорту CSV, PDF і GeoTIFF. Адже база даних не є пасивним сховищем, а забезпечує узгодженість усіх ключових дій користувача в системі.

Отже, підсистема збереження даних реалізована, як структура з двох пов'язаних сутностей, що розмежовують конфігурацію сценарію та результати окремих запусків моделювання. Використання SQLite, SQLAlchemy ORM і JSON-масиву часових кадрів дозволило поєднати простоту розгортання з достатньою гнучкістю зберігання складних прогнозних результатів. Що забезпечує повторний перегляд сценаріїв, накопичення історії симуляцій, швидке завантаження результатів до інтерфейсу та підготовку даних для подальшого картографічного виводу.

3.3 Реалізація клієнтського вебінтерфейсу та картографічного подання результатів

Клієнтська частина інформаційної системи розроблена як вебінтерфейс, через який користувач задає параметри сценарію забруднення, запускає моделювання, контролює перебіг розрахунку та аналізує отримані результати на карті. Frontend поєднує всі попередньо реалізовані серверні механізми в єдиний робочий процес, доступний без безпосередньої взаємодії з API або внутрішніми структурами даних.

Користувач працює не з окремими числовими масивами концентрацій, параметрами погодного профілю чи JSON-структурами прогнозних кадрів, а з цілісною інтерактивною сторінкою, де джерело забруднення, результат моделювання, часові зміни шлейфу й аналітичні показники подаються в узгодженому вигляді. Клієнтський застосунок реалізовано на основі React і TypeScript із використанням Vite для складання проєкту, Fetch API для HTTP-запитів і WebSocket API для отримання поточного прогресу моделювання. Картографічний рівень побудовано через Leaflet, що дозволяє відобразити маркери, ізолінії концентрацій і просторові результати поверх інтерактивної карти. Що дозволяє розділити різні режими роботи системи без створення складної багаторівневої навігації.

Сторінка карти використовується для запуску моделювання й перегляду його результатів, сторінка сценаріїв призначена для роботи з готовими шаблонами та збереженими конфігураціями, а сторінка звітів забезпечує доступ до кінцевих матеріалів і експорту.

Основну площу екрана займає інтерактивне картографічне поле, де відображаються географічна основа, місце розташування джерела забруднення та результати розрахунку. Також розміщується бічна панель, у якій зібрано елементи керування сценарієм, часовим переглядом прогнозу, погодними

Координати можуть бути змінені двома способами, через відповідні поля в панелі або безпосередньо кліком по карті, що важливо для зручної роботи з територіальними сценаріями, оскільки точка джерела може визначатися не лише через точні числові значення, а й через візуальний вибір на карті. Значення інтенсивності, висоти та тривалості прогнозу вводяться через інтерактивні елементи, що дозволяє швидко змінювати конфігурацію сценарію перед запуском. Для такої точки користувач може переглядати концентрацію PM2.5 за даними PMS5003, локальну швидкість вітру за результатами роботи RS-FSJT-N01, а також температуру, вологість і тиск, отримані від BME280. Це дозволяє подати прогнозну картину й локальні спостереження в одному просторі, але не змішувати їх за змістом.

Після натискання кнопки запуску сформований об'єкт передається до серверної частини, а інтерфейс переходить у режим відстеження стану задачі та подальшого завантаження результатів. Панель налаштування сценарію та запуску моделювання наведено на рисунку 3.4.

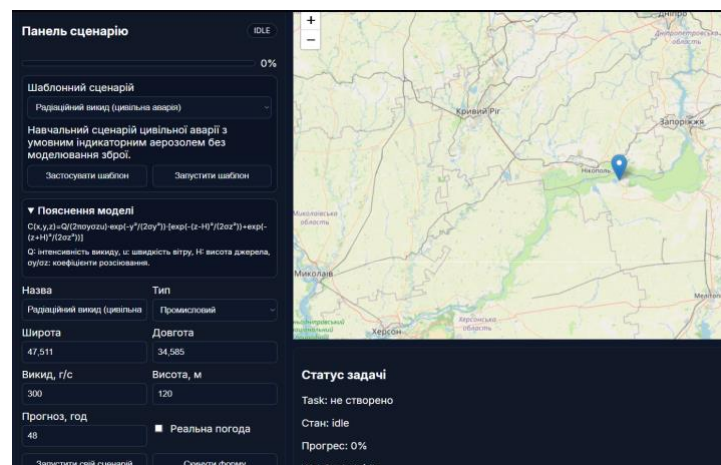


Рисунок. 3.4 – Панель налаштування сценарію та запуску моделювання

Зміст інтерфейсу пов'язаний із серверною логікою, користувач не вводить розрізнений набір технічних параметрів без зрозумілого результату, а формує повноцінний сценарій події, який надалі перетворюється на серверний запит і стає основою для покадрового розрахунку. Завдяки типізації TypeScript дані

форми відповідають структурі `SimulationRequest`, тому параметри, передані з клієнтської частини, узгоджені з очікуваною моделлю backend-рівня.

Подібна реалізація зменшує ризик некоректної передачі числових і текстових значень, а також спрощує подальше розширення форми, якщо до системи додаються нові параметри джерела або сценарного аналізу. Після запуску моделювання клієнтський інтерфейс отримує ідентифікатор задачі, відкриває `WebSocket`-з'єднання та починає відстежувати виконання розрахунку.

Після чого сторінка карти переходить від режиму налаштування до режиму аналізу результатів, коли сервер додає нові часові кадри, вони стають доступними у `frontend` і можуть переглядатися через таймлайн. У компоненті `MapPage` зберігається індекс вибраного кадру, а через мемоізовану логіку визначається набір даних, який потрібно показати на карті та в аналітичних панелях саме для поточного моменту прогнозу.

Якщо користувач запускає автоматичне відтворення, інтерфейс послідовно перемикає кадри з інтервалом один кадр на секунду, доки не буде показано всю прогнозу послідовність, що перетворює статичну карту в режим часової візуалізації та дозволяє простежити зміну зони забруднення в динаміці. Під час ініціалізації карта центрується на території України, а як базовий шар використовується `OpenStreetMap`, після цього система додає маркер джерела забруднення, який показує його поточні координати. Якщо для вибраного кадру наявні просторові результати, на карту накладаються контури, отримані із `GeoJSON`-структури `contour_geojson`.

У властивостях кожного контуру зберігається рівень небезпеки та концентраційний поріг, тому `frontend` може призначати відповідний стиль відображення й показувати пояснення під час взаємодії користувача з контуром. Крім ліній концентрацій, карта виводить центр хмари, координати якого надходять із зведених метрик відповідного кадру.

У підсумку клієнтський інтерфейс формує картографічну сцену, де початкове джерело, просторові межі поширення та узагальнений центр

					КВРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Завдяки цьому кожний просторовий результат пов'язується не лише з певним набором погодних параметрів, а й із конкретним моментом прогнозування, що є важливим для аналізу розвитку забруднювальної хмари.

Якщо прогноз охоплює добовий період із двадцяти чотирьох кадрів, таймлайн дозволяє швидко перейти до будь-якої години й порівняти просторове розташування шлейфу в різні моменти. Поряд із таймлайном розміщено панель погодних параметрів поточного кадру та блок узагальнення зон небезпеки.

Погодна панель показує час кадру, напрямок і швидкість вітру, температуру, вологість, тиск, хмарність і клас стабільності атмосфери. Її наявність дає змогу інтерпретувати зміну геометрії шлейфу разом із факторами, які безпосередньо впливають на результат моделювання. Блок зон небезпеки відображає площі територій, віднесених до різних рівнів концентрацій, а також пікове значення для вибраного кадру.

Таким чином, користувач не лише візуально спостерігає за формою забруднювальної області, а й отримує кількісний опис масштабу потенційного впливу. Відображення погодних характеристик, таймлайну прогнозу та зон потенційного впливу наведено на рисунку 3.6.

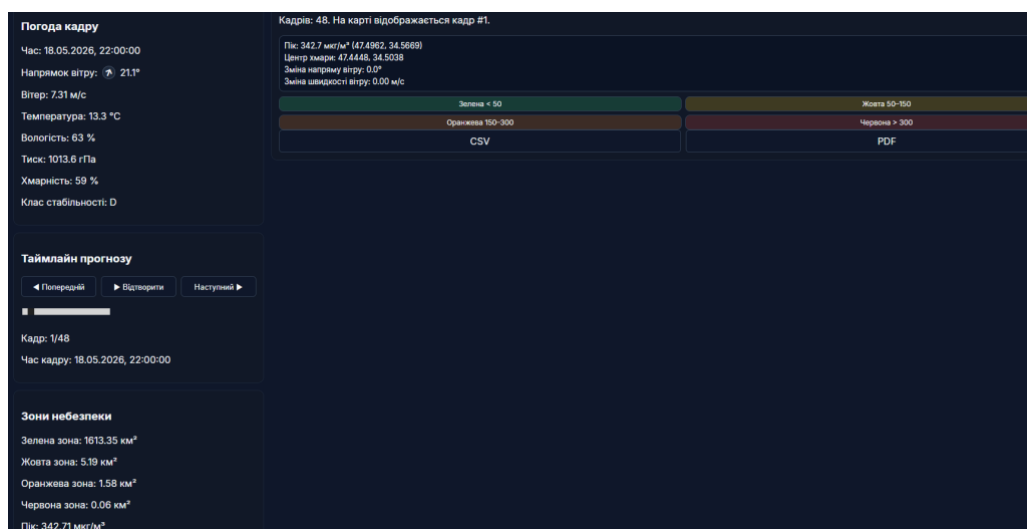


Рисунок. 3.6 – Відображення погодних параметрів, таймлайну прогнозу та зон потенційного впливу

У реалізованому інтерфейсі панелі не замінюють карту, а доповнюють її тими даними, які складно сприймати лише з графічного контуру. Наприклад, дві просторово подібні зони можуть суттєво відрізнятися за піковою концентрацією або за площею критичного рівня, тому користувачу потрібні обидва типи подання, тому поєднання карти й показників робить результат моделювання інформативним не лише з візуального, а й з аналітичного погляду.

При перемиканні кадру оновлюються не тільки контури на карті, а й усі пов'язані числові та метеорологічні відомості, завдяки чому кожен стан прогнозу розглядається як завершений часовий зріз системи. Клієнтський застосунок також підтримує сторінку сценаріїв, яка завантажує готові шаблони та список створених користувачем сценаріїв, а також сторінку звітів, де обирається завершений результат і відкриваються функції експорту.

Отже, клієнтський вебінтерфейс реалізовано як інтерактивне середовище для налаштування сценаріїв, запуску розрахунку, перегляду прогнозних кадрів і просторового аналізу результатів моделювання. Поєднання React, TypeScript, Leaflet, HTTP-запитів і WebSocket-оновлень дозволило створити сторінку, де всі основні компоненти системи взаємодіють у режимі єдиного робочого сценарію.

Користувач бачить карту з джерелом і контурами концентрацій, керує часовою послідовністю прогнозу, переглядає погодні умови конкретного кадру й аналізує площі зон потенційного впливу.

3.4 Демонстрація роботи системи на прикладі сценарію поширення забруднення

Для перевірки роботи розроблених програмних модулів доцільно розглянути повний користувацький сценарій, у якому система проходить шлях від вибору початкової події до формування картографічного результату з часовою динамікою та аналітичними показниками.

Як демонстраційний приклад використано шаблон лісової пожежі на Львівщині, оскільки він добре відображає призначення системи, поєднує викид димових аерозолів із впливом погодних умов і дає змогу наочно простежити зміну забруднювальної хмари протягом прогнозного періоду. У проєкті цей шаблон визначено як готовий сценарій forest-fire-lviv, для якого задаються координати джерела, інтенсивність викиду, висота надходження домішок, тип забруднювача smoke та прогноз на двадцять чотири години.

Такий приклад є показовим ще й тому, що він не потребує попереднього ручного заповнення всіх полів і дозволяє швидко перейти до перевірки основного робочого циклу системи. Після відкриття сторінки моделювання користувач бачить карту, панель сценарію та блоки подальшого відображення результатів. У панелі доступний перелік шаблонів, серед яких обирається сценарій лісової пожежі. Разом із назвою в інтерфейсі подається короткий зміст події, що пояснює характер очікуваного результату, зокрема формування димового шлейфу та потребу спостерігати за зміною площ небезпечних зон.

Додатково використання шаблонів спрощує підготовку вхідних даних, зменшує ймовірність помилок під час введення та забезпечує уніфіковані умови виконання розрахунків, що особливо важливо під час порівняльного аналізу результатів. Крім того, такий підхід підвищує зручність роботи користувача та дозволяє швидше переходити до етапу моделювання без необхідності ручного заповнення всіх параметрів.

Після застосування шаблону поля форми набувають наперед заданих значень, а користувач може або одразу запустити розрахунок, або скоригувати окремі параметри перед початком моделювання, що робить демонстраційний сценарій не статичною ілюстрацією, а повноцінним засобом перевірки системи в умовах, наближених до реального робочого використання. Запуск шаблонного сценарію в інтерфейсі інформаційної системи наведено на рисунку 3.7.

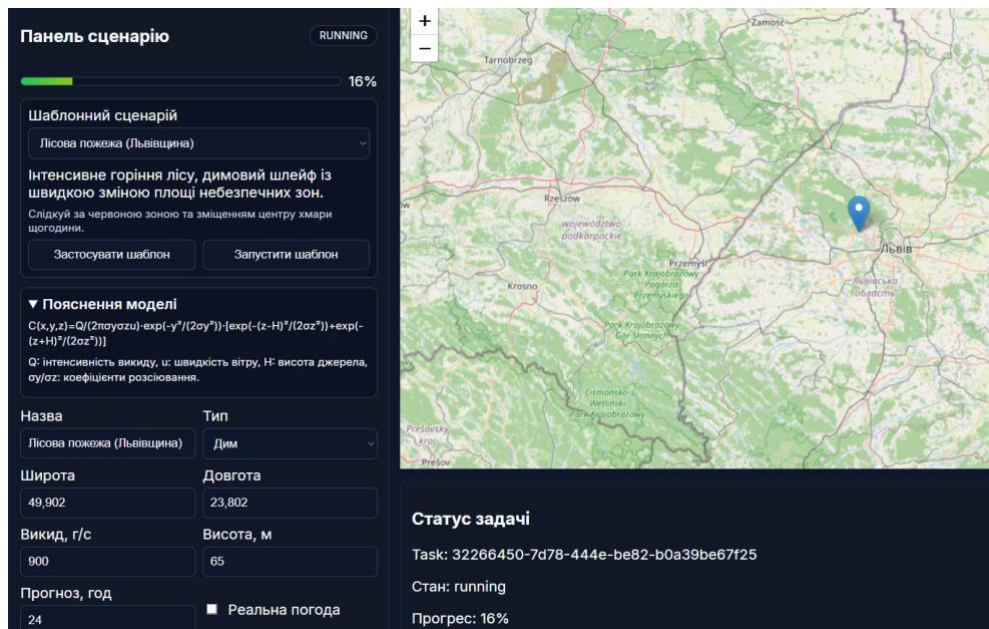


Рисунок. 3.7 – Запуск шаблонного сценарію лісової пожежі в інтерфейсі інформаційної системи

Після натискання кнопки запуску, frontend формує запит до серверної частини, а система створює нову задачу моделювання й повертає її ідентифікатор. Інтерфейс переходить у режим контролю виконання, де відображаються статус задачі, поточний прогрес і службові повідомлення про стан WebSocket-з'єднання. Backend покадрово виконує прогноз на вибраний часовий горизонт, обробляючи погодні дані, розраховуючи поле концентрацій, формуючи контури зони поширення та зберігаючи результати для кожного часового кроку. Саме тому користувач бачить не лише підсумок після завершення моделювання, а й контроль самого перебігу розрахунку.

Коли розрахунок завершується, статус задачі змінюється на завершений, а інтерфейс отримує повний масив прогнозних кадрів. На карті з'являється джерело забруднення, просторовий контур поширення хмари, області різної концентрації та орієнтація шлейфу відповідно до умов перенесення. На наданому прикладі результат відображається для території Львівщини, де карта дозволяє порівнювати форму забруднювальної області з реальним географічним оточенням, межами населених пунктів і загальним напрямом простягання

класифікацію територій за концентрацією, де нижчі значення відповідають безпечнішій частині розрахункової області, а вищі відображають ділянки з посиленням або критичним рівнем потенційного впливу. Такі результати дозволяють оцінювати не лише геометрію шлейфу, а й масштаб наслідків для конкретного моменту прогнозу.

Це означає, що користувач може порівняти два різні кадри не тільки за візуальною формою хмари, а й за зміною площ окремих зон і рівня максимальної концентрації. Відображення часових кадрів, погодних параметрів і показників зон потенційного впливу наведено на рисунку 3.9.

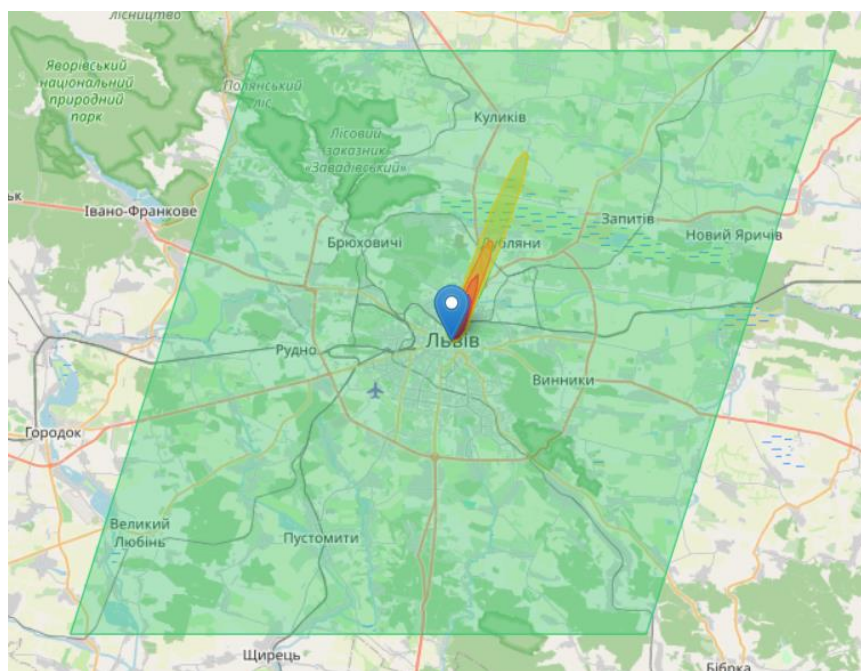


Рисунок. 3.9 – Відображення часової динаміки, погодних параметрів і показників зон потенційного впливу

У демонстраційному сценарії система показує завершений робочий ланцюг, який починається з вибору події та переходить до повноцінного аналізу результату. Після запуску шаблону користувач бачить стан виконання задачі, після завершення розрахунку отримує просторовий результат на карті, а далі може переходити між кадрами й аналізувати зміну прогнозованої ситуації.

Описаний приклад також підтверджує доцільність використання готових шаблонів у системі, адже вони спрощують перевірку основних функцій, демонстрацію роботи та порівняння типових ситуацій. Наявність декількох шаблонів, серед яких лісова пожежа, торф'яне займання, пилова буря, промисловий викид і умовна цивільна аварія, дозволяє тестувати систему на подіях із різним характером джерела та просторовою динамікою.

Отже, демонстраційний запуск сценарію лісової пожежі підтверджує працездатність інформаційної системи як завершеного програмного комплексу. Користувач може обрати підготовлений сценарій, запустити моделювання, відстежити його перебіг, отримати картографічний результат і проаналізувати часову зміну зон потенційного впливу разом із погодними та кількісними показниками. Приклад показує, що реалізовані серверні модулі, структура збереження результатів і клієнтський інтерфейс працюють не ізольовано, а формують єдиний прикладний процес.

3.5 Реалізація експорту результатів моделювання

Після завершення моделювання користувачу важливо не лише переглянути сформовані результати в інтерфейсі системи, а й отримати їх у вигляді окремих файлів для подальшого опрацювання, збереження або використання в суміжних програмних середовищах. Для цього в розробленій інформаційній системі реалізовано підсистему експорту, яка пов'язана з уже завершеною задачею моделювання та працює на основі її унікального ідентифікатора `task_id`. Така організація дозволяє відокремити етап візуального перегляду результатів від етапу їх підготовки для зовнішнього використання, не повторюючи розрахунок і не створюючи дублікати прогнозних даних.

Експорт у системі доступний через окрему сторінку звітів, на якій користувач указує ідентифікатор виконаної задачі та обирає потрібний формат завантаження. В інтерфейсі сторінка містить поле Task ID і три посилання для

					КВРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

отримання результатів у форматах CSV, PDF і GeoTIFF. Такий спосіб доступу добре узгоджується з логікою серверної частини, де кожна завершена симуляція зберігається як окремий результат із власним ідентифікатором, а експортні маршрути звертаються саме до цього запису. Користувач не вводить повторно параметри сценарію й не відтворює симуляцію заново, а працює з уже сформованим набором кадрів, який було збережено в базі даних після завершення розрахунку. Інтерфейс експорту результатів наведено на рисунку 3.10.

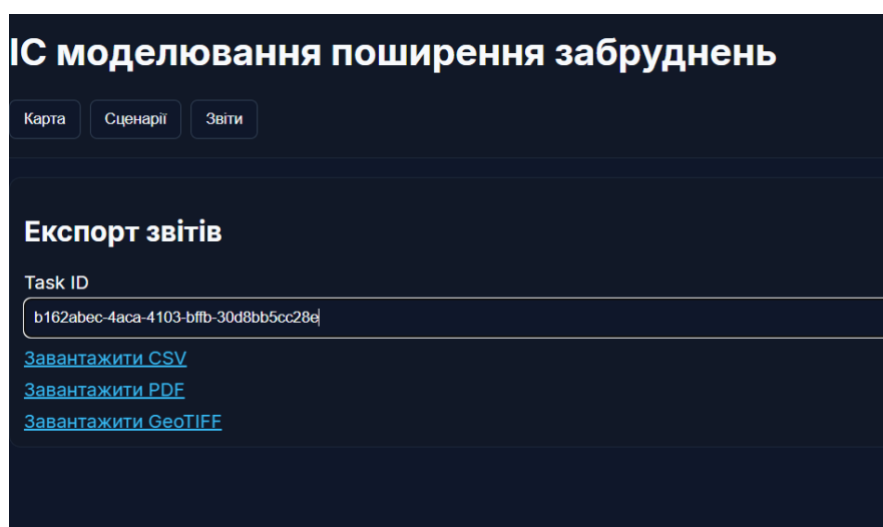


Рисунок. 3.10 – Сторінка експорту результатів моделювання

Серверна частина підтримує три окремі маршрути для формування файлів. Геопросторовий растровий результат формується за запитом `GET /api/v1/export/geotiff/{task_id}`. Усі маршрути працюють із тим самим результатом симуляції, але подають його в різних формах відповідно до подальшого призначення даних.

Завдяки цьому підсистема експорту не обмежується одним універсальним файлом, а забезпечує кілька рівнів подання результату, де кожен рядок відповідає окремому часовому кадру прогнозу, а стовпці містять його часову позначку, мінімальну й максимальну концентрації, а також площі територій, що належать до різних рівнів потенційного впливу.

					КвРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Це дозволяє використовувати CSV не лише як архівний файл, а і як основу для додаткових обчислень, побудови графіків, порівняння різних запусків або подальшого аналізу в електронних таблицях і статистичних середовищах. PDF-експорт призначений для компактного підсумкового представлення результатів моделювання у вигляді завершеного звіту. На відміну від CSV, він не орієнтований на машинну обробку значень, а формує документ, зручний для перегляду, передавання й включення до матеріалів аналізу.

У PDF передбачено подання параметрів сценарію, базових характеристик виконаної задачі, інформації про часові кадри, метрик моделювання та узагальнених відомостей щодо зон потенційного впливу. У деталізованому описі реалізації також закладено можливість додавання графічних підсумків, зокрема динаміки концентрацій і площ зон у часі, якщо це підтримується поточним режимом формування документа. Завдяки такій структурі PDF виконує роль зрозумілого підсумкового матеріалу, який не потребує додаткового відкриття бази даних чи безпосередньої роботи з вебінтерфейсом. Важливе місце займає GeoTIFF, оскільки цей формат зберігає просторову природу результатів моделювання. Його призначення полягає в передаванні растрового поля концентрацій до геоінформаційних систем для подальшого аналізу, накладання на картографічні шари та використання разом з іншими просторовими даними.

Реалізація експорту також завершує загальний користувацький цикл роботи із системою, де користувач створює або обирає сценарій, далі запускає розрахунок і переглядає просторово-часову динаміку забруднення, після чого отримує підсумкові дані в одному з доступних форматів.

Отже, у розробленій інформаційній системі реалізовано повноцінний механізм експорту результатів моделювання у форматах CSV, PDF і GeoTIFF. Кожен із них виконує окрему функцію, CSV забезпечує числове подання динаміки прогнозу, PDF формує завершений звіт для перегляду й документування, а GeoTIFF зберігає просторові поля концентрацій для роботи в геоінформаційних системах.

					КвРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.6. Висновки до третього розділу

Розглянуто програмну реалізацію інформаційної системи моніторингу та моделювання поширення атмосферних забруднень, а також перевірено узгодженість її основних функціональних частин. Реалізована серверна частина забезпечує приймання сценарних параметрів, запуск прогнозного розрахунку, поетапне формування часових кадрів, передавання поточного стану задачі через WebSocket і підготовку результатів для подальшого використання в клієнтському інтерфейсі.

У практичній реалізації також враховано роботу сенсорного вузла, який може формувати локальні показники стану повітряного середовища. Для цього в структурі комплексу передбачено використання Plantower PMS5003 для контролю PM2.5, анемометра RS-FSJT-N01 для визначення швидкості вітру та сенсора BME280 для реєстрації температури, вологості й атмосферного тиску. Дані, зчитані мікроконтролером ESP32, передаються до програмної частини, де можуть зберігатися, відображатися на карті та використовуватися як доповнення до результатів прогнозного моделювання.

Завдяки модульній організації backend-рівня окремі напрями оброблення, зокрема сценарії, погодні дані, розрахунок концентрацій, геопросторова інтерпретація й експорт, працюють у спільній логіці, але залишаються структурно розмежованими. Описана організація збереження даних дозволяє фіксувати як вихідні сценарії, так і результати кожного окремого запуску моделювання. Використання бази даних SQLite, моделей SQLAlchemy та JSON-структури прогнозних кадрів забезпечило зручне накопичення значного обсягу різномірної інформації без ускладнення загальної схеми системи.

Завдяки чому користувач може повертатися до створених сценаріїв, повторно переглядати сформовані результати, працювати з часовою динамікою прогнозу та використовувати збережені дані для експорту в потрібному форматі.

					КвРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Клієнтський вебінтерфейс реалізовано як цілісне середовище роботи з модельними сценаріями, де на сторінці карти поєднано введення параметрів джерела, запуск прогнозування, картографічне подання результатів, перегляд погодних умов окремого кадру, керування часовою послідовністю та аналіз зон потенційного впливу. Це дозволяє користувачу проходити повний цикл роботи в межах одного екранного простору, не звертаючись безпосередньо до програмних АРІ або внутрішніх структур даних. Демонстрація системи на сценарії лісової пожежі показала, що всі реалізовані модулі взаємодіють послідовно й забезпечують формування наочного просторово-часового результату. Крім базового відображення прогнозу, інтерфейс підтримує інтерактивну роботу з часовими зрізами моделювання, що дає змогу аналізувати зміну концентрацій у динаміці та оцінювати тенденції поширення забруднення. Реалізовані механізми візуального виділення небезпечних зон підвищують зручність сприйняття результатів і сприяють швидкому прийняттю рішень в умовах обмеженого часу. Також система забезпечує централізоване збереження параметрів сценаріїв та результатів обчислень, що створює основу для подальшого накопичення статистики й проведення порівняльного аналізу різних подій. Отже, перевірка працездатності підтвердила коректність ключових програмних механізмів, зокрема поведінки розрахункового модуля, формування погодного профілю, побудови аналітичних показників, відображення результатів на карті та узгодженої роботи повного користувачького сценарію.

					КВРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

За результатами виконаних теоретичних і практичних досліджень розроблено інформаційну систему моніторингу та моделювання поширення атмосферних забруднень, призначену для аналізу сценаріїв виникнення димових, пилових і промислових викидів з урахуванням погодних умов.

Реалізоване рішення забезпечує формування сценарію забруднення, отримання метеорологічних даних, розрахунок поширення забруднювальної хмари, визначення зон потенційного впливу, картографічне подання результатів, перегляд динаміки прогнозу та експорт підсумкової інформації в окремі файли.

У першому розділі проведено аналіз предметної області моделювання атмосферних забруднень, розглянуто небезпеку поширення дрібнодисперсних частинок, диму та аерозольних домішок, а також обґрунтовано актуальність розроблення системи, здатної оцінювати просторовий розвиток забруднювальної хмари. Проаналізовано сучасні підходи до прогнозування перенесення домішок, зокрема можливості відомих систем і моделей атмосферного розсіювання, після чого сформульовано задачу кваліфікаційної роботи. У результаті визначено, що для локального сценарного аналізу доцільним є підхід, який поєднує прийнятну швидкість розрахунку, урахування метеорологічних умов і наочне подання результатів для користувача.

У другому розділі сформовано проєктну основу інформаційної системи, та визначено загальну логіку її функціонування, спроектовано архітектуру програмного забезпечення, описано алгоритм моделювання поширення забруднювальної хмари, підсистему погодного забезпечення та сценарного аналізу. Також розглянуто програмну архітектуру інформаційної складової і структуру сенсорного вузла моніторингу, який забезпечує надходження контрольних показників стану повітряного середовища. Запропоновані рішення дали змогу поєднати розрахунковий модуль, погодні дані, сенсорний контур,

					КвРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

просторову обробку та механізми подальшої візуалізації в межах однієї послідовної системної структури.

У третьому розділі реалізовано основні програмні компоненти системи та перевірено їхню працездатність. Серверну частину побудовано на FastAPI, а клієнтський вебінтерфейс реалізовано засобами React і TypeScript із використанням Leaflet для роботи з картою. Створено механізм запуску симуляцій, передачу прогресу через WebSocket, збереження сценаріїв і результатів у базі даних SQLite, формування прогнозів, відображення зон потенційного впливу та експорт результатів у різних форматах.

Під час тестування підтверджено коректність взаємодії між усіма компонентами системи, стабільність обробки даних та правильність відображення результатів моделювання. Проведені випробування показали, що розроблене програмне забезпечення забезпечує оперативне виконання розрахунків, наочну візуалізацію отриманих результатів і зручну взаємодію користувача з системою. Використання сучасних вебтехнологій дозволило створити масштабовану архітектуру, яка може бути розширена додатковими модулями аналізу, новими математичними моделями та інтеграцією із зовнішніми джерелами метеорологічних даних.

Отже, у кваліфікаційній роботі створено завершену інформаційну систему, яка дозволяє виконувати сценарне моделювання поширення атмосферних забруднень, враховувати погодні умови, подавати результати у зрозумілій картографічній формі та готувати їх для подальшого аналізу. Розроблена система може бути використана як інструмент підтримки прийняття рішень під час оцінювання екологічних ризиків, прогнозування наслідків аварійних викидів та планування заходів із захисту населення і навколишнього середовища.

,

					КВРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. World Health Organization. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva : World Health Organization, 2021. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228> (дата звернення: 12.04.2026).
2. World Health Organization. Wildfires. URL: <https://www.who.int/health-topics/wildfires> (дата звернення: 12.04.2026).
3. European Environment Agency. Harm to human health from air pollution in Europe: burden of disease status, 2025. URL: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/harm-to-human-health-from-air-pollution-burden-of-disease-status-2025> (дата звернення: 12.04.2026).
4. Savenets M., Osadchy V., Oreshchenko A., Pysarenko L. Air Quality Changes in Ukraine during the April 2020 Wildfire Event. *Geographica Pannonica*. 2020. Vol. 24, No. 4. P. 271–284. DOI: <https://doi.org/10.5937/gp24-27436> (дата звернення: 12.04.2026).
5. Савенець М. В., Осадчий В. І., Орещенко А. В. Лісові пожежі квітня 2020 року та зумовлені ними зміни якості атмосферного повітря в Україні. *Вісник Національної академії наук України*. 2020. № 5. С. 80–89. DOI: <https://doi.org/10.15407/vism2020.05.080> (дата звернення: 12.04.2026).
6. Kovalets I. V., Koval S. D., Maistrenko S. Ya., Synkevych R. O., Khurtsilava K. V. Simulation of Air Pollution in Kyiv Caused by Wildfires in the Fall of 2024. *Science and Innovation*. 2026. Vol. 22, No. 1. P. 32–40. DOI: <https://doi.org/10.15407/scine22.01.032> (дата звернення: 12.04.2026).
7. Baró R., Maurer C., Brioude J., Arnold D., Hirtl M. The Environmental Effects of the April 2020 Wildfires and the Cs-137 Re-Suspension in the Chernobyl Exclusion Zone: A Multi-Hazard Threat. *Atmosphere*. 2021. Vol. 12,

					КВРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

No. 4. Article 467. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos12040467> (дата звернення: 12.04.2026).

8. Kabylda A., Gendelis S., Kravets T., Galyanchuk I., Vakal A. Trajectory of Air Quality in Ukraine. *International Journal of Environmental Studies*. 2024. Vol. 81, No. 1. P. 239–249. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2314854> (дата звернення: 12.04.2026).

9. U.S. Environmental Protection Agency. Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications. EPA-454/R-99-005. Research Triangle Park : U.S. Environmental Protection Agency, 2000. URL: https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/mmgrma_0.pdf (дата звернення: 12.04.2026).

10. NOAA Air Resources Laboratory. READY Tools – Pasquill Stability Classes. URL: <https://www.ready.noaa.gov/READYpgclass.php> (дата звернення: 12.04.2026).

11. World Meteorological Organization. Dispersion Models. URL: <https://community.wmo.int/site/knowledge-hub/programmes-and-initiatives/emergency-response-activities-era/dispersion-models> (дата звернення: 12.04.2026).

12. Martorana F., Giardina M., Buffa P., Beccali M., Zammuto C. A New Tool to Process Forecast Meteorological Data for Atmospheric Pollution Dispersion Simulations of Accident Scenarios: A Sicily-Based Case Study. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. 2021. Vol. 9, No. 3. Article 1080377. DOI: <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d8.0377> (дата звернення: 12.04.2026).

13. U.S. Environmental Protection Agency. Air Quality Dispersion Modeling. URL: <https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling> (дата звернення: 12.04.2026).

14. NOAA Air Resources Laboratory. HYSPLIT. URL: <https://www.arl.noaa.gov/hysplit/> (дата звернення: 12.04.2026).

					КВРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

15. Met Office. Met Office Dispersion Model. URL: <https://www.metoffice.gov.uk/research/approach/modelling-systems/dispersion-model> (дата звернення: 12.04.2026).

16. NOAA Air Resources Laboratory. HYSPLIT-Based Smoke Forecasting System. URL: <https://www.arl.noaa.gov/hysplit/smoke-forecasting/> (дата звернення: 12.04.2026).

17. Environment and Climate Change Canada. Air Quality Model Forecast Maps. URL: <https://weather.gc.ca/firework/> (дата звернення: 12.04.2026).

18. U.S. Environmental Protection Agency. 2024 Appendix W Final Rule. URL: <https://www.epa.gov/scram/2024-appendix-w-final-rule> (дата звернення: 12.04.2026).

19. Micallef A., Micallef C. The Gaussian Plume Model Equation for Atmospheric Dispersion Corrected for Multiple Reflections at Parallel Boundaries: A Mathematical Rewriting of the Model and Some Numerical Testing. Sci. 2024. Vol. 6, No. 3. Article 48. DOI: <https://doi.org/10.3390/sci6030048> (дата звернення: 12.04.2026).

20. International Atomic Energy Agency. Atmospheric Dispersion Models for Application in Relation to Radionuclide Releases – A Review. IAEA-TECDOC-379. Vienna : IAEA, 1986. URL: <https://www.iaea.org/publications/634/atmospheric-dispersion-models-for-application-in-relation-to-radionuclide-releases-a-review> (дата звернення: 12.04.2026).

21. U.S. Environmental Protection Agency. Air Quality Dispersion Modeling – Preferred and Recommended Models. URL: <https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-preferred-and-recommended-models> (дата звернення: 12.04.2026).

22. U.S. Environmental Protection Agency. User's Guide for the AMS/EPA Regulatory Model (AERMOD). EPA-454/B-24-007. Research Triangle Park : U.S. Environmental Protection Agency, 2024. URL:

https://gaftp.epa.gov/aqmg/SCRAM/models/preferred/aermod/aermod_userguide.pdf (дата звернення: 12.04.2026).

23. Cimorelli A. J., Perry S. G., Venkatram A. et al. AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Applications. Part I: General Model Formulation and Boundary Layer Characterization. *Journal of Applied Meteorology*. 2005. Vol. 44, No. 5. P. 682–693. DOI: <https://doi.org/10.1175/JAM2227.1> (дата звернення: 12.04.2026).

24. Perry S. G., Cimorelli A. J., Paine R. J. et al. AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Applications. Part II: Model Performance against 17 Field Study Databases. *Journal of Applied Meteorology*. 2005. Vol. 44, No. 5. P. 694–708. DOI: <https://doi.org/10.1175/JAM2228.1> (дата звернення: 12.04.2026).

25. Scire J. S., Strimaitis D. G., Yamartino R. J. A User's Guide for the CALPUFF Dispersion Model. Version 5. Concord : Earth Tech, Inc., 2000. URL: https://calpuff.org/calpuff/download/CALPUFF_UsersGuide.pdf (дата звернення: 12.04.2026).

26. Stein A. F., Draxler R. R., Rolph G. D., Stunder B. J. B., Cohen M. D., Ngan F. NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2015. Vol. 96, No. 12. P. 2059–2077. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1> (дата звернення: 12.04.2026).

27. Draxler R. R., Hess G. D. HYSPLIT4 User's Guide. *Silver Spring NOAA Air Resources Laboratory*: <https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-10/HYSPLIT4%20USER%27s%20GUIDE.pdf> (дата звернення: 12.04.2026).

28. Jones A., Thomson D., Hort M., Devenish B. The U.K. Met Office's Next-Generation Atmospheric Dispersion Model, NAME III. *Air Pollution Modeling and Its Application XVII*. Boston : Springer, 2007. P. 580–589. DOI: https://doi.org/10.1007/978-0-387-68854-1_62 (дата звернення: 12.04.2026).

					КВРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

29. Met Office. History of Numerical Weather Prediction. URL: <https://weather.metoffice.gov.uk/learn-about/how-forecasts-are-made/history-of-numerical-weather-prediction> (дата звернення: 12.04.2026).
30. Pasquill F. The Estimation of the Dispersion of Windborne Material. *Meteorological Magazine*. 1961. Vol. 90, No. 1063. P. 33–49.
31. Gifford F. A. Turbulent Diffusion-Typing Schemes: A Review. *Nuclear Safety*. 1976. Vol. 17, No. 1. P. 68–86.
32. Turner D. B. Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates: An Introduction to Dispersion Modeling. 2nd ed. Boca Raton : Lewis Publishers, 1994. 179 p.
33. Hanna S. R., Briggs G. A., Hosker R. P. Handbook on Atmospheric Diffusion. Oak Ridge : Technical Information Center, U.S. Department of Energy, 1982. DOI: <https://doi.org/10.2172/5591108> (дата звернення: 12.04.2026).
34. Snoun H., Krichen M., Chérif H. A Comprehensive Review of Gaussian Atmospheric Dispersion Models: Current Usage and Future Perspectives. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*. 2023. Vol. 8, No. 1. P. 219–242. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41207-023-00354-6> (дата звернення: 12.04.2026).
35. Holmes N. S., Morawska L. A Review of Dispersion Modelling and Its Application to the Dispersion of Particles: An Overview of Different Dispersion Models Available. *Atmospheric Environment*. 2006. Vol. 40, No. 30. P. 5902–5928. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.06.003> (дата звернення: 12.04.2026).
36. Johnson J. B. An Introduction to Atmospheric Pollutant Dispersion Modelling. *Environmental Sciences Proceedings*. 2022. Vol. 19, No. 1. Article 18. DOI: <https://doi.org/10.3390/ecas2022-12826> (дата звернення: 12.04.2026).

37. Open-Meteo. Weather Forecast API. URL: <https://open-meteo.com/en/docs> (дата звернення: 12.04.2026).
38. OpenWeather. One Call API 3.0. URL: <https://openweathermap.org/api/one-call-3> (дата звернення: 12.04.2026).
39. Copernicus Atmosphere Monitoring Service. CAMS Global Atmospheric Composition Forecasts. URL: <https://ads.atmosphere.copernicus.eu/datasets/cams-global-atmospheric-composition-forecasts> (дата звернення: 12.04.2026).
40. Rolph G., Stein A., Stunder B. Real-Time Environmental Applications and Display sYstem: READY. Environmental Modelling & Software. 2017. Vol. 95. P. 210–228. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.025> (дата звернення: 12.04.2026).
41. U.S. Environmental Protection Agency. 2024 Appendix W Final Rule. URL: <https://www.epa.gov/scram/2024-appendix-w-final-rule> (дата звернення: 12.04.2026).
42. NOAA Air Resources Laboratory. READY – Real-time Environmental Applications and Display sYstem. URL: <https://www.ready.noaa.gov/> (дата звернення: 12.04.2026).
43. Open-Meteo. Air Quality API. URL: <https://open-meteo.com/en/docs/air-quality-api> (дата звернення: 12.04.2026).
44. Chen D., Nie B., Ran Y., Wang Y., Li H., Gu W., Wang D. Improved Gaussian Plume Model for Atmospheric Dispersion Considering Buoyancy and Gravitational Deposition: The Case of Multi-Form Tritium. Applied Radiation and Isotopes. 2023. Vol. 199. Article 110892. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2023.110892> (дата звернення: 12.04.2026).
45. Upreti A., Shonkwiler K. B., Riddick S. N., Zimmerle D. J. Comparative Performance of Gaussian Plume and Backward Lagrangian Stochastic Models for Near-Field Methane Emission Estimation Using a Single Controlled

Release Experiment. Atmosphere. 2026. Vol. 17, No. 4. Article 417. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos17040417> (дата звернення: 12.04.2026).

46. Cau P., Muroli D., Satta G. et al. AERQ – A Web-Based Decision Support Tool for Air Quality Assessment. Applied Sciences. 2025. Vol. 15, No. 4. Article 2045. DOI: <https://doi.org/10.3390/app15042045> (дата звернення: 12.04.2026).

47. Naess B., Isakov V., Teysier M. Dispersion Modeling to Characterize Air Pollution Exposure from Sargassum in Martinique. Air. 2026. Vol. 4, No. 1. Article 4. DOI: <https://doi.org/10.3390/air4010004> (дата звернення: 12.04.2026).

48. U.S. Environmental Protection Agency. AERMOD Model Formulation Document. EPA-454/B-24-010. Research Triangle Park : U.S. Environmental Protection Agency, 2024. URL: https://gaftp.epa.gov/aqmg/SCRAM/models/preferred/aermod/aermod_mfd.pdf (дата звернення: 12.04.2026).

49. U.S. Environmental Protection Agency. AERMOD Model Evaluation Document. EPA-454/B-24-006. Research Triangle Park : U.S. Environmental Protection Agency, 2024. URL: https://gaftp.epa.gov/aqmg/SCRAM/models/preferred/aermod/aermod_med.pdf (дата звернення: 12.04.2026).

					КВРІСТ.220176.22.01.11 ПЗ	Арк. 74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Б

(обов'язковий)

Архітектура ПЗ для інформаційної системи

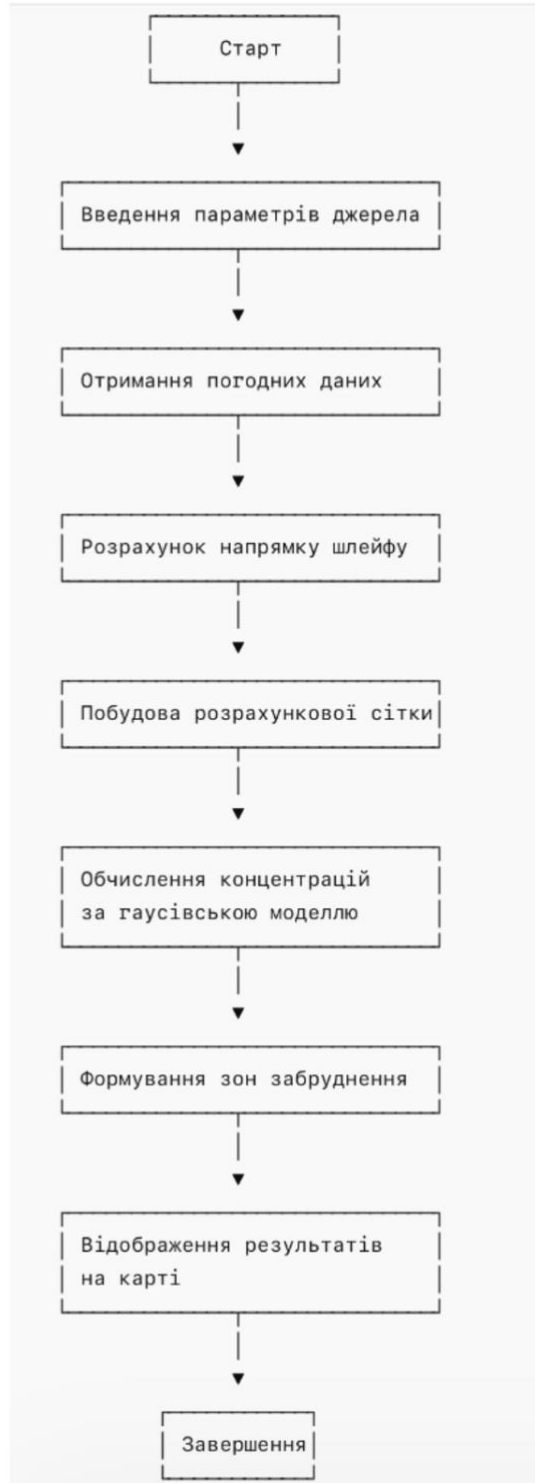


КВРІСТ. 22076.22.01.11.Е8		Літера	Міся	Максиаб
Інформаційна система моделювання поширення забруднень на основі				
Зм. / Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	
Розроб.	Нижкозю.			
Перевір.	Магистан М.			
Н. контр.				Архив 3
Т. контр.	Коваль ТМ.			ХНУ, ГР. ІСТ-22-1
Завтв.	Голубничко ІО.			

КВРІСТ. 220184.22.01.13

ДОДАТОК В (обов'язковий)

Апаратне забезпечення проекту



КвРІСТ. 220184.22.01.13

КвРІСТ. 220176.22.01.11.Е8		Листопад	Місяць	Максимум
Інформаційна система керування процесом розробки проекту				
Знак	Адрес	№ докум.	Підпис	Дата
Розробка	Розробка	Розробка	Розробка	Розробка
Проєкт	Проєкт	Проєкт	Проєкт	Проєкт
Н. контр.	Н. контр.	Н. контр.	Н. контр.	Н. контр.
Т. контр.	Т. контр.	Т. контр.	Т. контр.	Т. контр.
Затв.	Затв.	Затв.	Затв.	Затв.
ХНУ, ГР. ІСТ-22-1				

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Олексій НІКОЛЕНКО

Співавтор:

Назва: Інформаційна система моделювання поширення забруднень на основі аналізу погодних умов та прогнозів погоди

Експерт: Марія КАПУСТЯН

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 7.59%

Коефіцієнт подібності 2: 2.29%

Мікропробіли: 6

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2026-06-02 02:48:29.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2026-06-02

Дата

Доцент Андрій Нічепорук

експерт

Anti-Plagiarism (<http://ap.km.ua>) v-15.701

Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 7%

ID: 273036 Назва: БКР Інформаційна система моделювання поширення забруднень на основі аналізу погодних умов та прогнозів погоди Додано в БД: 2026-06-01 Автора: Олексій НІКОЛЕНКО Керівники: Марія КАПУСТЯН Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	108734	706	1879 (2%)	27 (4%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Ніколенко Олексій Віталійович

Тема: Інформаційна система моделювання поширення забруднень на основі аналізу погодних умов та прогнозів погоди

Спеціальність: 126 «Інформаційні системи та технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 65

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є моделювання поширення забруднень на основі аналізу погодних умов та прогнозів погоди

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

3. У першому розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз предметної області моделювання поширення атмосферних забруднень, досліджено сучасні методи та моделі прогнозування поширення забруднювальних речовин (AERMOD, CALPUFF, HYSPLIT, NAME), виконано аналіз існуючих інформаційних систем екологічного моніторингу та сформульовано постановку задачі розроблення інформаційної системи моделювання поширення забруднень на основі погодних умов і прогнозів погоди.

У другому розділі кваліфікаційної роботи виконано проектування інформаційної системи моніторингу та моделювання поширення атмосферних забруднень. Розроблено загальну логіку функціонування системи, спроектовано архітектуру програмного забезпечення, алгоритм моделювання поширення забруднювальних речовин, підсистему отримання та аналізу погодних даних, геопросторову підсистему візуалізації результатів, а також архітектуру кіберфізичної складової та апаратне забезпечення сенсорного вузла моніторингу стану атмосферного повітря.

У третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано програмну реалізацію інформаційної системи та перевірку її працездатності. Реалізовано серверну частину

вебінтерфейс із картографічним відображенням результатів, засоби експорту даних, а також проведено тестування системи на прикладі сценарію поширення атмосферного забруднення та виконано аналіз отриманих результатів.

4. Позитивні сторони роботи:

Робота має високу практичну цінність, оскільки розроблена інформаційна система дозволяє здійснювати прогнозування поширення атмосферних забруднень з урахуванням метеорологічних умов, візуалізувати результати на інтерактивній карті та підтримувати прийняття рішень під час виникнення екологічно небезпечних ситуацій.

5. Негативні сторони роботи:

До недоліків роботи можна віднести обмежений обсяг експериментальних досліджень із використанням реальних даних сенсорного моніторингу атмосферного повітря та необхідність подальшого вдосконалення математичної моделі поширення забруднень для підвищення точності прогнозування.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи:

Пояснювальна записка та графічні матеріали оформлені відповідно до встановлених вимог і стандартів. Матеріал викладено логічно та послідовно, графічна частина наочно відображає основні результати проектування та реалізації інформаційної системи.

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

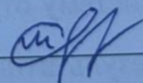
8. Інші зауваження: ~

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи)

Махуров Олександр Вікторович, доцент
кафедри комп'ютерних наук

"11" 06 2026 р.

 (підпис)

Зав. кафедри КПС
д-р. філософії Ользі ПАВЛОВІЙ

Олексій Ніколенко
ГПБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи ІСТ-22-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання спеціалізованих програмних засобів (СПЗ) StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповіщений (а). Надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних СПЗ і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються СПЗ.

Також надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в Інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

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

1 травня 2026 року



РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ

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

Назва кваліфікаційної роботи Інформаційна система моделювання поширення забруднень на основі аналізу погодних умов та прогнозів погоди

Автор Олексій НІКОЛЕНКО

Освітня програма Інформаційні системи та технології

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 126 Інформаційні системи та технології

Науковий керівник: к.т.н., доцент Марія КАПУСТЯН

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	відповідає
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	

Підтвердження:

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

- 1) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 2) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
- 3) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.
- 4) значна частина знайденого плагіату відноситься до списку використаних джерел

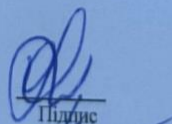
Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 8,52%; та системою Anti-Plagiarism складає 2.3%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

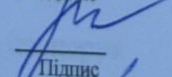
01.06.2026

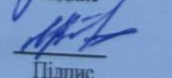
Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис


Підпис


Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Єлизавета Гнатчук
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Марія КАПУСТЯН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

