

Робота на здобуття премії Президента України для молодих учених в 2024 році



ІНФОРМАЦІЙНО-ОРІЄНТОВАНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ У ПРОДОВОЛЬЧІЙ ТА ЕКОЛОГІЧНІЙ БЕЗПЕЦІ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Автори:

ЛАКТИОНОВ Іван Сергійович – доктор технічних наук, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем НТУ «Дніпровська політехніка»

КАШТАН Віта Юріївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії НТУ «Дніпровська політехніка»

ДЯЧЕНКО Григорій Григорійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри електропривода НТУ «Дніпровська політехніка»



Науково-прикладна проблема, мета, об'єкт і предмет розробки та досліджень

Науково-прикладна проблема, у розрізі якої виконано дослідження, полягає в розробці методологічних засад і системних програмно-апаратних рішень для реалізації інформаційно-орієнтованої моделі прогнозування ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру в продовольчій та екологічній безпеці України в умовах воєнного стану. Це досягається завдяки створенню та впровадженню інтелектуалізованої інформаційної технології предикативного моніторингу критичних параметрів природних і штучних екосистем та інфраструктурних об'єктів у реальному часі з підтримкою прийняття рішень. Розроблене програмно-технічне рішення інформаційної технології базується на засобах супутникового моніторингу і бездротових мережах сенсорів та методах машинного навчання і нечіткої логіки. Оцінка поточного і передбачуваного стану аналізованих об'єктів і процесів здійснюється програмними засобами обробки розподілених у часі й просторі вимірювальних даних на основі штучного інтелекту. Таким чином, використання розробленої технології дозволяє спланувати і реалізувати алгоритм запобігання та нейтралізації загроз національним інтересам.

Мета роботи полягає в науковому обґрунтуванні шляхів зміцнення національної продовольчої та екологічної безпеки завдяки розробці й упровадженню інтелектуалізованої інформаційної технології прогнозного моніторингу стану природних і штучних екосистем та інфраструктурних об'єктів.

Об'єкт дослідження: нестационарні процеси, що протікають у інформаційних технологіях автоматичної підтримки прийняття рішень із прогнозування ризиків у продовольчій та екологічній безпеці України.

Предмет дослідження: інтелектуалізовані методи та засоби реалізації інформаційно-орієнтованої моделі прогнозування ризиків у національній продовольчій та екологічній безпеці.



Підхід, що був застосований під час вирішення науково-прикладної проблеми

В основу розробки покладено підхід, що ґрунтується на комплексному вирішенні проблеми створення і практичного використання інтелектуалізованих інформаційних технологій. Під час розробки і дослідження програмно-апаратного забезпечення інформаційно-орієнтованої моделі прогнозування ризиків у сферах національної продовольчої та екологічної безпеки було враховано сьогоденні досягнення в галузях Інтернету речей, Industry 4.0, супутникового моніторингу, аналізу великих даних, нейронних мереж, нечіткої логіки і машинного навчання. Розроблене програмно-технічне забезпечення передбачає архітектурну інтеграцію запропонованих методів і засобів побудови фізичного, мережевого і програмно-обчислювального рівнів до єдиної інформаційної технології. Ключовою відмінністю від відомих на сьогоднішній день технологій є те, що не передбачається принципова зміна архітектури використовуваних на сьогоднішній день апаратних засобів моніторингу (супутниковий і бездротовий наземний). Ця робота спрямована на розширення їх функціональних можливостей за рахунок реалізації багатозонального інтелектуального моніторингу з предикативною програмною трансформацією даних за наступним логічним ланцюгом: *розподілені в часі й просторі вимірювальні дані щодо критичних параметрів природних і штучних екосистем та інфраструктурних об'єктів – комплексна програмна обробка на основі штучного інтелекту – інформація щодо поточного і прогнозованого стану природних і штучних екосистем та інфраструктурних об'єктів – індикативні показники ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру – автоматична підтримка прийняття рішень із запобігання і нейтралізації загроз національним інтересам у сферах продовольчої та екологічної безпеки*. Впровадження зазначеної моделі дозволяє на практиці реалізувати алгоритм дій зі зміцнення національної продовольчої та екологічної безпеки в умовах воєнного стану.



Програмна реалізація комп'ютерної технології оперативного картографування порушень лісового покриву

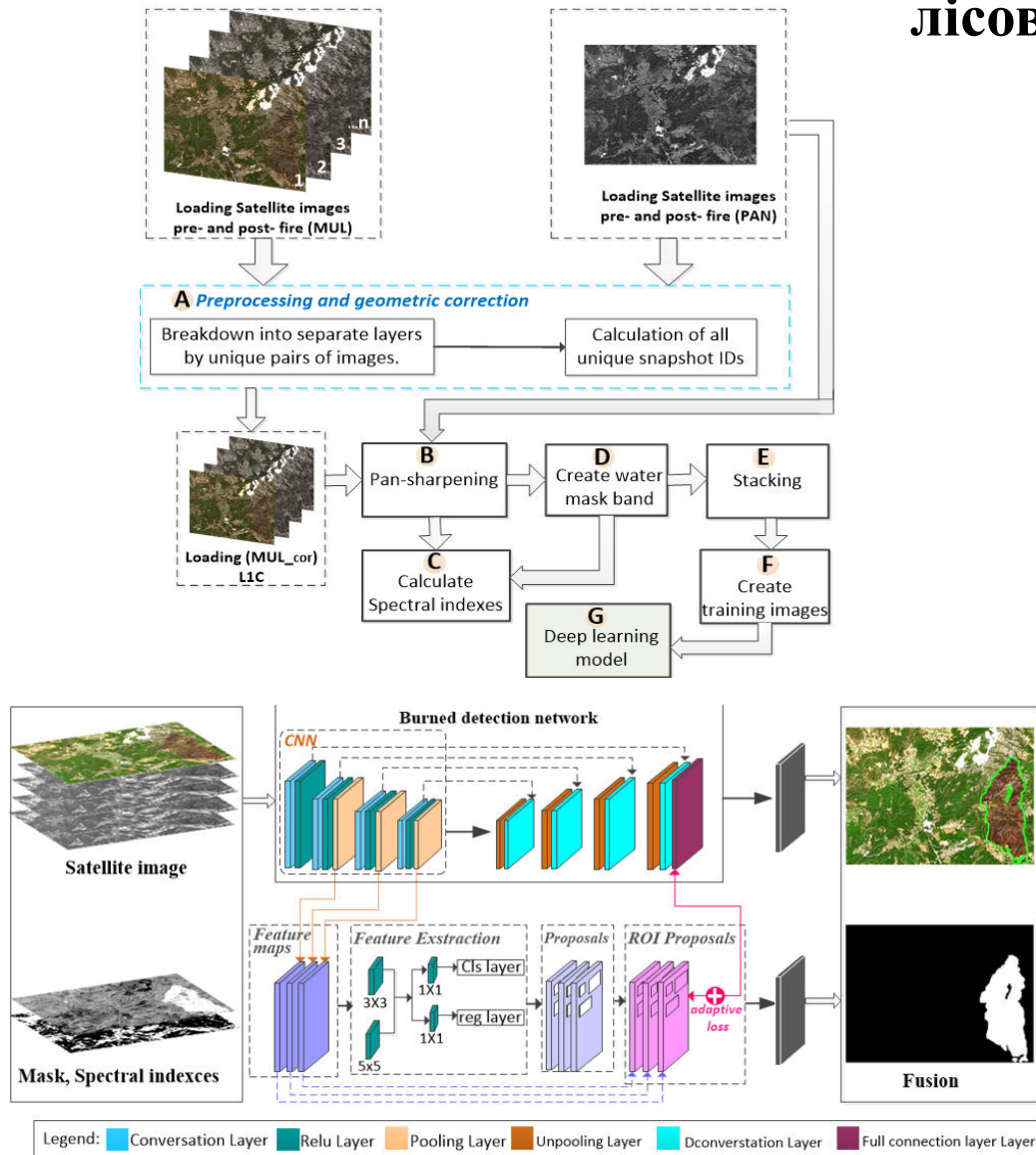


Рис. 1. Структурно-алгоритмічна реалізація методу картографування порушень лісового покриву

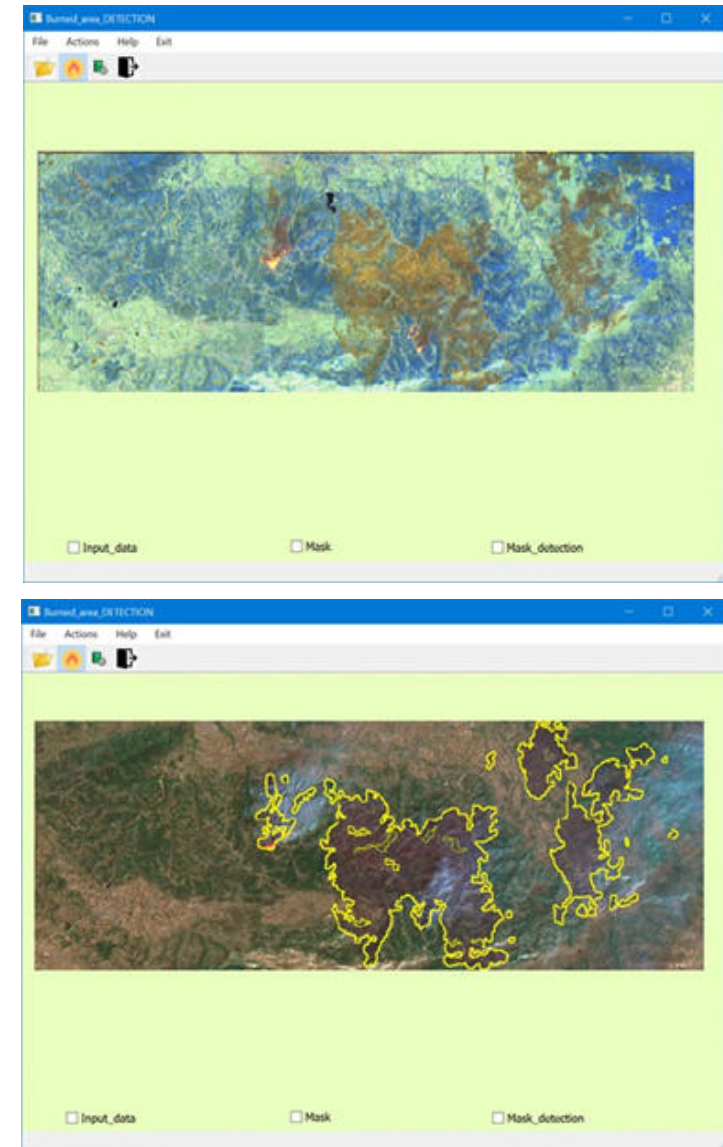


Рис. 2. Програмна реалізація комп'ютерної технології оперативного картографування порушень лісового покриву



Результати розробки методу виявлення пошкоджень будівель на цифрових знімках

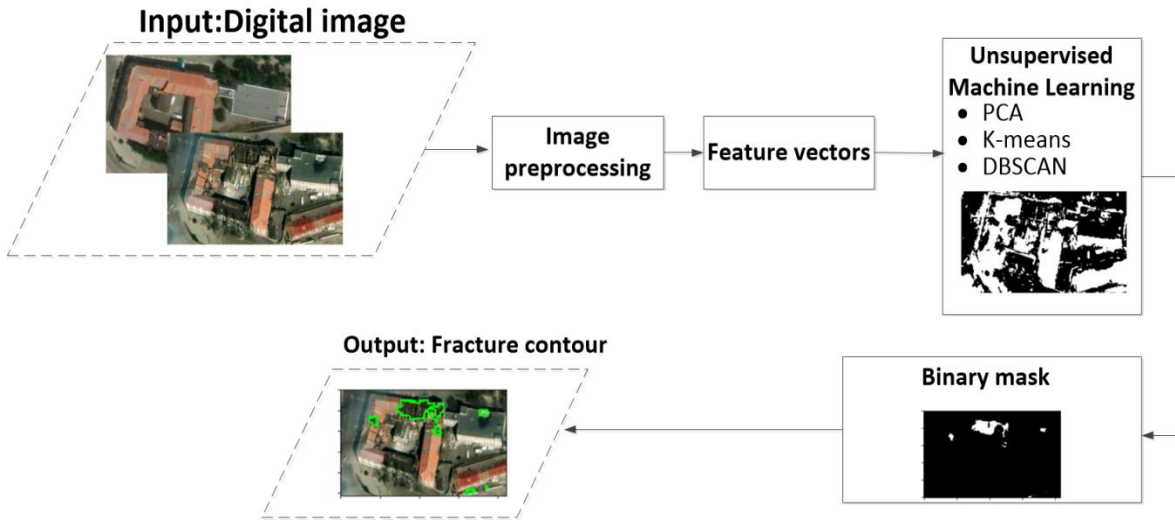


Рис. 3. Алгоритм застосування методу виявлення пошкоджень будівель на цифрових знімках

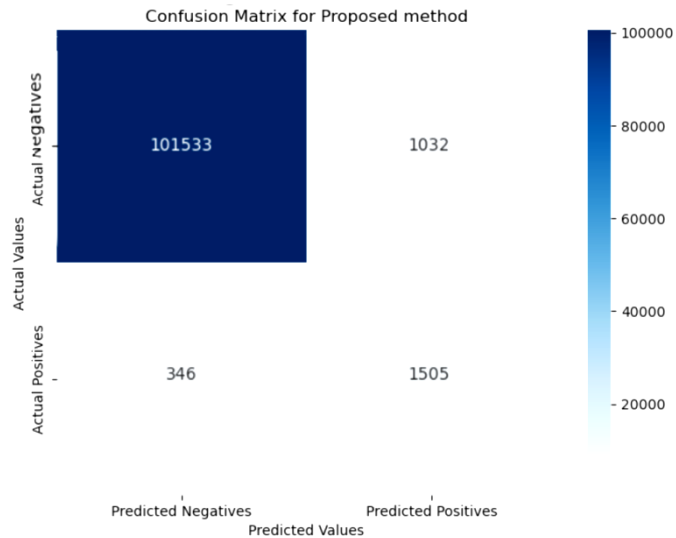


Рис. 4. Аналіз розпізнавання меж руйнувань на пошкодженнях будівель за допомогою метрики IoU

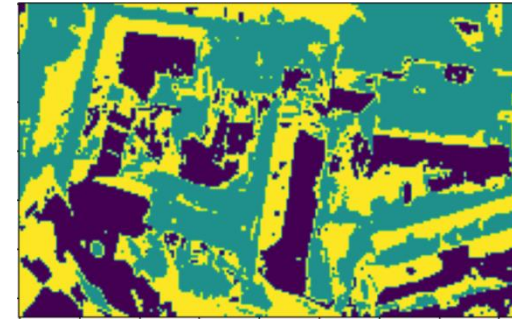


Рис. 5. Агломеративна кластеризація



Рис. 6. Кластеризація на основі щільності

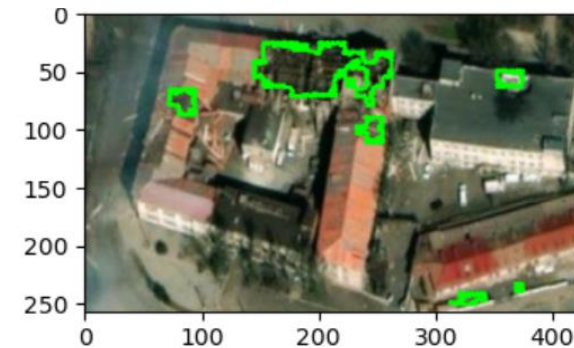


Рис. 7. Карта руйнувань на будівлях на основі запропонованого авторами алгоритму



Нейромережева модель розпізнавання об'єктів забудови на аерофотознімках

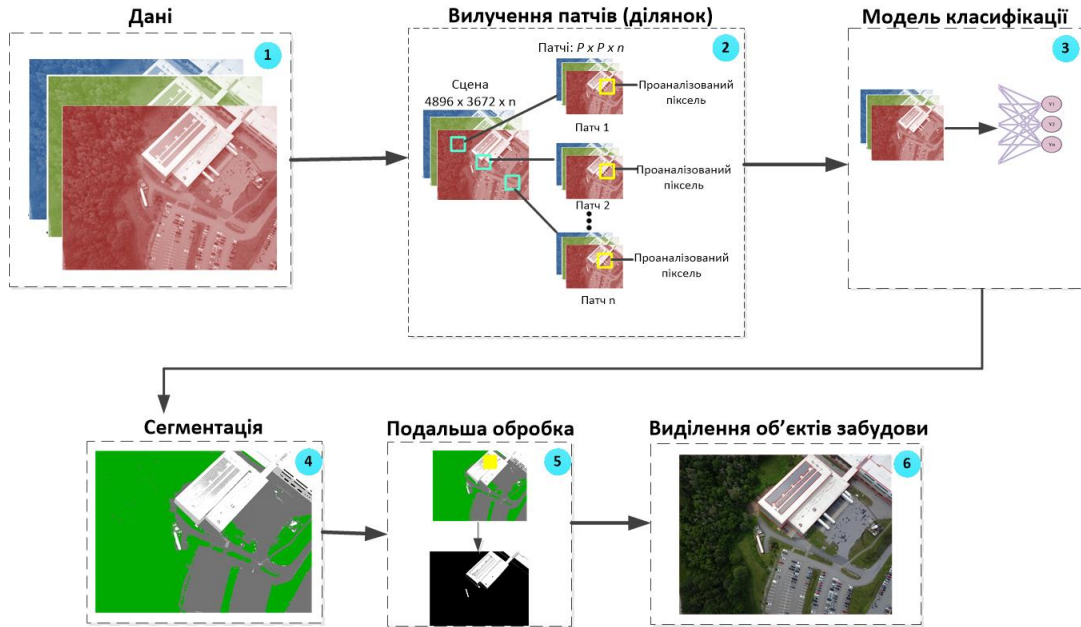


Рис. 8. Алгоритм розпізнавання об'єктів забудови на аерофотознімках

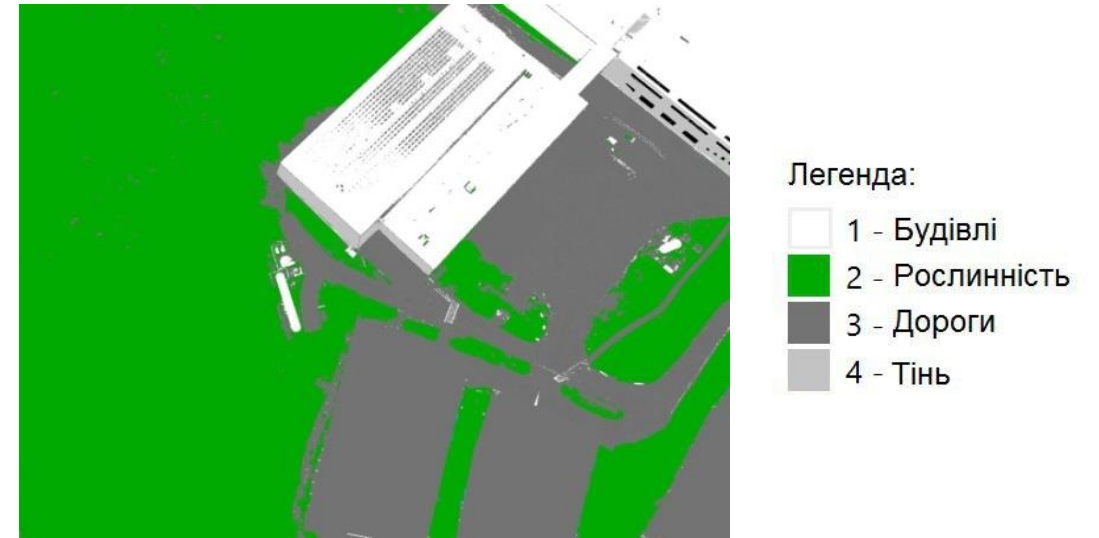


Рис. 9. Результат сегментації



Рис. 10. Результат нейромережевого виділення об'єктів забудови



Програмна реалізація геоінформаційної моделі прогнозування затоплення території Середньодніпровської ГЕС в умовах надзвичайної ситуації

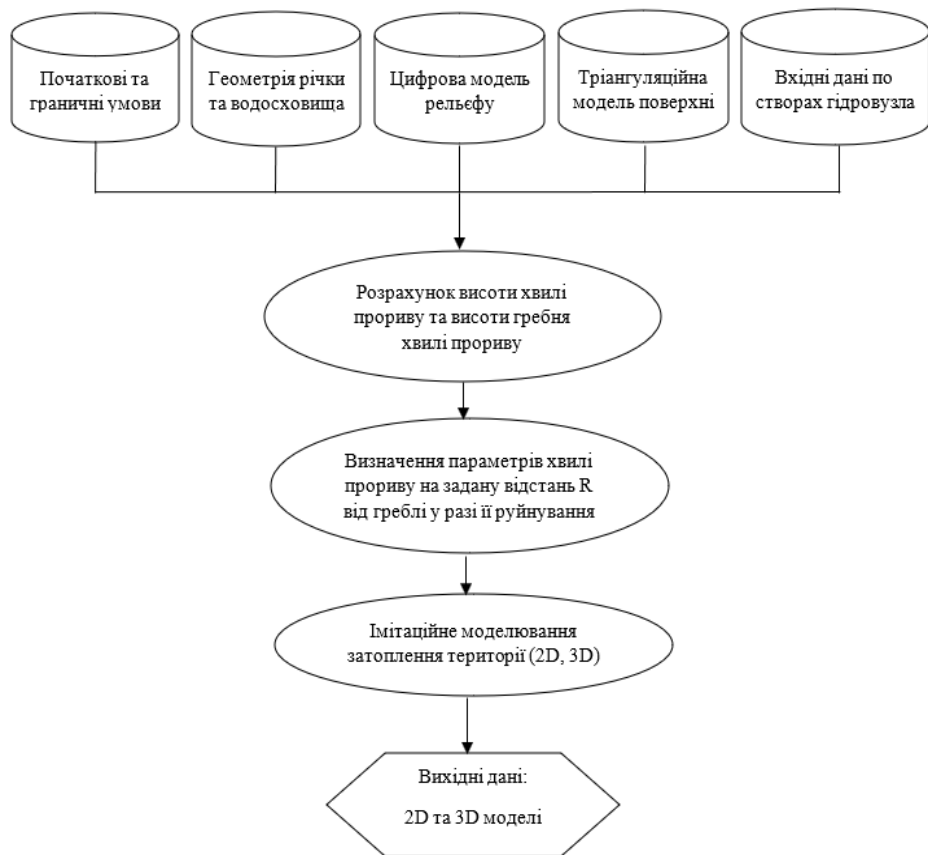


Рис. 11. Структурна схема моделі затоплення території при виникненні надзвичайних ситуацій на Середньодніпровській ГЕС

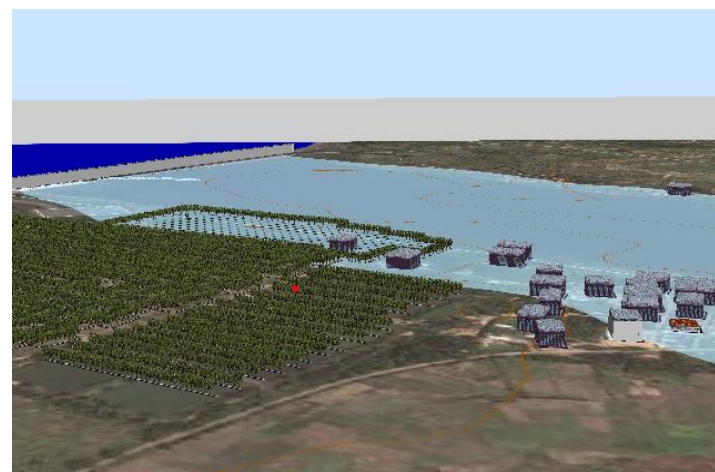


Рис. 12. Відображення тривимірної моделі зони затоплення

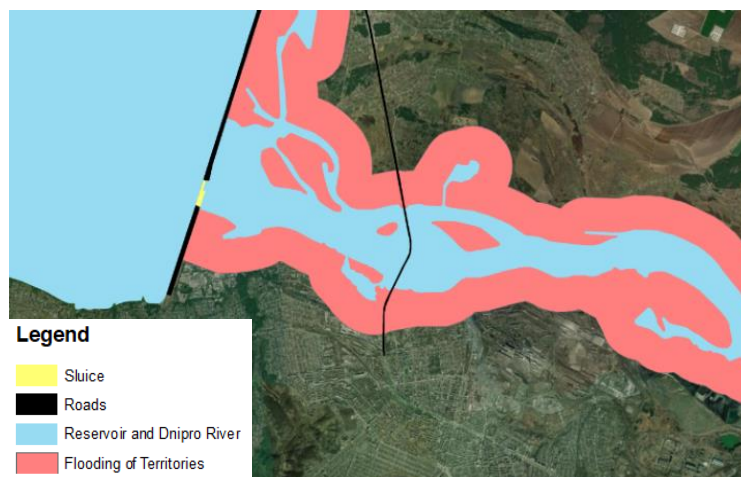


Рис. 13. Прогнозована зона затоплення на супутниковому знімку

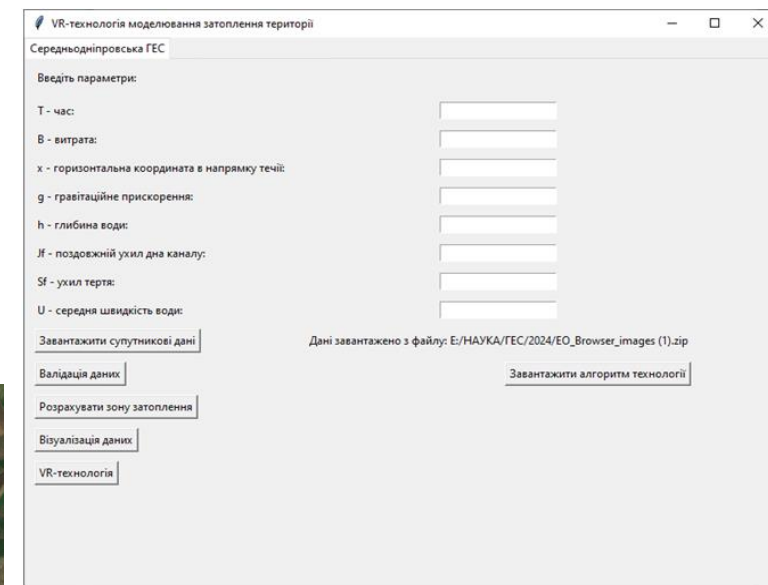


Рис. 14. Графічний інтерфейс геоінформаційної моделі прогнозування надзвичайних ситуацій в умовах Середньодніпровської ГЕС



Результати розробки методики пошуку та оцінки островів тепла на цифрових космічних знімках

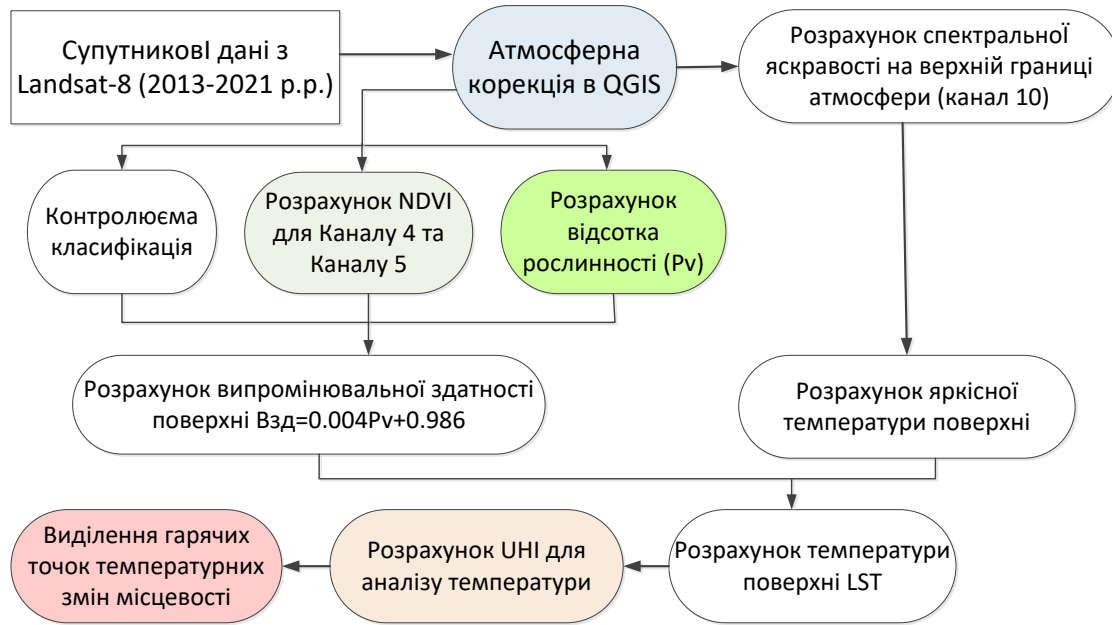
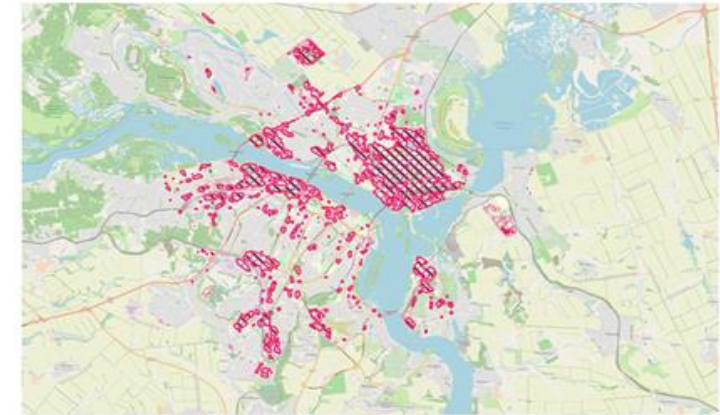
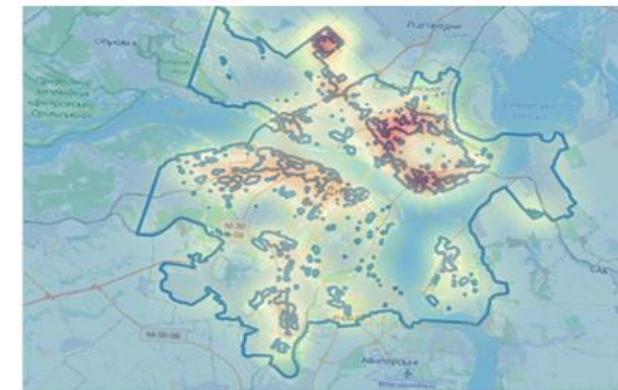


Рис. 15. Загальна схема методики пошуку та оцінки островів тепла на цифрових космічних знімках



Теплові острови:
-2013-2015 р.р. -2016-2018р.р.
-2019-2021 р.р.

Рис. 16. Теплові острови м. Дніпро за період 2013 – 2021 роки



- границі м. Дніпра - теплові острови

Температура:
висока середня низька

Рис. 17. Теплові острови м. Дніпро за період 2019 – 2021 роки

Структурно-алгоритмічна організація дослідного зразка кіберфізичної технології інтелектуалізованого моніторингу та керування мікрокліматом штучних екосистем галузі рослинництва

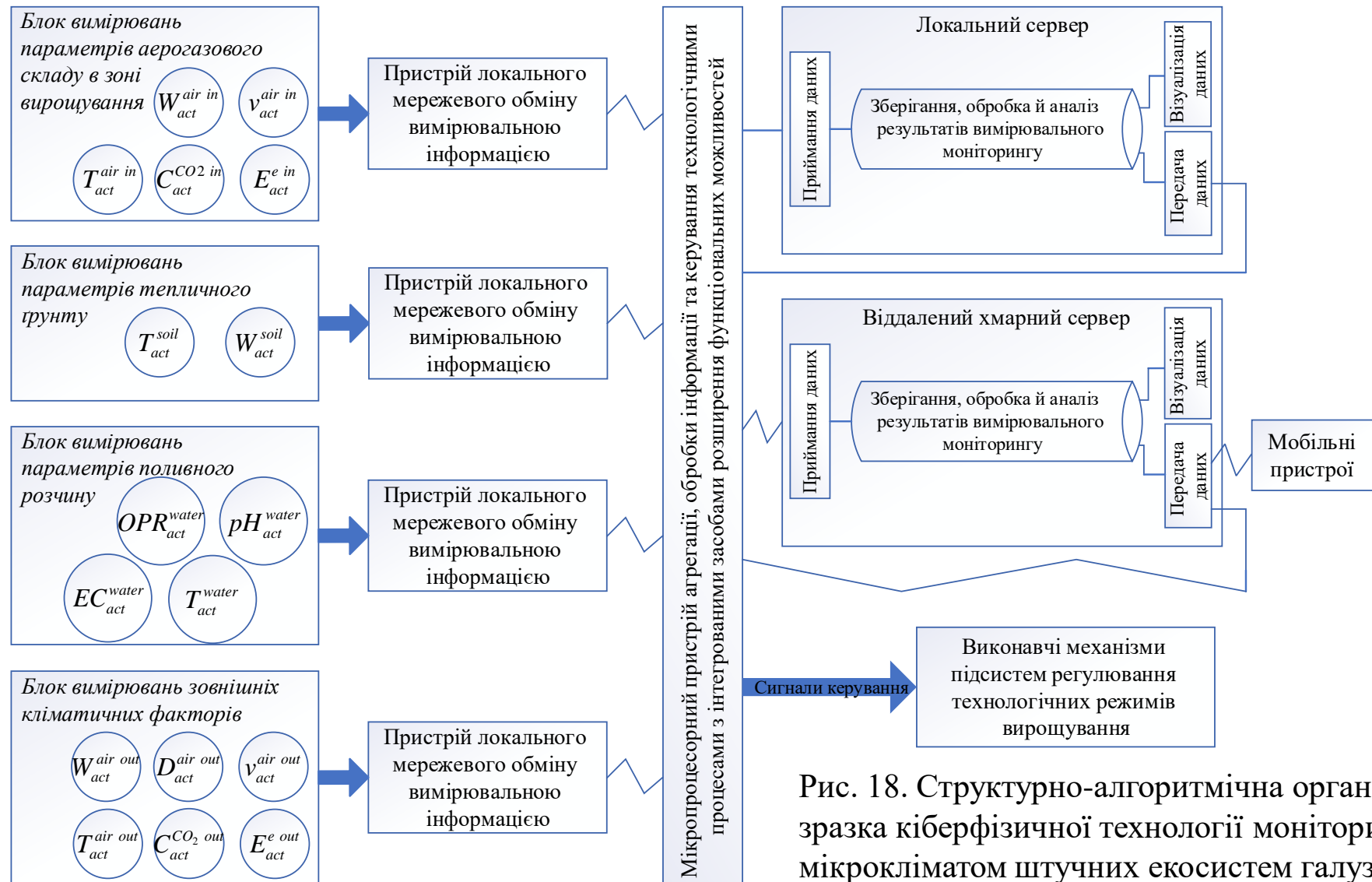


Рис. 18. Структурно-алгоритмічна організація дослідного зразка кіберфізичної технології моніторингу та керування мікрокліматом штучних екосистем галузі рослинництва

Структурно-алгоритмічна організація комп'ютеризованої технології ґрунтокліматичного моніторингу з віддаленою агрегацією результатів спостережень

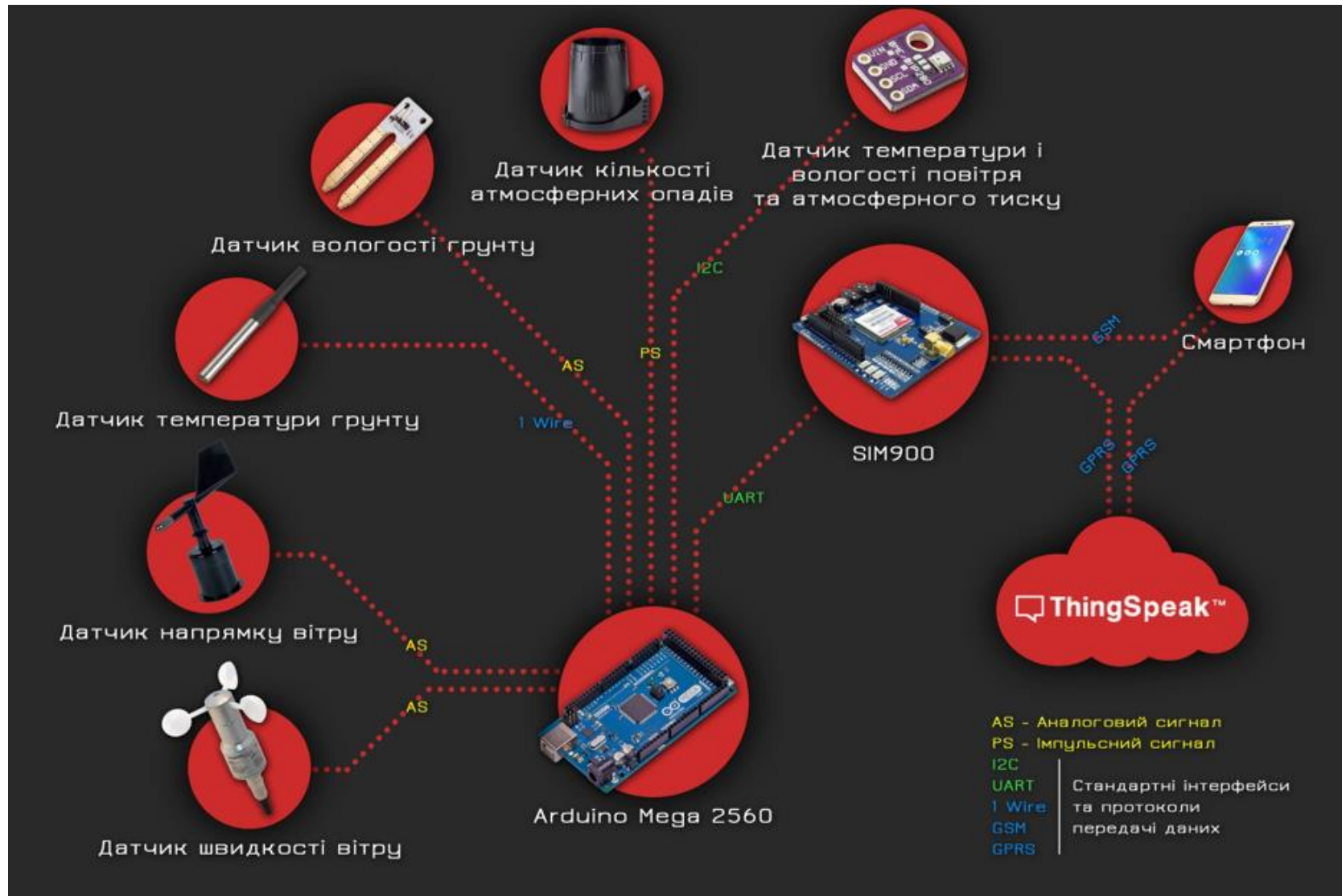


Рис. 19. Структурно-алгоритмічна організація комп'ютеризованої технології ґрунтокліматичного моніторингу з віддаленою агрегацією результатів спостережень

Імітаційна модель мережевої агрегації даних ґрунтокліматичного моніторингу

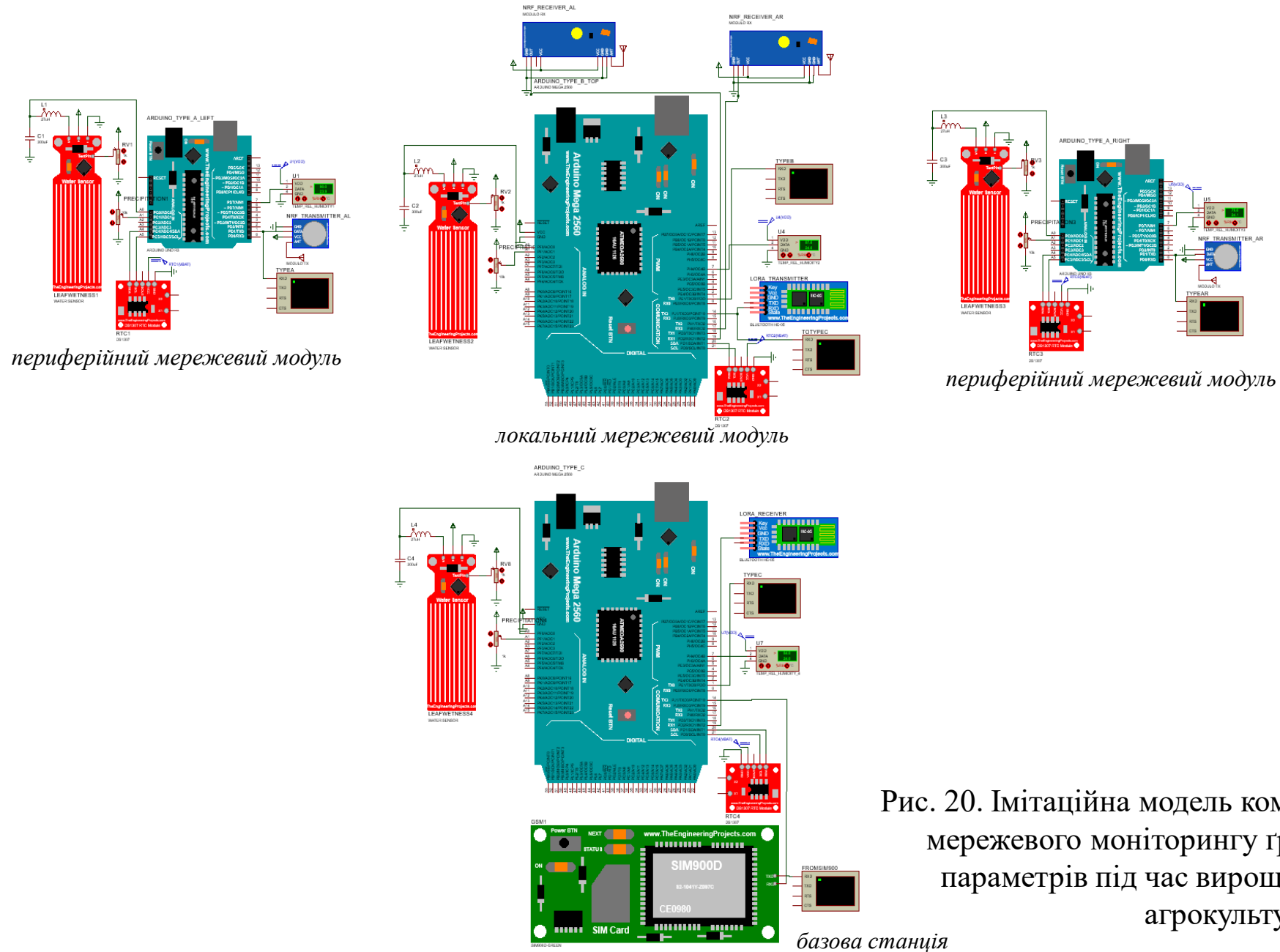
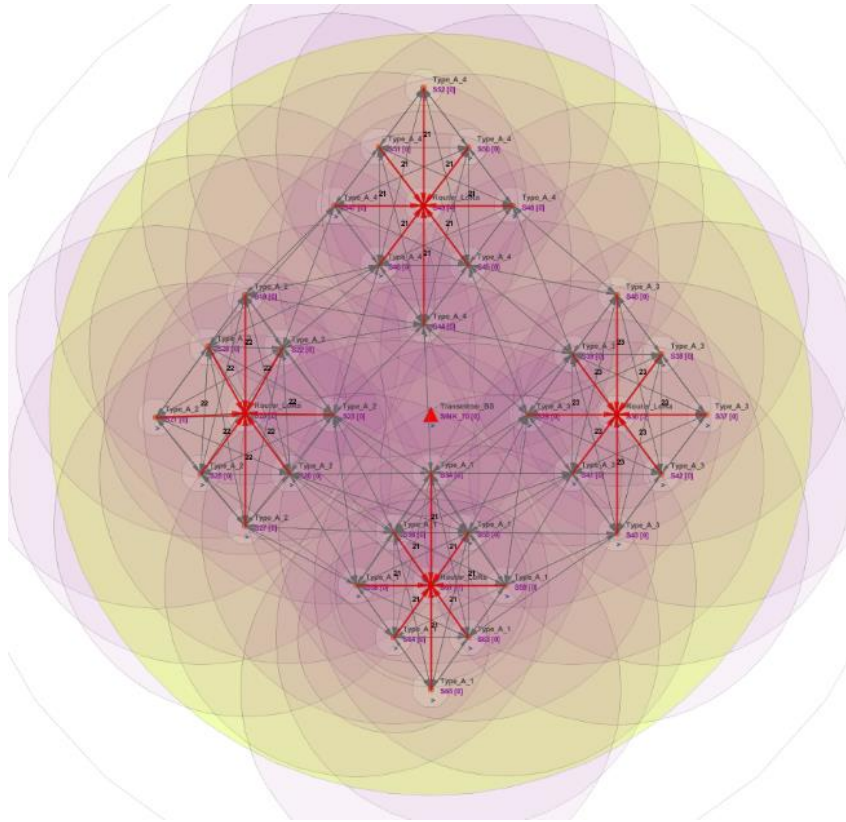


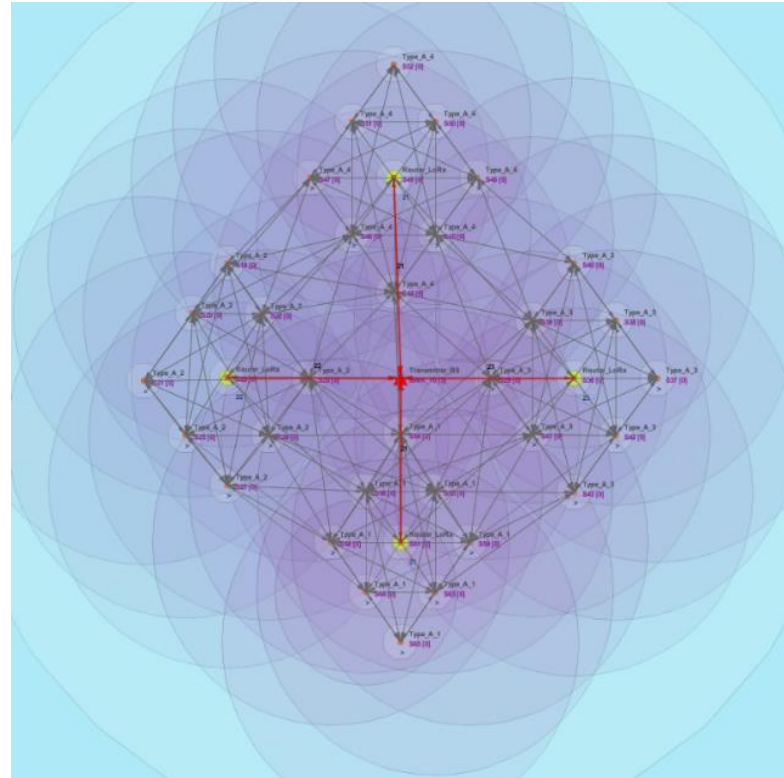
Рис. 20. Імітаційна модель комп'ютерної технології мережевого моніторингу ґрунтокліматичних параметрів під час вирощування польових агрокультур



Результати комп'ютерного експерименту щодо оцінки адекватності моделі мережевої агрегації даних ґрунтокліматичного моніторингу



а) локальний обмін
вимірювальними даними



б) глобальний обмін
вимірювальними даними

Virtual Terminal - TYPEC

```
TYPE C NODE TEST PROGRAM
Initializing SIM900...
DS1307 configured
Running...
Parsing...
from TypeBTOP
&;NODE_TOP_B;24.0;85;2.7;60;2023-08-11;11:00:05;&

Node ID: NODE_TOP_B
Temperature: 24.0
Relative Humidity: 85
Precipitation: 2.7
Leaf Wetness: 60
Date: 2023-08-11
Time: 11:00:05

Ok, Time = 11:00:09, Date (D/M/Y) = 11/8/2023
Temperature (C): 24.0
Relative Humidity (X): 84
Precipitation (mm): 2.6
Leaf Wetness (min): 60
Sending data via GSM...
```

Virtual Terminal - FROMSIM900

```
AT
OK
AT+CMGF=1
AT+CMGS="+38(0XX)XXX-XX-XX"
ANFIS out: 83.08
```

в) результати мережевого обміну
вимірювальними даними
та інформаційними повідомленнями

Рис. 21. Результати комп'ютерного експерименту щодо оцінки адекватності моделі мережевої агрегації даних ґрунтокліматичного моніторингу



Нейро-нечітка модель прогнозування вірогідності виникнення хвороб зернових агрокультур

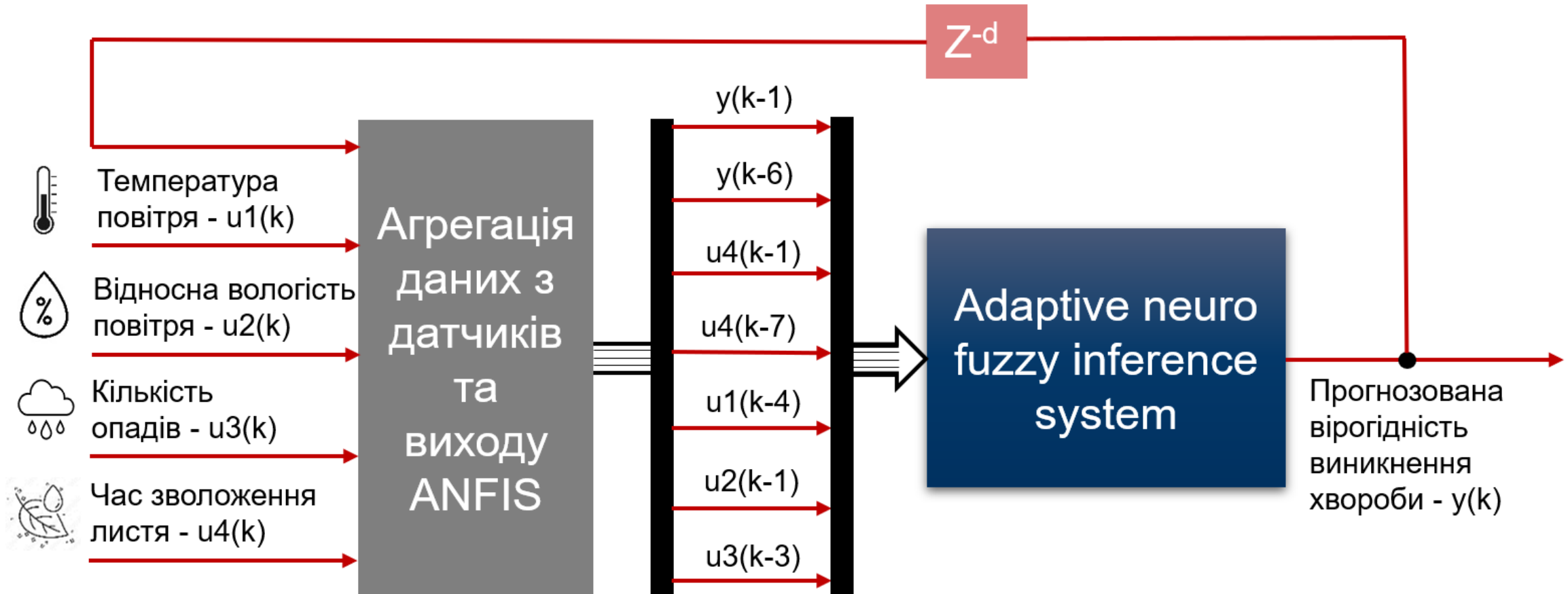
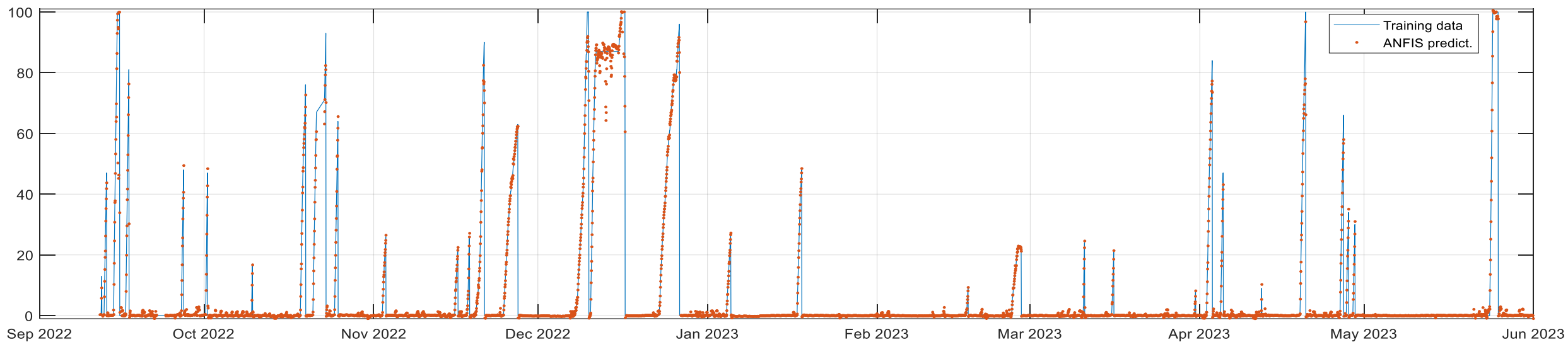


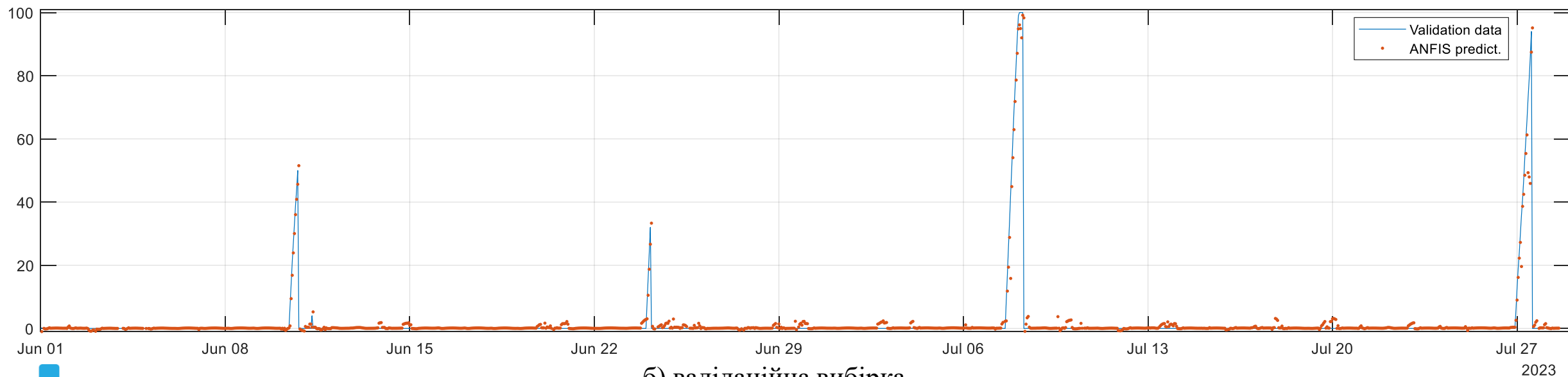
Рис. 22. Структурно-алгоритмічна організація ANFIS-моделі прогнозування вірогідності появи хвороб зернових агрокультур



Результати прогнозування появи хвороби Fusarium Head Blight



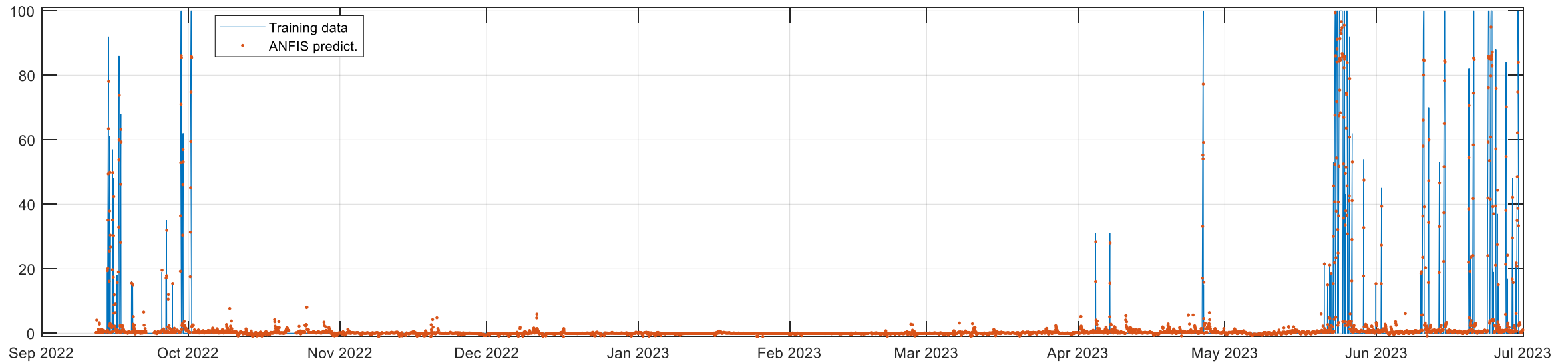
а) тренувальна вибірка



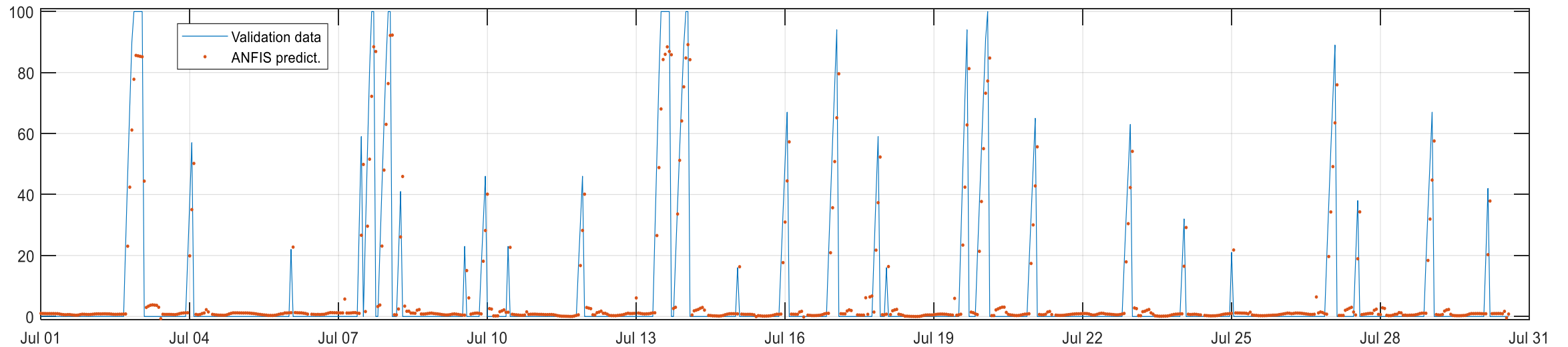
б) валідаційна вибірка

Рис. 23. Результати комп'ютерного експерименту прогнозування вірогідності появи Fusarium Head Blight

Результати прогнозування появи хвороби Southern Corn Leaf Blight



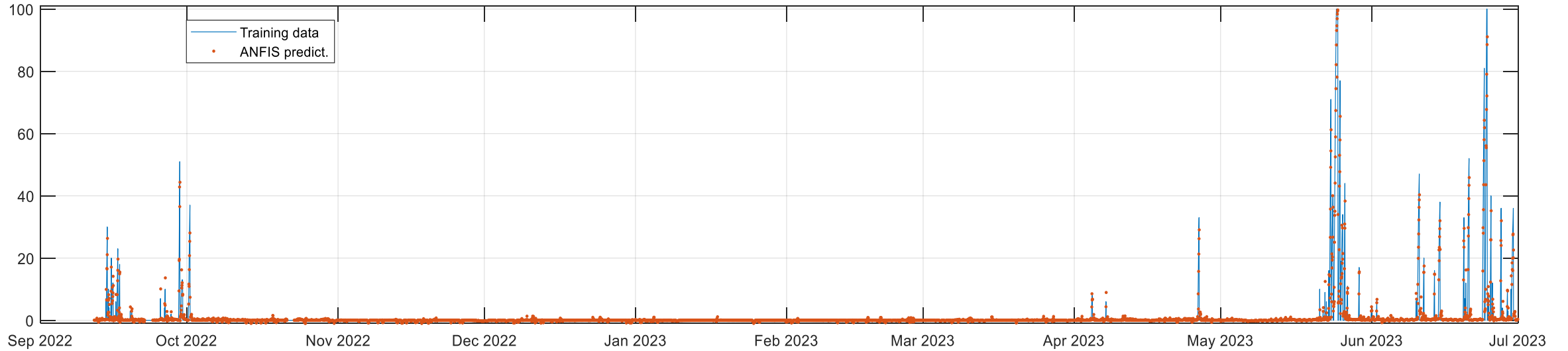
а) тренувальна вибірка



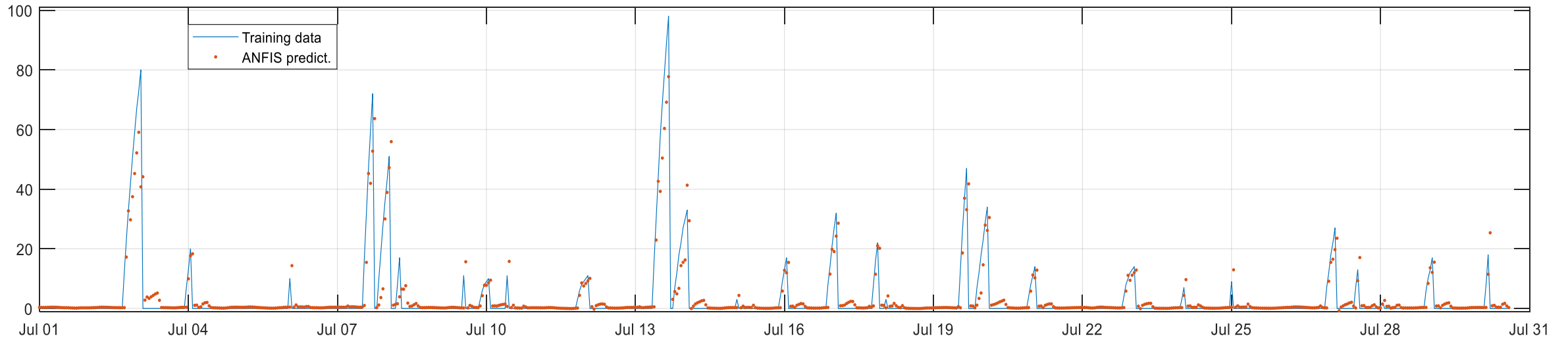
б) валідаційна вибірка

Рис. 24. Результати комп'ютерного експерименту прогнозування вірогідності появи Southern Corn Leaf Blight

Результати прогнозування появи хвороби Northern Corn Leaf Blight



а) тренувальна вибірка



б) валідаційна вибірка

Рис. 25. Результати комп'ютерного експерименту прогнозування вірогідності появи Northern Corn Leaf Blight

Результати тестування програмної компоненти прогнозування появи хвороб зернових культур для різних агрокліматичних зон України

Тип ML алгоритму	Північний степ	Лісостеп
Лінійна регресія	$R^2=0,996$; RMSE=1,006; MAE=0,331	$R^2=0,986$; RMSE=2,33; MAE=0,553
Нейронна мережа	$R^2=0,986$; RMSE=2,09; MAE=0,83	$R^2=0,976$; RMSE=3,09; MAE=0,74
Випадковий ліс	$R^2=0,997$; RMSE=0,88; MAE=0,212	$R^2=0,995$; RMSE=1,374; MAE=0,206

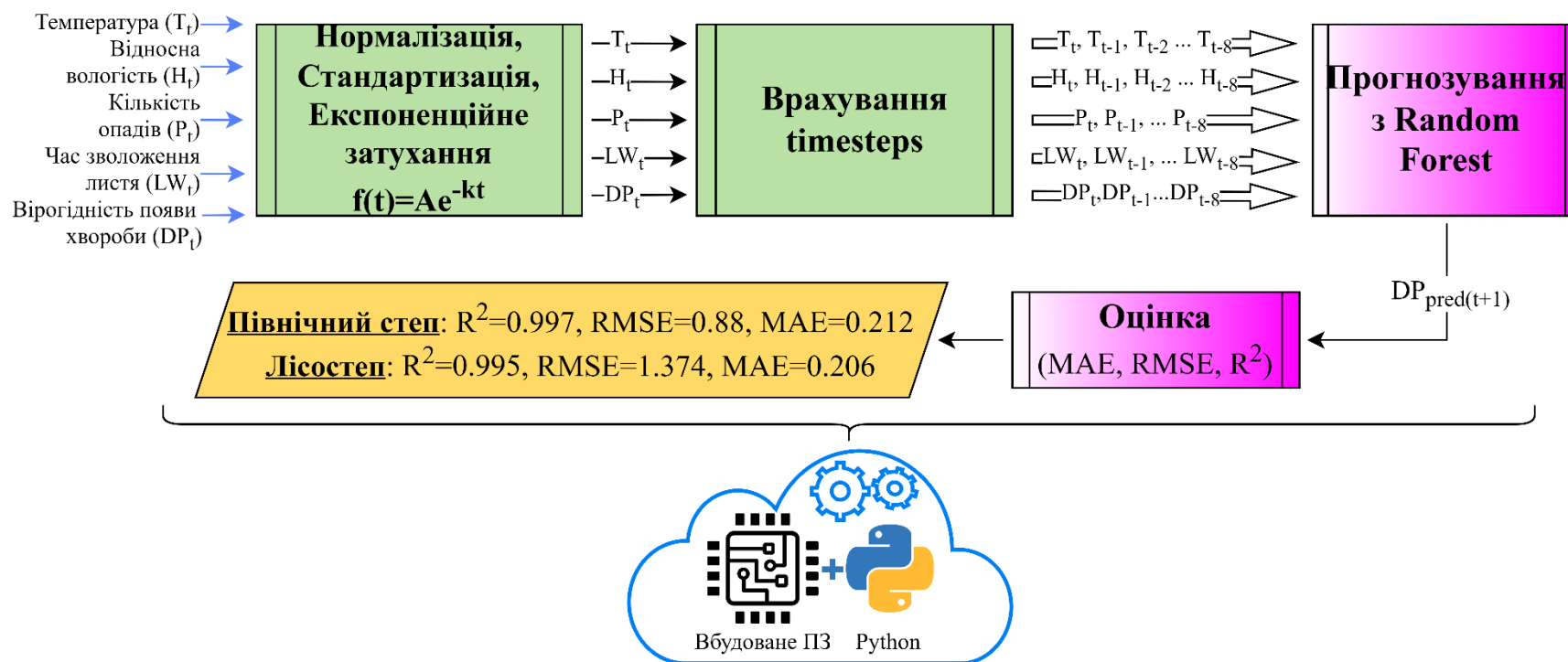


Рис. 26. Структурно-алгоритмічна організація інформаційної технології прогнозування появи хвороб с/г культур

Результати випробувань дослідного зразка кіберфізичної технології моніторингу та керування мікрокліматом штучних екосистем. Добова динаміка фізико-хімічних параметрів

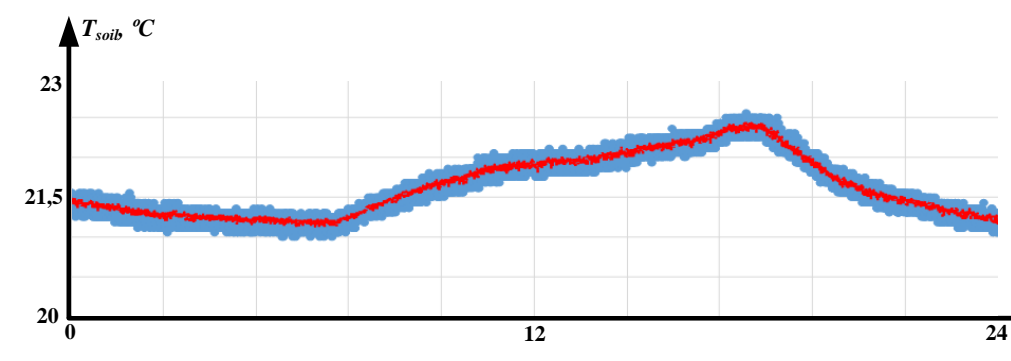
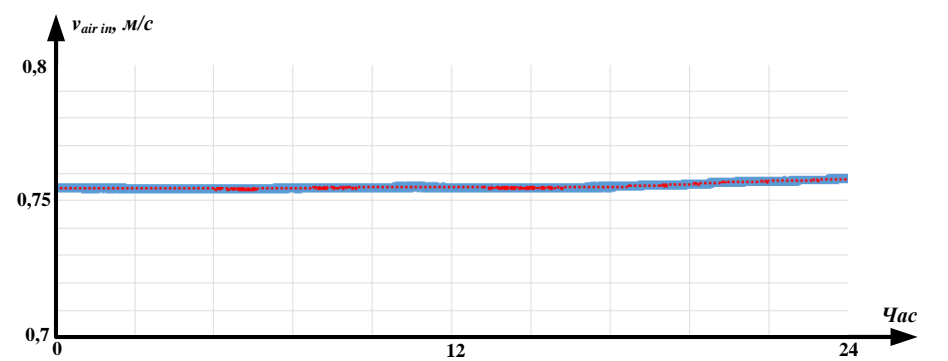
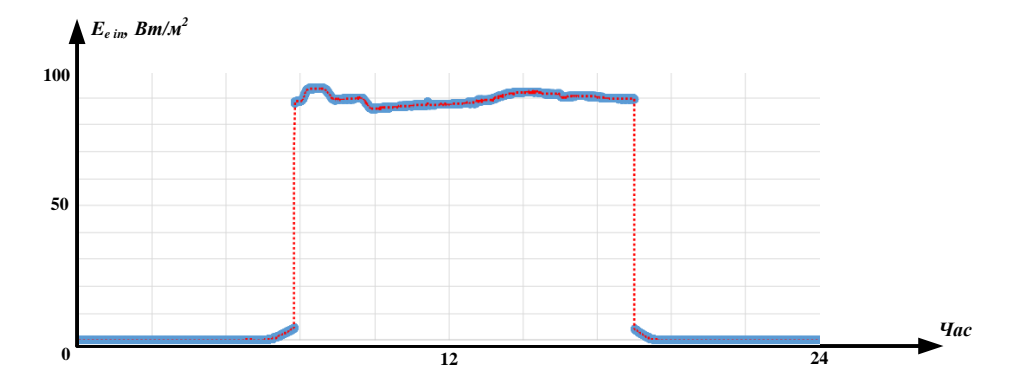
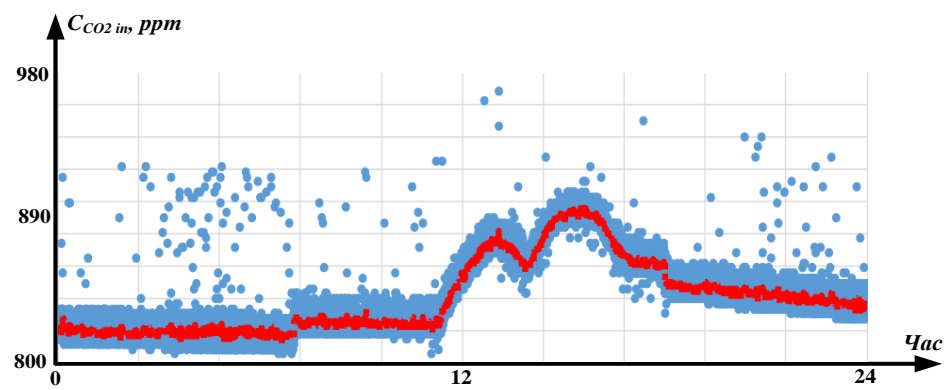
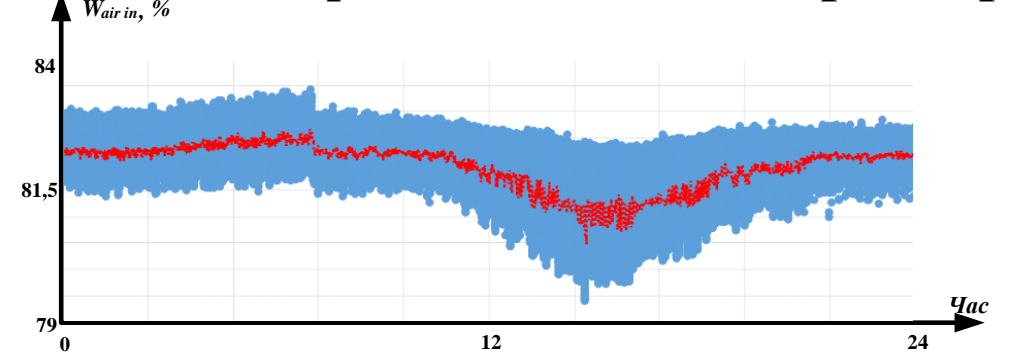
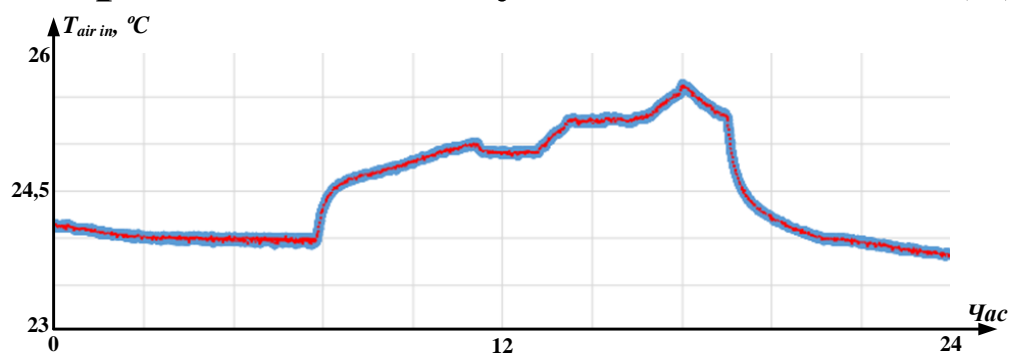


Рис. 27. Добова динаміка інформативних параметрів штучних екосистем галузі рослинництва



Результати випробувань дослідного зразка кіберфізичної технології моніторингу та керування мікрокліматом штучних екосистем. Додова динаміка фізико-хімічних параметрів (продовження)

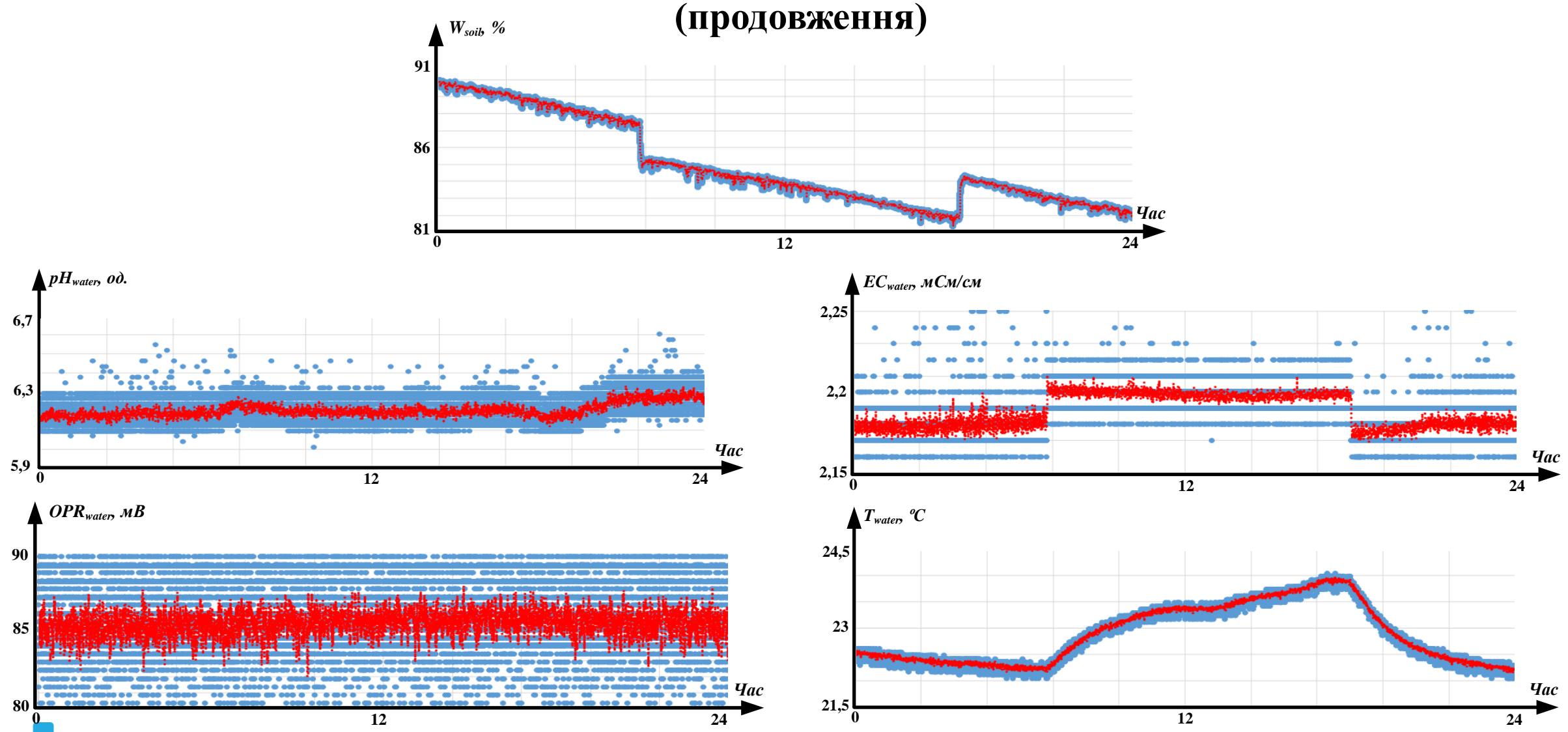
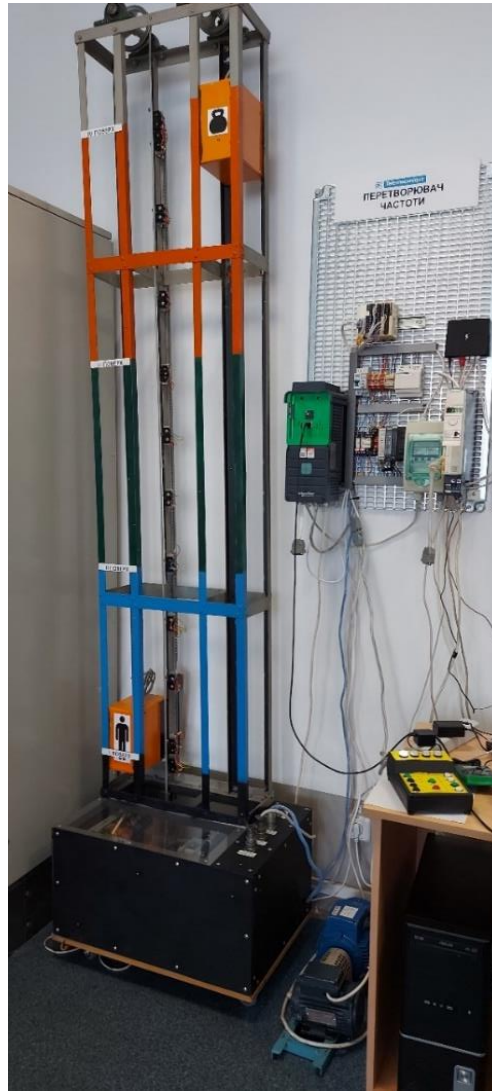


Рис. 28. Додова динаміка інформативних параметрів штучних екосистем галузі рослинництва (продовження)

Експериментальна установка кіберфізичної технології дистанційного моніторингу і керування мехатронними модулями штучних екосистем та інфраструктурних об'єктів



а) зовнішній вигляд



б) електрична частина

Рис. 29. Фото дослідної установки дистанційного моніторингу і керування мехатронними модулями штучних екосистем та інфраструктурних об'єктів



Основні науково-прикладні результати та їх новизна

1. Розроблено і досліджено програмно-алгоритмічне забезпечення та комп'ютерні моделі підвищення ефективності вилучення деталей текстур і просторових залежностей з аерокосмічних знімків. На відміну від відомих розробок, враховано локальну та нелокальну інформацію зі супутникових знімків Sentinel-2 на основі згорткової нейронної мережі. Це підвищило інформативність віддаленого моніторингу стану екосистем та інфраструктурних об'єктів, що впливають на рівень екологічної безпеки.

2. Створено метод підвищення точності виявлення пошкоджень інфраструктурних об'єктів у зонах бойових дій на основі неконтрольованого машинного навчання на цифрових зображеннях. Порівняно з традиційними DBSCAN, PCA та K-середніх, запропонований метод досягає точності 98,1 %, що дозволяє підвищити ефективність і оперативність планування управлінських дій із ліквідації наслідків руйнувань промислових споруд і комплексів.

3. Програмно реалізовано геоінформаційну модель прогнозування затоплення території Середньодніпровської ГЕС в умовах воєнного стану та запропоновано комп'ютеризовану методику розрахунку глибини затоплення. Під час досліджень враховано показник віддалення від Середньодніпровської ГЕС на основі алгоритмів розрахунку висоти хвилі прориву та половинного ділення площі перерізу русла ріки.

4. Розроблено комп'ютерну модель оперативного картографування порушень лісового покриву (згарищ), яка відрізняється від існуючих тим, що враховано спектральні та геометричні ознаки об'єктів на основі згорткових нейронних мереж. Ефективність моделі підтверджена відсотком правильно ідентифікованих вигорілих ділянок: становить від 92 % до 96 %. Це дозволило автоматично розпізнавати і аналізувати площі вигорілого лісового покриву на супутникових знімках з високою просторовою роздільною здатністю.

5. Досліджено і програмно реалізовано комп'ютеризовану методику пошуку та оцінки островів тепла на цифрових космічних знімках. У порівнянні з відомими, розроблена методика дозволяє на основі аналізу різночасових карт температури виявляти стабільні в часі ділянки теплового забруднення, потенційно небезпечні для населення прилеглих територій.



Основні науково-прикладні результати та їх новизна (продовження)

6. Розроблено і впроваджено програмно-апаратне забезпечення інформаційної технології моніторингу вірогідності виникнення хвороб стратегічних агрокультур під час повного циклу їх вирощування в умовах відкритого ґрунту, що формують основу продовольчої безпеки та експортного потенціалу України. На відміну від відомих технологій, під час розробки кіберфізичних рішень мережевої агрегації та інтелектуальної трансформації ґрунтокліматичних параметрів враховано типи зернових культур, їх періоди вегетації та специфічні для агрокліматичних умов України хвороби. Середнє значення відносної невизначеності прогнозування змінюється в діапазоні від $\pm 3,5$ % до ± 5 % в залежності від діагностованих хвороб зернових культур. Це дозволяє підвищити рівень національної продовольчої безпеки завдяки покращенню стресостійкості польових культур до дестабілізуючих факторів.

7. Обґрунтовано методи і створено засоби підвищення ефективності й інформативності моніторингу та керування виробничими процесами промислових екосистем галузі рослинництва захищеного ґрунту. Цей ефект досягнуто завдяки дослідженню структурно-функціональної організації та практичній реалізації програмно-апаратних рішень комплексного збору, інтелектуалізованої обробки та надійного мережевого обміну вимірювальними даними з підтримкою прийняття рішень. Це дозволяє підвищити стійкість національної продовольчої безпеки до дестабілізуючих факторів завдяки впровадженню інноваційних рішень моніторингу й керування агротехнічними процесами і ресурсами.

8. Створено дослідний зразок кіберфізичної технології дистанційного моніторингу та керування мехатронними модулями інфраструктурних об'єктів і промислових екосистем на основі концептуальних засад Інтернету речей та Industry 4.0. Ця розробка дозволяє на ранніх етапах проектування оптимізувати техніко-функціональні характеристики програмно-технічного забезпечення моніторингу та керування технологічними процесами с/г галузі.



Масштаби впровадження

Основні результати впроваджено до: виробничих потужностей ДДСДС НААН України та міжнародного науково-дослідного центру кіберфізичних технологій (НТУ «Дніпровська політехніка», Університет Ройтлінгену)

Соціально-економічний ефект

Соціально-економічний ефект полягає у створенні вітчизняного ІТ-продукту, що за своїми техніко-функціональними характеристиками є конкурентоспроможним на світовому рівні. Зазначений ІТ-продукт представлений у вигляді програмно-апаратного забезпечення інформаційної технології комплексного предикативного моніторингу стану штучних і природних екосистем та інфраструктурних об'єктів із автоматичною підтримкою прийняття рішень. Ця розробка призначена для обґрунтування і практичної реалізації механізмів зміцнення продовольчої та екологічної складових національної безпеки завдяки прогнозуванню ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру. Все це є основою захисту та інноваційного розвитку вітчизняної промисловості, сільського господарства та інфраструктури, а також природної екосистеми у період воєнного часу та повоєнного відновлення.



Кількість і тип публікацій за темою роботи

1 колективна монографія в українському виданні, 1 розділ колективної монографії в закордонному виданні (індексовано в наукометричній базі Scopus), 2 навчальних посібники, 43 статті (у т.ч. 20 – індексовано в наукометричних базах Scopus / Web of Science), 7 матеріалів конференцій у виданнях Scopus / Web of Science, 6 одноосібних тез доповідей, 3 патенти України на винахід і 2 патенти на корисну модель.

Показники цитування за останні 5 років

Власне ім'я та прізвище кожного з авторів роботи	Згідно з базами даних (посилання за останні 5 років)					
	Web of Science кількість посилань / h-індекс		Scopus кількість посилань / h-індекс		Google Scholar кількість посилань / h-індекс	
1 Іван ЛАКТИОНОВ	20	2	60	4	165	7
2 Віта КАШТАН	4	–	9	2	58	5
3 Григорій ДЯЧЕНКО	2	1	13	2	72	5

