Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет (ЗУНУ)
46009, м. Тернопіль, вул. Львівська, 11, тел./факс. (0352) 51-75-52
e-mail: ndi_ird@wunu.edu.ua

ПОГОДЖУЮ
Проректор з наукової роботи ЗУНУ
_____ д. т. н., проф. Микола ДИВАК

ПРОМІЖНИЙ ЗВІТ
за результатами виконання етапу науково-технічної роботи
«Інтелектуальна система розпізнавання дефектів об’єктів зеленої енергетики із використанням БПЛА»

Науковий керівник _____ Анатолій САЧЕНКО

2024, етап № 1

Підготовку звіту завершено 18 грудня 2024 р.

1. Номер державної реєстрації науково-технічної роботи (далі – НТР): 0124U004665
2. Номер договору, за яким надається фінансування (за наявності): РН/57-2024
3. Найменування закладу вищої освіти – виконавця НТР: Західноукраїнський національний університет
4. Прізвище та ім'я наукового керівника (головного дослідника, PI - principal investigator) НТР: Анатолій Саченко
5. Основне місце роботи наукового керівника, посада: Західноукраїнський національний університет, професор кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління
6. Терміни та тривалість виконання НТР:

Тривалість НТР 24 місяці
Початок 30.09.2024
Закінчення 31.08.2026
Тривалість звітного етапу 4 місяці
Початок 30.09.2024
Закінчення 31.12.2024

7. Обсяги фінансування НТР:

Загальний обсяг фінансування:
за запитом (заявкою) 3000,0 тис.грн.
фактичний 3000,0 тис.грн.
Обсяг фінансування звітного етапу:
за запитом (заявкою) 700, 0 тис.грн.
фактичний 700, 0 тис.грн.

8. Перелік виконавців з оплатою праці (ПІБ, посада за основним місцем роботи, посада за *НТР* (або договір ЦПХ), окремо зазначаються молоді вчені, студенти, аспіранти (за наявності)) (**Додаток А до проміжного звіту).**

9. Стислий зміст НТР в цілому (актуальність, мета, основні завдання, ідеї, гіпотези тощо):

Основною проблемою, на яку спрямована подана науково-технічна робота, є недосконаліть процесів технічного обслуговування інфраструктури відновлюваної енергетики. Аналіз напрацювань вітчизняних та іноземних учених за тематичним напрямом наукової роботи показав, що традиційні методи не тільки трудомісткі та затратні за часом, але мають низьку точність, що, загалом, призводить до затримок технічного обслуговування та відповідно негативного впливу на енерговиділення, термін експлуатації та безпеку обладнання. Крім того, наявні методи та засоби ідентифікації дефектів об’єктів зеленої енергетики за допомогою мобільних систем моніторингу з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) мають високу обчислювальну складність і низьку швидкодію. Тому нами висунуто гіпотезу щодо розроблення інтелектуальної системи збору відеоданих і розпізнавання дефектів об’єктів зеленої енергетики з розподіленим інтелектом між БПЛА і станцією управління на основі покращеної нейронної мережі глибокого навчання.

Об’єктом дослідження є процеси інспектування об’єктів зеленої енергетики із використанням БПЛА.

Предметом дослідження є методи розпізнавання та локалізації дефектів об’єктів зеленої енергетики.

Метою науково-технічної роботи є вдосконалення процесу автоматизованого виявлення дефектів в інфраструктурі зеленої енергетики з використанням методів машинного навчання, застосованих до відеоданих, що згенеровані за допомогою БПЛА. Основна інновація полягає у використанні та вдосконаленні моделей глибокого навчання для інтерпретації складних візуальних даних із високою точністю, що дасть можливість покращити технічне обслуговування та експлуатаційну ефективність об’єктів зеленої енергетики.

Для реалізації запропонованого підходу й досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1) Розробити метод оброблення відеоданих із використанням БПЛА на основі попередньо навченої штучної нейронної мережі глибокого навчання з підвищеною точністю.

2) Удосконалити техніко-економічні характеристики методу моделювання мікропроцесорних інструкцій для забезпечення ефективного оброблення даних на БПЛА.

3) Розробити метод виявлення дефектів об'єктів зеленої енергетики за відеоданими з БПЛА на основі удосконаленої штучної нейронної мережі з підвищеною швидкодією.

4) Удосконалити метод локалізації та статистичного аналізу кількості виявлених дефектів об'єктів зеленої енергетики.

5) Розробити архітектуру розподіленої інтелектуальної системи розпізнавання дефектів об'єктів зеленої енергетики із використанням БПЛА.

10. Основні результати виконання попереднього (за наявності) етапу : _____–_____

11. Номер та назва звітного етапу (за наявності): Етап № 1 Аналіз існуючих методів і засобів опрацювання відеоданих БПЛА для виявлення дефектів об'єктів зеленої енергетики та обґрунтування вибраного напрямку досліджень; розроблення концепції та узагальненої структури розподіленої інтелектуальної системи збору та опрацювання зображень із БПЛА

12. Опис процесу реалізації (хід виконання, які дослідження проводились, які методики використовувались тощо) *НТР* за звітним етапом:

За І етап науково-технічної роботи основну увагу було приділено комплексному аналізу існуючих методів та засобів опрацювання відеоданих із БПЛА для моніторингу об'єктів зеленої енергетики. Результатом цього аналізу стало визначення ключових напрямів для подальших досліджень, а також обґрунтування необхідності створення нової, узагальненої структури для збору та обробки даних. Метою етапу було визначення найбільш ефективних підходів до виявлення дефектів та впровадження розподіленої архітектури керування БПЛА.

Дослідження сучасних методів виявлення дефектів об'єктів зеленої енергетики дало змогу оцінити ефективність глибоких нейронних мереж (ГНМ), як от SqueezeNet та YOLOv8, для класифікації дефектів. Попри обмежені обсяги навчальних даних, ці моделі продемонстрували точність виявлення понад 75 % за навчальним набором та понад 89 % – за тестовим, що підтвердило актуальність застосування глибокого навчання. Очікується, що реалізація таких підходів сприятиме зниженню експлуатаційних витрат та підвищенню надійності обладнання під час моніторингу в реальному часі.

Для моделювання зони моніторингу для випадку вітрових турбін кожну турбіну подано у вигляді сфери з радіусом, що дорівнює довжині лопаті. Такий підхід дав змогу автоматично адаптувати траєкторії польоту в реальному часі з урахуванням поривів вітру, кута нахилу лопатей та інших зовнішніх чинників. Використання PID-контролера зменшило відхилення від оптимального маршруту на 68 %.

Виявлено, що досліджуваним дефектам притаманні слабоформалізовані ознаки, які доцільно описувати методами нечіткої логіки. Використання нечіткої системи на основі механізму Мамдані в поєднанні з аналізом зображень за ГНМ дає можливість підвищити точність і надійність моніторингу інфраструктурних об'єктів.

На основі проведеного аналізу була розроблена узагальнена структура розподіленої інтелектуальної системи для збору та опрацювання зображень із БПЛА. Структура враховує інтеграцію методів глибокого навчання, адаптивного керування та розподілених систем. Отже, аналітичний підхід до існуючих методів у поєднанні з розробкою нової архітектури створює передумови для підвищення ефективності та надійності моніторингу об'єктів зеленої енергетики.

13. Результати виконання звітного етапу відповідно до технічного завдання/календарного плану:

13.1 Заплановані завдання звітного етапу НТР: Аналіз існуючих методів і засобів опрацювання відеоданих БПЛА для виявлення дефектів об’єктів зеленої енергетики та обґрунтування вибраного напрямку досліджень; розроблення концепції та узагальненої структури розподіленої інтелектуальної системи збору та опрацювання зображень із БПЛА

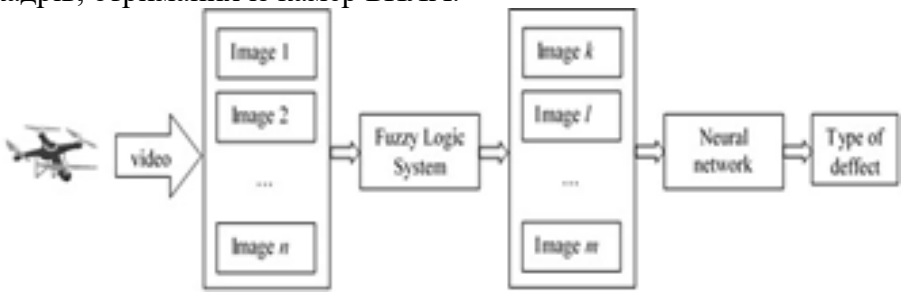
13.2 Отримані результати звітного етапу *НТР :*

За результатами І етапу науково-технічної роботи встановлено, що використання глибоких нейронних мереж, автоматизованого керування, нечіткої логіки та аналізу відеоданих із БПЛА демонструє значний потенціал для підвищення швидкодії моніторингу об’єктів зеленої енергетики та мінімізації затримок, що пов’язані з їхнім технічним обслуговуванням. В результаті виконання першого етапу науково-технічної роботи:

Проведено аналіз існуючих методів і обґрунтування напряму досліджень сегментації зображень [1–4]. На основі аналізу сучасних методів (як-от алгоритми сегментації Detectron2, адаптивне планування траєкторій та архітектури ГНМ) були визначені ключові обмеження традиційних підходів: висока трудомісткість, обмежена точність і значні витрати часу.

Крім того, здійснено аналіз зображень об’єктів зеленої енергетики на основі попередньо навченої ГНМ SqueezeNet. Ця нейронна мережа була протестована на невеликій вибірці (160 зображень) і точність її роботи в цьому випадку склала 89 %, що є хорошим результатом у випадку невеликої вибірки аналізованих зображень [7].

Запропоновано узагальнену структуру розподіленої інтелектуальної системи збору та опрацювання зображень із БПЛА [3], що є ключовою передумовою для ефективного моніторингу об’єктів зеленої енергетики. Її впровадження базується на засобах штучного інтелекту, включно з ГНМ і нечіткими системами, які дають змогу автоматизувати процес оброблення відеокадрів, отриманих із камер БПЛА.



Традиційна схема аналізу даних передбачає оброблення кожного кадру нейронною мережею, що істотно економить час і ресурси внаслідок усунення ручного втручання. Нейронні мережі можуть обробляти великі обсяги інформації за порівняно короткий проміжок часу, адаптуючись до змін освітлення, погодних умов та інших чинників навколишнього середовища. Проте потреба ГНМ у значних обчисленнях для навчання та роботи може стати суттєвим викликом, оскільки вимагає спеціалізованого апаратного забезпечення та збільшує тривалість розроблення системи. Наявність шумових даних чи нерепрезентативних вибірок також може знизити точність і надійність моделі.

Як наслідок, особливої уваги набуває застосування нечіткої логіки [5–10], яка доповнює нейронні мережі, знижуючи на них навантаження та підвищуючи продуктивність системи. Завдяки роботі з нечіткими множинами та правилами, нечітка логіка розширює функціональність систем оброблення зображень, що призводить до їхньої гнучкості, точності та пристосованості до реальних умов невизначеності. Подальші дослідження спрямовані на інтеграцію нечіткої системи та модулів нейронної мережі у єдину платформу оброблення

зображень дефектів об’єктів зеленої енергетики, що підвищить загальний рівень ефективності та надійності моніторингу.

Розроблено узагальнену структуру розподіленої інтелектуальної системи [8, 10-12], що передбачає розподіл інтелектуальних функцій між БПЛА та наземною станцією управління. Така архітектура гарантує автономну роботу дронів навіть за слабкого зв’язку та дає змогу їм координувати свої дії для якнайкращого покриття об’єктів. Як результат, час інспектування одного об’єкта зменшується з 90 до 8 хвилин, а рівень покриття зростає з 88 % до 95 %. Порівняння традиційних методів із запропонованим рішенням наведено в таблиці нижче, що ще раз підкреслює переваги впроваджених технологій.

Метрика	Традиційні методи	Розроблена система
Точність виявлення дефектів	80-85%	95%
Час інспекції одного об’єкта	90 хв	8 хв
Енергоспоживання	Високе	Середнє
Покриття поверхні об’єкта	88%	95%

Запропоноване рішення повністю відповідає вимогам технічного завдання за першим етапом виконання науково-технічної роботи та демонструє значний потенціал для масштабованого впровадження в галузі зеленої енергетики. Підвищення швидкодії та точності моніторингу дає змогу мінімізувати затримки, знизити витрати, покращити експлуатаційну ефективність та потенційно застосувати систему в інших галузях.

13.3 Відхилення від календарного плану дослідження (за наявності)*:* –

14. Наукова цінність і актуальність отриманих результатів (науково-технічної продукції), їх порівняння з українськими та/або кращими закордонними аналогами:

Проведене дослідження за звітний період засвідчило значний потенціал використання ГНМ, зокрема архітектур SqueezeNet та YOLOv8, для класифікації зображень із дефектами об’єктів зеленої енергетики. Попри обмежений обсяг навчальних даних, вдалося досягти точності 75 % під час навчання і 89 % на тестових наборах, що підтверджує перспективність такого підходу для автоматичного виявлення дефектів. Подальше впровадження цих рішень у реальному часі здатне суттєво підвищити ефективність моніторингу та обслуговування енергетичних об’єктів, знижуючи експлуатаційні витрати та підвищуючи надійність системи.

Проте, зображення часто містять нечіткі дані, що може впливати на результат їх обробки. Інтеграція нечіткої логіки в обробку зображень дає змогу розширити функціональні можливості запропонованих методів. Завдяки здатності працювати з нечіткими множинами та правилами, нечітка логіка дасть змогу адаптувати системи до різних ситуацій, покращуючи точність і надійність аналізу зображень. Це створює підґрунтя для розроблення більш гнучких та ефективних алгоритмів, орієнтованих на роботу в умовах невизначеності.

Подальший розвиток науково-технічної продукції відбувається в напрямі розбудови розподіленої інтелектуальної системи автоматизованого моніторингу об’єктів зеленої енергетики. Застосування ГНМ (зокрема моделей SqueezeNet та YOLOv8), адаптивного планування траєкторій та мультиспектрального аналізу зображень уже продемонструвало можливість досягнути 95 % точності виявлення дефектів, скоротити час інспекції з 90 до 8 хвилин та підвищити показник покриття з 88 % до 95 %.

На фоні сучасних українських та закордонних технологічних рішень запропоновані підходи вирізняються кращою адаптацією до складних умов, збалансованим розподілом обчислювальних ресурсів та автономністю роботи навіть за нестабільних каналів зв’язку.

Оброблення даних безпосередньо на борту БПЛА може забезпечити оперативне реагування на динамічні зміни довкілля та вчасне виявлення дефектів.

Отже, отримані результати мають вагому наукову цінність, адже розвивають методи інтеграції БПЛА, штучного інтелекту й розподілених систем керування, підкреслюючи міжнародну конкурентоспроможність українських досліджень у галузі зеленої енергетики. Наступним кроком стане створення узагальненої системи оброблення зображень із дефектами об’єктів зеленої енергетики, яка гармонійно об’єднає засоби нечіткої логіки та ГНМ, забезпечуючи ще вищий рівень ефективності, точності й надійності автоматизованого моніторингу.

15. Практична цінність результатів для потреб оборони, безпеки, економіки та/або суспільства України (у разі наявності):

Проведені на І етапі науково-дослідні роботи підкреслюють високу практичну цінність автоматизованого моніторингу об'єктів зеленої енергетики. Аналіз існуючих підходів показав, що інтеграція глибокого навчання, зокрема з використанням заздалегідь навчених глибоких нейронних мереж, дає змогу досягти точності виявлення дефектів до 95% та скоротити час інспекції з 90 до 8 хвилин. Важливим є те, що для навчання глибоких нейронних мереж не потрібен великий масив даних, достатньо лише 160 зображень для досягнення точності 89%, що істотно зменшує витрати та підвищує надійність енергопостачання. Також, розроблена узагальнена структура розподіленої інтелектуальної системи керування БПЛА є важливою складовою для підвищення ефективності моніторингу. Важливо, що для навчання ГНМ не потрібно великого масиву даних: за наявності лише 160 зображень можна досягти точності 89 %. Такий підхід істотно зменшує витрати та підвищує надійність енергопостачання.

Застосування модуля нечіткої логіки в опрацюванні зображень із БПЛА дає можливість адаптувати систему до змінних природних умов, у яких здійснюються моніторинг цільових об’єктів. Цей підхід є основою розподіленої інтелектуальної системи збору та оброблення інформації, яка поєднує глибоке навчання, нечітку логіку, адаптивне планування траєкторій і мультиспектральний аналіз даних.

Застосування подібних рішень не обмежується цивільною енергетикою. У галузі оборони та безпеки автономні БПЛА з розподіленою інтелектуальною системою керування можуть стати інструментом контролю критичної інфраструктури та швидкого реагування на потенційні загрози. Мультиспектральна аналітика та адаптивне планування польотів допоможуть вчасно виявляти пошкодження, моніторити діяльність небезпечних об’єктів і підвищувати рівень ситуаційної обізнаності.

З економічного погляду, впровадження таких інновацій дає змогу оптимізувати експлуатаційні витрати, зменшити енергетичні втрати та збільшити довговічність устаткування. Це сприятиме сталому розвитку галузі, посиленню національної безпеки та конкурентоспроможності України на міжнародному рівні.

Отже, запровадження запропонованої концепції дасть змогу створити надійну систему виявлення дефектів об’єктів зеленої енергетики, здатну функціонувати в режимі реального часу та ефективно адаптуватися до складних умов. Таке рішення суттєво скоротить витрати, зменшить залучення людських ресурсів і відкриє перспективи застосування до різноманітних секторів відновлюваної енергетики, як от інспектування сонячних панелей.

16. Основні кількісні показники/індикатори***** виконання звітного етапу **за темою** НТР:

№ з/п	Показники / індикатори	План (відповідно до заявки / ТЗ / КП тощо), кількість	Факт (за результатами етапу), кількість
1.	**Публікація результатів:**		
1.1.	Статті у журналах, що індексуються наукометричними базами даних:	**1**	**1**
	- Scopus та/або Web of Science Core Collection, всього, од.		**1**
	з них із квартилем Q1 і Q2 на момент опублікування, од.		**1**
	з них із квартилем Q3 і Q4 на момент опублікування, од.		
1.2.	Статті у виданнях, які містять інформацію з обмеженим доступом *(для НТР / НТП оборонного та/або подвійного призначення)*, од.		
1.3.	Статті у наукових журналах (без квартилю), збірниках наукових праць, матеріалах конференцій тощо, що індексуються наукометричними базами даних Scopus або Web of Science Core Collection (крім тих, що увійшли до п.1.1) , од.	**1**	**6**
1.4.	Статті у фахових виданнях України категорії «Б» , од.	**0**	**1**
1.5.	Статті у періодичних виданнях інших країн, що мають ISSN, од.		
1.6.	Публікації у матеріалах конференцій, тезах доповідей та виданнях, що не включені до переліку наукових фахових видань України та не індексуються наукометричними базами даних Scopus або Web of Science Core Collection, од.	**0**	**1**
1.7.	Монографії та розділи монографій, опубліковані (або підготовлені і подані до друку) у закордонних видавництвах іноземними мовами, од.		
1.8.	Монографії та розділи монографій, опубліковані (або підготовлені і подані до друку) в українських видавництвах, од.		
1.9.	Монографії та розділи монографій, опубліковані (або підготовлені і подані до друку) з обмеженим доступом *(для НТР / НТП оборонного та/або подвійного призначення)* , од.		
1.10	Підручники, навчальні посібники, од.		
1.11	Словники, довідники, енциклопедії, видані українськими та/або закордонними видавництвами , од.		
1.12	Інші публікації, які не описані у пп. 1.1-1.11, од.	**0**	**2**
2.	**Презентація та дисемінація результатів:**		
2.1.	Міжнародні науково-комунікативні заходи, конференції, од.		
2.2.	Всеукраїнські та регіональні науково-технічні/промислові виставкові заходи, од.		
2.3.	Представлення розробки/бізнес-плану/результатів *НТР / НТП* на:		
	- інноваційних фестивалях, од.		
	- конкурсах стартапів, од.		
	- акселераційних програмах, од.		
	- хакатонах, од.		
2.4.	Науково-популярні публікації з метою поширення інформації про результати *НТР / НТП* для загальної (широкої) аудиторії, од.		
2.5.	Представлення інформації про результати *НТР / НТП* на науково-популяризаційних заходах (Дні науки, Наукові пікніки тощо) , од.		
2.6.	Інші заходи, які не описані у пп. 2.1-2.5, од.		
3.	**Підготовка наукових кадрів:**		
3.1.	Захищено дисертацій доктора наук авторами *НТР / НТП* або під консультуванням авторів у рамках тематики *НТР / НТП*, од.		
3.2.	Захищено дисертацій доктора філософії авторами *НТР / НТП* або під керівництвом авторів у рамках тематики *НТР / НТП*, од.		
4.	**Охоронні документи на об'єкти права інтелектуальної власності (**ОПІВ**)**		
4.1.	Отримано патентів України на винахід, од.	**0**	**1**
4.2.	Отримано патентів України на промисловий зразок , од.		

№ з/п	Показники / індикатори	План (відповідно до заявки / ТЗ / КП тощо), кількість	Факт (за результатами етапу), кількість
4.3.	Отримано патентів України на корисну модель, од.		
4.4.	Отримано охоронний документ на ОПІВ інших країн, од.		
4.5.	Інші ОПІВ, які не описані у пп. 4.1-4.4, од.		
4.6.	Подано заявок на отримання охоронного документу на ОПІВ України та /або інших країн, од.		
5.	**Впровадження та використання наукових або науково-технічних (прикладних) результатів:**		
5.1.	Підписання (укладення) договорів (угод) *ЗВО / НУ* – виконавцем *НТР / НТП* на впровадження (використання) результатів *НТР / НТП* (окрім індивідуальних), серед них:		
5.1.1	Господарських договорів/контрактів, од./тис.грн		
5.1.2	Ліцензійних договорів/договорів на ноу-хау, од./тис.грн		
5.1.3	Грантових угод (державного рівня), од./тис.грн		
5.1.4	Грантових угод (міжнародного рівня), од./тис.грн		
5.1.5	Інших договорів (угод), які не описані у пп. 5.1.1-5.1.3, од./тис.грн		
5.2.	Документально підтверджено використання результатів у практиці органів державної/місцевої влади, суспільних практиках тощо, од.		
5.3.	Проведено маркетингові дослідження, перемовини з потенційними замовниками із підписанням протоколу (меморандуму, угоди) про наміри комерційного впровадження результатів, од.		
5.4.	Подано заявок на державні, міжнародні наукові гранти (окрім індивідуальних) , од.		
5.5.	Впроваджено у освітній процес *ЗВО / НУ* з відповідним підтвердженням, од.		
5.6.	Інші варіанти впровадження, які не описані у пп. 5.1-5.5, од.		
6.	**Створено чи істотно удосконалено/покращено існуючі:**		
6.1.	Пристрої (макет, експериментальний/дослідний зразок) , од.		
6.2.	Матеріали, процеси, технології, технологічні регламенти, цифрові продукти та електронні сервіси, од.		
6.3.	ТУ, ДСТУ, будівельні норми, зареєстровані проєкти законодавчих актів, од.		
6.4.	Наукові (науково-технічні) послуги, од.		
6.5.	Іншу продукцію, яка не описана у пп. 6.1-6.4, од.		
7.	**Участь з оплатою у виконанні *НТР / НТП* (штатних одиниць/осіб) згідно з Додатком 1:**		
7.1.	Студентів (здобувачів вищої освіти І-ІІ рівнів), шт.од./ осіб		
7.2	Аспірантів (здобувачів вищої освіти ІІІ рівня) , шт.од./ осіб		**1***
7.3.	Молодих вчених, шт.од./ осіб		**2***

***зі сторони співвиконавця

17. Відхилення від запланованих показників/індикаторів, зазначених у п. 16*:* –

18. Вихідні дані щодо показників виконання відповідно до пунктів п. 16:

- Статті у журналах, що індексуються наукометричними базами даних Scopus та/або Web of Science Core Collection, з них із квартилем Q1 і Q2 на момент опублікування:

1. Vladov, S.; Sachenko, A.; Sokurenko, V.; Muzychuk, O.; Vysotska, V. Helicopters Turboshaft Engines Neural Network Modeling under Sensor Failure. J. Sens. Actuator Netw. 2024, 13, 66. https://doi.org/10.3390/jsan13050066 - Q1

- Статті у наукових журналах (без квартилю), збірниках наукових праць, матеріалах конференцій тощо, що індексуються наукометричними базами даних Scopus або Web of Science Core Collection (крім тих, що увійшли до п.1.1)

2. Precision slicing for enhanced defect detection in high-resolution wind turbine blade imagery / S. Svystun et al. 1st International Workshop on Intelligent & CyberPhysical Systems (ICyberPhyS-2024): CEUR-Workshop Proceedings, Khmelnytskyi, Ukraine, 28 June 2024 / ed. by T. Hovorushchenko et al. Aachen, 2024. P. 1–18. URL: https://ceur-ws.org/Vol-3736/paper1.pdf (date of access: 02.12.2024).

3. L. Dubchak, A. Sachenko, C. Wolff and N. Vasylkiv, "Fuzzy System of Wind Turbine Defect Image Processing," 2024 14th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Ceske Budejovice, Czech Republic, 2024, pp. 610-613, doi: 10.1109/ACIT62333.2024.10712580.

4. N. Vasylkiv, L. Dubchak, M. Karpinski, I. Turchenko, L. Flud and T. Nadvynychna, "Fuzzy System of IT-Project Works Priority," 2024 14th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Ceske Budejovice, Czech Republic, 2024, pp. 94-98, doi: 10.1109/ACIT62333.2024.10712468.

5. O. Chala, A. Sachenko, Y. Bodyanskiy, L. Bytsyura and A. Molga, "Probabilistic Neuro-Fuzzy System Based on Greed Partitioning Input Space and It's Fast Combined Learning," 2024 IEEE 12th International Conference on Intelligent Systems (IS), Varna, Bulgaria, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/IS61756.2024.10705222.

6. Leonid Bytsyura, Anatoliy Sachenko, Taras Kapusta, Khrystyna Lipianina-Honcharenko, Ruslan Brukhanskyi. Modelling Hydroecomonitoring of Surface Water in Ukraine Using Machine Learning. Proceedings of the 4th International Workshop of IT-professionals on Artificial Intelligence (ProfIT AI 2024) 2024, Cambridge, MA, USA, September 25-27, 2024. CEUR Workshop Proceedings 3777, CEUR-WS.org 2024245-254

7. Dubchak L., Sachenko A., Wolff C., Vasylkiv N., Bernas Z. Classification of wind turbine defects based on the SqueezeNet neural network. Proceedings of the International Workshop on Computational Intelligence in Security for Information Systems CISIS’08. IEEE 19th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT), 2024 (in print).

- Статті у наукових фахових виданнях України категорії «Б»:

8. Свистун С. О. Розподілена архітектура системи управління та навігації БПЛА. Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки». 2024. Т. 341, № 5. С. 1–7.
- Отримано патентів України на винахід:

9. Олександр Дрозд, Анатолій Саченко, Констянтин Защолкін, Мирослав Дрозд, Володимир Кочан, Яцек Волошин. Програмований пристрій. Рішення УКРНОІВІ про державну реєстрацію винаходу по заявці a202105325 від 14.09.2024.

- Публікації у матеріалах конференцій, тезах доповідей та виданнях, що не включені до переліку наукових фахових видань України та не індексуються наукометричними базами даних Scopus або Web of Science Core Collection:

10. Свистун С., Мельниченко О., Лисий М. Архітектура інтелектуальної системи динамічного збору візуальних даних про дефекти об’єктів критичної інфраструктури електроенергетики. Protection of the National Interests by Security and Defense Sector of Ukraine: Current Problems and Tasks under the Martial Law: матеріали III Міжнарод. науково-практ. конф., м. Хмельницький, 21 листоп. 2024 р. Хмельницький, 2024. С. 1–2.

- Інші публікації, які не описані у пп. 1.1-1.11, од.:

11. Dynamic trajectory adaptation for efficient UAV inspections of wind energy units / S. Svystun et al. New York City, NY, USA: arXiv.org, 2024. 7 p. (Preprint. Cornell University; arXiv:2411.17534). URL: https://doi.org/10.48550/arXiv.2411.17534 (date of access: 02.12.2024).

12. Distributed intelligent system architecture for UAV-assisted monitoring of wind energy infrastructure / S. Svystun et al. New York City, NY, USA: arXiv.org. 14 p. (Preprint. Cornell University). URL: https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.09387 (date of access: 02.12.2024).

До п. 18 звіту додаються електронні* копії наукових публікацій, охоронних документів, інша наукова продукція (окрім матеріалів, які містять інформацію з обмеженим доступом) **(Додаток Б до проміжного звіту).**

19. Рішення** вченої (наукової, науково-технічної, технічної) ради або іншого керівного (дорадчого) органу (за відсутності зазначеної ради) *ЗВО* – виконавця *НТР* щодо результатів розгляду проміжного звіту:

Відповідно до засідання науково-технічної ради з головних напрямків наукових досліджень Західноукраїнського національного університету, протокол засідання № 7 від 17.12.2024 року, було ухвалено наступне рішення:

- Враховуючи результати голосування (кількість осіб, які брали участь у голосуванні – 20; кількість голосів «За» – 20; кількість голосів «Проти» – немає), затвердити звіт про виконання у 2024 році Західноукраїнським національним університетом етапу проєкту дослідження, що фінансується за рахунок зовнішнього інструменту допомоги Європейського Союзу для виконання зобов'язань України у Рамковій програмі Європейського Союзу з наукових досліджень та інновацій «Горизонт 2020» (звіт додається).

Копія витягу з протоколу засідання в електронному (друкованому) вигляді **(Додаток В до проміжного звіту).**

20. Анотація основних результатів звітного етапу *НТР / НТП* (**Додаток Г до проміжного звіту).**

Додаток А
до проміжного звіту
(пункт 8)

Перелік виконавців *НТР* з оплатою праці

№ з/п	Прізвище, ім'я, науковий ступінь, вчене звання *(особистий підпис, у разі необхідності)*	Основне місце роботи або здобуття освіти	Зазначити вік та наявність статусу молодого вченого (на момент подання звіту)	Посада в рамках *НТР* (або договір ЦПХ) та роль (науковий керівник, відповідальний виконавець, виконавець, студент, аспірант тощо)	Основні завдання у виконання НТР (стисло зазначити функції)
1	Саченко Анатолій, д-р техн. наук, проф.	Західноукраїнський національний університет	79 років	Провідний науковий співробітник, керівник НДР	Керівництво проектом. Розробка концепції та узагальненої структури розподіленої інтелектуальної системи збору та опрацювання зображень із БПЛА. Участь у підготовленні звітів та наукових публікацій.
2	Кочан Володимир, канд. техн. наук, проф.	Західноукраїнський національний університет	73 роки	Старший науковий співробітник	Розробка концепції та узагальненої структури розподіленої інтелектуальної системи збору та опрацювання зображень із БПЛА. Підготовка заявки на патент
3	Дубчак Леся, канд. техн. наук, доцент	Західноукраїнський національний університет	42 роки	Старший науковий співробітник	Аналіз існуючих методів і засобів виявлення дефектів об'єктів зеленої енергетики. Участь у підготовленні звітів та наукових публікацій.
4	Загородня Діана, канд. техн. наук, доцент	Західноукраїнський національний університет	37 років	Старший науковий співробітник, відповідальний виконавець НДР	Участь у підготовленні звітів та наукових публікацій. Підготовка заявки на патент.
5	Заставний Олег, канд. техн. наук, без звання	Західноукраїнський національний університет	44 роки	Старший науковий співробітник	Розробка концепції та узагальненої структури розподіленої інтелектуальної системи збору та опрацювання зображень із БПЛА. Підготовка заявки на патент
6	Савенко Олег *, д-р техн. наук, проф.	Хмельницький національний університет	53 роки	Старший науковий співробітник, виконавець	Визначення загальної стратегії дослідження, постановка наукових завдань, координація

№ з/п	Прізвище, ім'я, науковий ступінь, вчене звання *(особистий підпис, у разі необхідності)*	Основне місце роботи або здобуття освіти	Зазначити вік та наявність статусу молодого вченого (на момент подання звіту)	Посада в рамках *НТР* (або договір ЦПХ) та роль (науковий керівник, відповідальний виконавець, виконавець, студент, аспірант тощо)	Основні завдання у виконання НТР (стисло зазначити функції)
					дій виконавців, контроль за ходом виконання робіт та наукова експертиза отриманих результатів. Забезпечення методологічної бази дослідження.
7	Мельниченко Олександр *, д-р філософії, без звання	Хмельницький національний університет	34 роки, молодий вчений	Старший науковий співробітник, виконавець	Проєктування методик експерименту, збір та аналіз емпіричних даних, статистичне оброблення результатів, участь у підготовленні звітів та наукових публікацій.
8	Радюк Павло*, д-р філософії, без звання	Хмельницький національний університет	31 рік, молодий вчений	Старший науковий співробітник, виконавець	Розроблення математичних моделей для відображення процесів, що досліджуються, аналіз отриманих результатів, верифікація моделей та участь у формуванні висновків. Підготовлення звітів та розділів публікацій.
9	Свистун Сергій *, аспірант	Хмельницький національний університет	32 роки, молодий вчений	Старший науковий співробітник, виконавець	Програмування алгоритмів, розроблення інструментів візуалізації даних, створення програмних модулів для оброблення даних БПЛА. Технічна підтримка під час проведення експериментів.

* співвиконавці