



УДК 598.2: 591.5 (477.64)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.14.2025.35>

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВІДЛЯКУВАЧА РУКОКРИЛИХ ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ РИЗИКІВ ЇХ ЗІТКНЕНЬ З ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИМИ УСТАНОВКАМИ

В. С. Яненко¹, А. В. Клепко²

У статті представлено результати двоетапного біоакустичного тестування вітчизняного ультразвукового відлякувача типу «СуперКіт-1000», спрямованого на оцінку його ефективності для мінімізації ризику зіткнення рукокрилих із вітроенергетичними установками (ВЕУ). Актуальність зумовлена необхідністю пошуку дієвих технічних рішень для зниження смертності рукокрилих на ВЕС, які б дозволили мінімізувати економічні втрати від повної зупинки турбін. Експериментальні дослідження проводилися протягом 2023–2024 років із використанням біоакустичного детектора Echo Meter Touch 2 Pro та програмного забезпечення для спектрального аналізу. Методика включала чергування періодів роботи та вимкнення «СуперКіт-1000» для забезпечення статистичної достовірності порівняння активності тварин.

Первинні польові випробування (2023 р.) показали, що сигнали пристрою у діапазонах 34–37 кГц та 44–48 кГц не перекривають основні ехолокаційні частоти нетопира пізнього (Pipistrellus rudaeus, 56–72 кГц). Це підтвердило відсутність помітного впливу на поведінку цього виду та довело неефективність неадаптованих відлякувачів. На другому етапі (2024 р.) після технічної модифікації виробником, пристрій було налаштовано на діапазон 23–30 кГц, адаптований під частоти вразливого виду – вечірньої рудої (Nyctalus noctula). У результаті зафіксовано зниження акустичної активності виду: кількість реєстрацій у зоні дії увімкненого відлякувача знизилася до 7 випадків проти 12 випадків у контрольні періоди вимкнення приладу за однакові проміжки часу.

Важливим результатом дослідження стало визначення фізичних обмежень методу: встановлено, що ефективна дальність поширення ультразвукового сигналу становить до 15–20 метрів, після чого інтенсивність хвиль критично знижується. Це свідчить про те, що ультразвукові відлякувачі можуть бути ефективними лише як локальний засіб захисту (наприклад, для захисту гондоли), але не покривають площу обертання ротора сучасних турбін.

Отримані результати підтверджують потенційну ефективність ультразвукового відлякувача як допоміжного технічного засобу. Авторами доведено, що ефективність дії пристрою має чіткий видоспецифічний характер і залежить від точного співпадіння частотного налаштування з піковими частотами ехолокації цільових видів. Запропоновано впровадження багаточастотного режиму генерації

¹ аспірант кафедри загальної екології, радіобіології та безпеки життєдіяльності
(Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ)
e-mail: yanenko2028@gmail.com
ORCID: 0000-0003-1190-725X

² доктор біологічних наук, старший науковий співробітник,
завідувач кафедри загальної екології, радіобіології та безпеки життєдіяльності
(Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ)
e-mail: klepko@nubip.edu.ua
ORCID: 0000-0002-7061-453X

сигналів та розробку адаптивних алгоритмів роботи пристроїв на основі попереднього моніторингу фауни конкретної ВЕС. Рекомендовано поєднання ультразвукових систем із режимом curtailment (зупинка турбін у пікові години), що забезпечить максимальний рівень захисту біорізноманіття.

Ключові слова: моніторинг, екологічна оцінка, збереження біорізноманіття, рукокрилі, відлякувач, вітроенергетика.

RESULTS OF TESTING AN ULTRASONIC BAT DETERRENT FOR FURTHER APPLICATION AT WIND POWER PLANTS

V. S. Yanenko, A. V. Klepko

The article presents the results of a two-stage bioacoustic testing of the domestically manufactured ultrasonic deterrent «SuperCat-1000», aimed at assessing its effectiveness in minimizing the risk of bat collisions with wind turbines (WTs). The relevance of this study is driven by the need to identify effective technical solutions to reduce bat mortality at wind power plants (WPPs), while minimizing the economic losses associated with complete turbine shutdowns. Experimental research was conducted during 2023–2024 using the Echo Meter Touch 2 Pro bioacoustic detector and spectral analysis software. The methodology involved alternating periods with the «SuperCat-1000» switched on and off to ensure statistically reliable comparisons of animal activity. The initial field trials (2023) showed that the device signals in the 34–37 kHz and 44–48 kHz ranges did not overlap with the main echolocation frequencies of the *Pipistrellus pygmaeus*, 56–72 kHz. This confirmed the absence of any noticeable effect on the behavior of this species and demonstrated the ineffectiveness of non-adapted deterrent devices. During the second stage (2024), following technical modifications by the manufacturer, the deterrent was retuned to the 23–30 kHz range, which corresponds to the echolocation frequencies of a vulnerable species – the Common Noctule (*Nyctalus noctula*). As a result, a decrease in the acoustic activity of this species was recorded: the number of bat passes within the active zone of the operating deterrent decreased to 7, compared to 12 passes during control periods when the device was turned off, over equal time intervals.

An important outcome of the study was the identification of the physical limitations of the method: the effective propagation distance of the ultrasonic signal was determined to be 15–20 meters, beyond which wave intensity decreases critically. This indicates that ultrasonic deterrents can be effective only as localized protection tools (e.g., for nacelle-level mitigation), but they cannot cover the full rotor-swept area of modern wind turbines.

The findings confirm the potential of ultrasonic deterrents as auxiliary technical mitigation tools. The authors demonstrated that the device's effectiveness is strongly species-specific and depends on the precise alignment of the emitted frequencies with the peak echolocation frequencies of target species. The implementation of multi-frequency signal generation modes and the development of adaptive operational algorithms based on preliminary site-specific fauna monitoring are proposed. It is recommended to combine ultrasonic systems with curtailment strategies (turbine shutdown during peak risk periods) to ensure maximum biodiversity protection.

The article presents the results of a two-stage bioacoustic testing of an ultrasonic deterrent device of the «SuperCat-1000» type, aimed at assessing its effectiveness for minimizing the risk of bat collisions with wind energy installations. The primary tests showed that the signal of the device within the range of 34–37, 44–48 kHz does not overlap the main echolocation frequencies of the pygmy pipistrelle *Pipistrellus pygmaeus* (56–72 kHz), which confirms the absence of a noticeable influence on the behaviour of this species. After modification (adjustment of the range to 23–30 kHz), the device was adapted to the frequencies of the *Nyctalus noctula*. As a result, a decrease in its activity was recorded: the number of registrations within the action zone of the deterrent decreased from twelve (during periods when the device was turned off) to seven (during periods when the device was turned on) for equal time intervals. The obtained results confirm the potential effectiveness of ultrasonic deterrent devices as a local technical means for minimizing the influence of wind energy installations on bats. It is noted that the effectiveness of the device has a species-specific character and depends on the frequency adjustment, signal intensity, environmental conditions, and spatial activity of the animals.

The introduction of a multi-frequency mode adapted to the echolocation ranges of specific bat species occurring in the area of wind energy installations, as well as further testing of the device under various altitudes and weather conditions, is proposed. The combination of ultrasonic systems with operational restrictions of wind turbines and preliminary monitoring of the local fauna is recommended.

Key words: monitoring, environmental assessment, biodiversity conservation, bats, repellent, wind energy.

Вступ

Активне розгортання вітроенергетичних проєктів в Україні супроводжується зростанням антропогенного навантаження на популяції рукокрилих, що входять до складу чутливих груп фауни та виконують важливу екосистемну функцію природного контролю комах-фітофагів. Однією з ключових проблем є зіткнення рукокрилих із лопатями ВЕУ, особливо в період активної міграції та під час інтенсивного полювання на комах. Попри впровадження стандартних заходів мінімізації впливу (зупинка чи гальмування ВЕУ в пікові години активності), рівень загибелі рукокрилих залишається високим, що вимагає пошуку додаткових технічних рішень.

Розробка систем відлякування рукокрилих у межах вітрових електростанцій (ВЕС) є відносно новим напрямком, у якому досі немає усталених практик в Україні. Частина досліджень зосереджена на використанні ультрафіолетового (УФ) освітлення, як потенційного відлякувального чинника. Польовий експеримент на Гаваях засвідчив зниження активності кажанів на 44% при застосуванні тьмяного УФ-світла, попри збільшену кормову базу (Gorresen et al., 2015). Натомість, випробування безпосередньо поблизу ВЕУ продемонстрували відсутність статистично значущого ефекту, а, в окремих випадках, навіть тенденцію до приваблення тварин (Cryan et al., 2022). Національна лабораторія відновлюваної енергії зазначає, що гіпотеза про використання ультрафіолетового світла для порушення візуальної привабливості ВЕУ для кажанів залишається непідтвердженою та непереконливою на практиці (National..., 2024). Це свідчить про неоднозначність УФ-методу та необхідність глибшого аналізу видоспецифічної реакції.

Найбільшу увагу в наукових працях приділяють ультразвуковим відлякувачам, однак результати випробувань залишаються фрагментарними. У Пенсильванії у перший рік роботи системи зафіксовано зниження смертності на 21–51%, але у наступний сезон статистично значущого ефекту не виявлено (Arnett et al., 2013). Подальша апробація імпульсних систем від General Electric показала складність їхнього налаштування та відсутність переваг над простішими стаціонарними відлякувачами (AWWI ..., 2018). У штаті Іллінойс середній рівень зниження смертності становив 29%, але ефективність суттєво коливалась залежно від виду та року спостережень (Romano et al., 2019). Таким

чином, ультразвукові технології демонструють потенціал, але залишаються нестабільними у практичному застосуванні.

Окремі дослідження були спрямовані на порівняльну оцінку різних технологій впливу на поведінку кажанів. Зокрема, порівняння ультразвукових та радарних систем показало значно вищу ефективність акустичного впливу (приблизно 80% зниження активності), тоді як радар не спричиняв жодних змін у поведінці тварин (Gilmour et al., 2020). Експерименти у контрольованих умовах підтвердили, що ультразвукові відлякувачі можуть змінювати траєкторію польоту у рукокрилих, а їх реакція є різною залежно від виду, статі та сезону (Fritts et al., 2024). Це піднімає питання про необхідність адаптивних, видоспецифічних систем відлякування замість універсальних рішень.

Паралельно з технологічними підходами активно розвивається напрям обмеження роботи турбін (гальмування або зупинка). Польові дані з Хорватії засвідчили зниження смертності на 78% при зупинці або зміні режиму роботи турбін у періоди високої активності кажанів (Rnjak et al., 2023). Додатковим перспективним напрямом досліджень є оцінка впливу безпілотних літальних апаратів: стандартні мультикоптерні дрони мали виражений відлякувальний ефект, тоді як легкі LTA-платформи (БПЛА легші за повітря) не впливали на поведінку тварин (Roswag et al., 2025). Глобальний огляд сучасних практик підтверджує, що саме обмеження «curtailment» (гальмування чи тимчасова зупинка ВЕС) залишаються оптимальною стратегією зі зменшення смертності, тоді як ефективність акустичних і оптичних відлякувачів поки що залишається дискусійною (Voigt et al., 2025).

Метою роботи є оцінка біоакустичних параметрів ультразвукового відлякувача типу «СуперКіт-1000» та визначення його потенціалу для подальшої інтеграції у систему мінімізації ризику зіткнень рукокрилих з вітроенергетичними установками (ВЕУ).

Для досягнення мети поставлено завдання:

1. Здійснити біоакустичне вимірювання частотного спектра випромінювання пристрою «СуперКіт-1000».

2. Порівняти параметри сигналу відлякувача з діапазонами ехолокаційних сигналів рукокрилих, характерних для фауни України.

3. Зафіксувати наявність або відсутність поведінкової реакції різних видів рукокрилих у зоні дії пристрою.

4. Провести повторне випробування удосконаленої версії відлякувача, адаптованої під *Nyctalus noctula*, для визначення видоспецифічної реакції.

5. Окреслити перспективи доопрацювання конструкції та частотних характеристик пристрою для потенційного використання у межах вітроенергетичних об'єктів.

Матеріал і методи

Випробування відлякувача «СуперКіт-1000» (рис. 1; виробник ФОП Паламарчук Сергій Миколайович) проводилися з використанням біоакустичного модуля Echo Meter Touch 2 Pro, який дозволяє фіксувати ультразвукові сигнали з частотою до 192 кГц і високою роздільною здатністю часово-частотного аналізу. Записи виконувалися з використанням програмного забезпечення Echo Meter Touch та Kaleidoscope Lite із візуалізацією хвильових форм та побудовою сонограм для подальшого аналізу частотного спектра.

Перший етап експерименту (серпень 2023 року). Польові дослідження проведено в лісостеповій зоні на межі агроландшафту та соснового лісового масиву, поблизу якого розташовані невеликі водойми. Обрана ділянка характеризується сприятливими умовами для концентрації рукокрилих. У межах радіуса 20 км вітроенергетичні установки відсутні, що виключало вплив техногенних ультразвукових перешкод.

Дослідження здійснювали з 21:15 до 23:00 у серпневу ніч 2023 року за сприятливих погодних умов (температура повітря +22 °С, безвітряно, без опадів).

Відлякувач «СуперКіт-1000» розміщували на висоті 1 м над поверхнею ґрунту, а детектор – на відстані 5 м від джерела ультразвуку.

Для визначення дальності поширення сигналу проводили серію тестів на різних дистанціях – 2, 5, 10, 15, 20, 25 і 30 метрів. На кожній із точок фіксували рівень інтенсивності сигналу та частотний діапазон.

Отримані дані аналізували спектрографічно, визначаючи реальний частотний діапазон роботи пристрою, стабільність сигналу та його затухання з відстанню.

Другий етап експерименту (липень 2024 року). З метою оцінки поведінкової реакції рукокрилих у зоні дії пристрою проведено короткотривале дослідження у міських умовах (м. Київ). Експеримент виконувався на 7-му поверсі житлової будівлі (орієнтовна висота 22 м) у нічний період із 21:30 до 23:30.

Тестували модифіковану версію відлякувача «СуперКіт-1000», налаштовану на частотний діапазон 23–30 кГц, який частково перекриває ехолокаційний спектр вечірниць рудої (*Nyctalus noctula*) – виду, що трапляється в межах діючої Овідіопольської ВЕС. Вечірниця руда за візуальними спостереженнями (під час сутінок) здійснює переміщення на висоті 15–100 метрів, що в зоні ризику лопастей ВЕУ, саме тому обрано *Nyctalus noctula* для проведення експерименту.



а)



б)

Рис. 1. Відлякувач «СуперКіт-1000»: а) версія 2023 року, випромінювання частот 34–37, 44–48 кГц; б) версія 2024 року із зміненою частотою 23–30 кГц та більшою ємністю елементів живлення

Для підвищення ефективності пристрою виробником було збільшено потужність випромінювання та ємність акумулятора, що подовжило тривалість безперервної роботи.

Записи проводилися з чергуванням 10-хвилинних інтервалів увімкнення та вимкнення відлякувача, що дозволило оцінити зміну активності рукокрилих у присутності та відсутності звукового впливу.

Фіксацію сигналів рукокрилих здійснювали за допомогою Echo Meter Touch 2 Pro, а ідентифікацію видів – за допомогою внутрішньої бібліотеки програмного забезпечення, яка дозволяє автоматично розпізнавати види за характеристиками ультразвукових сигналів.

Методика досліджень не передбачала вилову тварин або прямого контакту з ними та відповідала вимогам Європейської конвенції про захист хребетних тварин, що використовуються для експериментальних і наукових цілей (1986) та стандарту ДСТУ ISO/IEC 17025:2005 (2006).

Результати

Випробування №1 (2023 рік). За результатами спектрографічного аналізу встановлено, що пристрій «СуперКіт-1000» випромінює змінний ультразвуковий сигнал у двох діапазонах – 34–37 кГц та 44–48 кГц, із

почерговим перемиканням між ними кожні 5–10 секунд. На момент перемикання спостерігалось короточасне зниження інтенсивності сигналу, що добре фіксувалося в інтерфейсі програми Echo Meter Touch Pro (рис. 2).

Паралельно в межах ділянки реєструвалась активність рукокрилих, зокрема виду нетопир пігмей (*Pipistrellus pygmaeus*), ехолокаційні сигнали якого перебувають у діапазоні 56–72 кГц. Частотне розділення сигналів відлякувача та цього виду свідчить про відсутність прямого накладання, а отже, відлякувач не впливав на активність *Pipistrellus pygmaeus*, який фіксувався протягом усього періоду спостережень.

Таким чином, сигнал «СуперКіт-1000» лише частково перекриває діапазони ехолокації окремих видів рукокрилих. Ймовірно, для частини видів це може створювати акустичний дискомфорт у безпосередній близькості до джерела сигналу, що потенційно призводить до уникнення зони дії приладу.

Проте отримані результати свідчать, що протестована версія пристрою не охоплює основний спектр частот, характерних для більшості видів рукокрилих фауни України. Отже, універсальне застосування таких пристроїв наразі є обмеженим, а ефективність їх роботи потребує індивідуального підбору

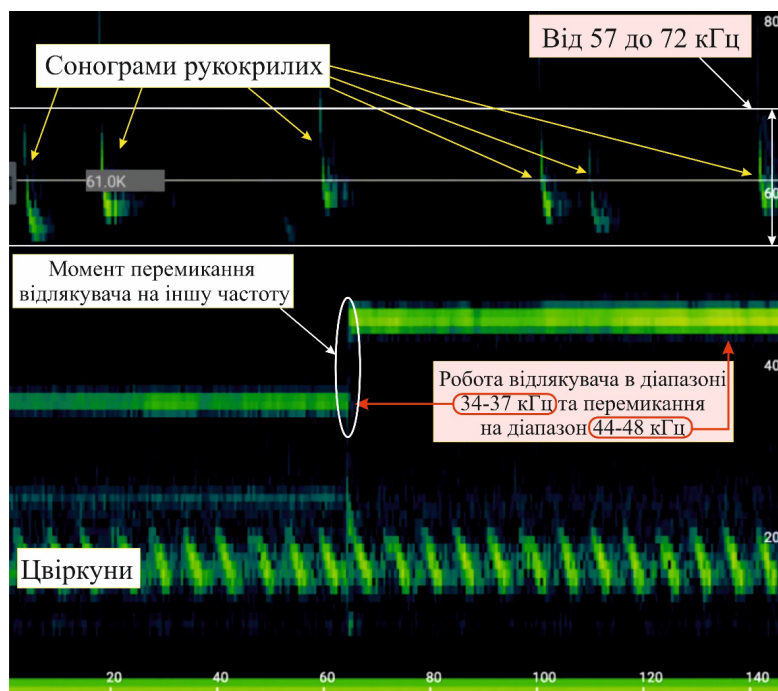


Рис. 2. Інтерфейс програми Echo Meter з ввімкненим відлякувачем та фіксацією нетопира пігмея (*Pipistrellus pygmaeus*)

частотного діапазону залежно від видового складу та біотопічних умов території.

Випробування №2 (2024 рік). Після аналізу попередніх результатів розробником було вдосконалено пристрій, зокрема, налаштований на постійне випромінювання у діапазоні 23–30 кГц, що відповідає частотам ехолокації виду вечірниця руда *Nyctalus noctula* – одного з найбільш уразливих видів у межах зон розташування ВЕС. Удосконалений прилад також характеризувався збільшеною потужністю та тривалістю автономної роботи (рис. 3).

У ході випробувань із використанням Echo Meter Touch Pro зафіксовано 19 сонограм вечірниці рудої *Nyctalus noctula* у період з 21:30 до 23:30. Із них:

- під час роботи відлякувача зареєстровано 7 записів, у яких спостерігалось значне зменшення кількості імпульсів;
- у періоди вимкнення пристрою (через кожні 10 хвилин) – 12 повноцінних записів, що вказує на підвищення активності виду у відсутність акустичного впливу.

Окремо проведено тест на дальність поширення сигналу. Максимальна ефективна зона дії пристрою становила до 15 м, на 20 м сигнал фіксувався слабо, а на 25 м і більше – не реєструвався.

Отримані результати свідчать, що ультразвуковий відлякувач «СуперКіт-1000», налаштований на частоти 23–30 кГц, зни-

жує активність *Nyctalus noctula* у межах своєї дії. Це підтверджує потенційну можливість використання таких пристроїв як додаткового засобу зменшення ризику зіткнень рукокрилих із ВЕС.

Водночас, ефективність відлякування залежить від потужності сигналу, висоти встановлення та типу середовища. З огляду на обмежену дальність дії (15–20 м), доцільним є проведення подальших довготривалих випробувань у різних типах ландшафтів, зокрема на мачтах і гондолах ВЕС. Такі дослідження мають здійснюватися поза межами постійних оселищ рукокрилих, щоб уникнути негативного впливу на червонокнижні види.

Обговорення

Отримані результати біоакустичних випробувань ультразвукового відлякувача типу «СуперКіт-1000» свідчать про його роботу у високочастотному діапазоні 34–37 кГц та 44–48 кГц, який частково перекривається з діапазонами ехолокації окремих видів рукокрилих, однак не збігається з типовими частотами *Pipistrellus pygmaeus* (56–72 кГц). Це узгоджується з даними первинного експерименту 2023 року, коли в зоні дії пристрою активність цього виду залишалася стабільною, що свідчить про відсутність уникнення.

Додаткові тести 2024 року, проведені у міських умовах (м. Київ, 7 поверх, висота

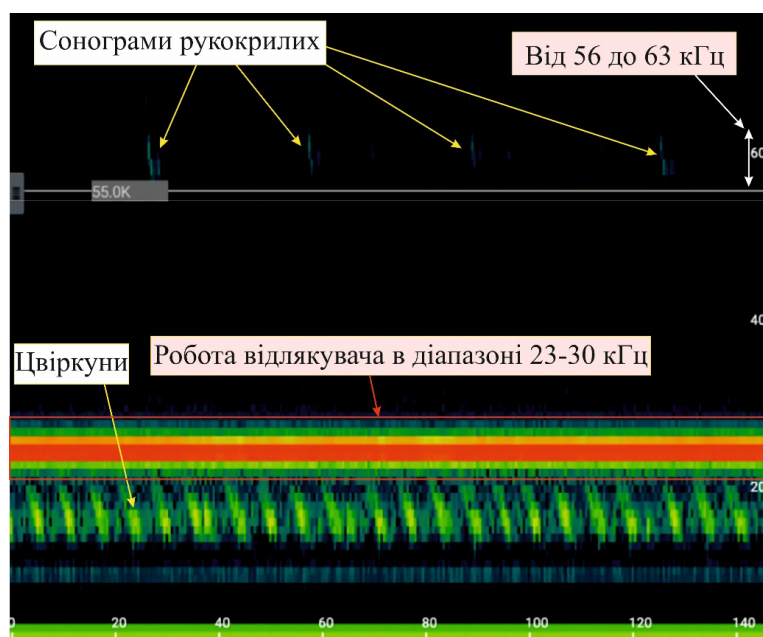


Рис. 3. Інтерфейс програми Echo Meter з ввімкненим відлякувачем (частота 23–30 кГц) та фіксацією нетопира пігмея (*Pipistrellus pygmaeus*)

22 м), виявили короткочасне зниження активності *Nyctalus noctula* у періоди безпосереднього вмикання пристрою на оновленій частоті відлякувача 23–30 кГц. Це може свідчити про потенційну ефективність приладу в зоні високої просторової активності виду, чутливого до низько- та середньочастотних ультразвукових сигналів. Водночас відновлення активності через 5–10 хвилин після вимкнення відлякувача вказує на тимчасовий характер ефекту.

Випробування на дальність поширення сигналу (до 30 м) показали поступове зниження інтенсивності ультразвуку вже після 15–20 м, що відповідає загальновідомим закономірностям затухання високочастотних хвиль у повітрі. Національна лабораторія відновлюваної енергії також визначила, що швидке загасання високочастотного ультразвуку є однією з основних причин змінної ефективності відлякувачів біля БЕУ (National..., 2024). Таким чином, зона потенційного впливу пристрою в реальних умовах може обмежуватись радіусом до 20 м, чого є недостатньо для використання на конструкційних елементах сучасних турбін та є потреба тестувати потужніші відлякувачі, які охоплюватимуть більшу площу навколо БЕУ.

Порівняння з результатами досліджень в інших країнах, показує, що ефективність ультразвукових відлякувачів суттєво варіює залежно від виду, середовища та конструкційних особливостей відлякувачів. Польові тести в Пенсильванії продемонстрували зниження смертності кажанів на 21–51%, але з великою річною мінливістю (Arnett et al., 2013), а дослідження К. Кінз'є та В. Романо виявили видоспецифічний ефект, найбільш помітний для великих мігруючих видів (Kinzie & Miller, 2018; Romano et al., 2019). Наприклад, С. Вівер та ін. підтвердили високу ефективність відлякувачів, які значно знижують смертність *Lasiurus cinereus* на 78,4% та *Tadarida brasiliensis* на 54,5% (Weaver et al., 2020). Водночас, Дж. Клерк та ін. встановили, що ультразвукові відлякувачі можуть подвоювати смертність високочастотних *Lasiurus borealis* і не мають універсальної ефективності для всіх видів, що підкреслює ризики неадаптованих рішень (Clerc et al., 2025). Подібні тенденції фіксувалися й у контрольованих експериментах, які підтверджують, що реакція кажанів залежить не лише від частоти, а й від інтенсивності сигналу та тривалості впливу (Fritts et al., 2024; Gilmour et al.,

2020). Дослідження А. Гілмур та ін. додатково показало загальне зниження активності кажанів на 30% у зоні дії відлякувача та суттєве зменшення прольотів для *Myotis* spp., *Nyctalus* spp. та *Eptesicus* spp. за рахунок маскування ехолокації (Gilmour et al., 2021).

Результати 2023–2024 років свідчать, що частотний діапазон «СуперKit-1000» частково накладається на зону чутливості видів, що потенційно можуть гинути від зіткнень з лопатями БЕУ в Україні (*Nyctalus noctula*, *Eptesicus serotinus*, *Vespertilio murinus*). Це відкриває потенціал для адаптації пристрою як елемента комплексної системи мінімізації ризиків зіткнення. Водночас для підвищення ефективності необхідна технічна модернізація – зокрема, створення багаточастотних модулів, здатних адаптуватися до видового складу місцевої фауни, виявленого під час моніторингу.

Як технологічну альтернативу, З. Зенг та А. Шарма представили нове та бюджетне рішення: ультразвуковий тональний генератор на основі аеродинамічних свистків (замість крихких електронних перетворювачів) (Zeng & Sharma, 2023). Ця конструкція, що використовує принцип резонансу Гельмгольца і охоплює діапазон 20–50 кГц, пропонує простішу в обслуговуванні альтернативу.

Д. Рн'як, С. Войгт та Дж. Клерк наголошують на обмеженій ефективності технологічних відлякувачів порівняно з «curtailment» – заходи тимчасової зупинки або гальмування БЕУ (Rnjak et al., 2023; Voigt et al., 2024; Clerc et al., 2025). С. Войгт та ін. визначили, що «curtailment» протягом періодів високого ризику для рукокрилих має вищу ефективність аніж ультразвукові відлякувачі (Voigt et al., 2025). Однак застосування таких пристроїв у поєднанні з коригуванням режиму роботи турбін може значно зменшити ризик загибелі рукокрилих у нічний період активності.

Отже, результати двоетапного випробування ультразвукового відлякувача «СуперKit-1000» в разі правильного його встановлення підтверджують його безпечність для більшості видів рукокрилих та подальшу придатність для модифікації під потреби вітроенергетичних об'єктів. Наступні етапи дослідження мають бути спрямовані на перевірку ефективності пристрою безпосередньо на БЕУ та визначенні видоспецифічних реакцій у різних регіонах України.

Висновки

1. Первинне тестування ультразвукового відлякувача «СуперКіт-1000» показало, що сигнал пристрою у діапазоні 34–37 та 44–48 кГц не перекриває основні ехолокаційні частоти *Pipistrellus pygmaeus* (56–72 кГц). Активність цього виду залишалася стабільною в зоні дії пристрою, що свідчить про відсутність негативного впливу на його поведінку та полювання.

2. Друге випробування на частотах відлякувача 23–30 кГц підтвердило короткочасну поведінкову реакцію *Myotis noctula* на сигнал «СуперКіт-1000» (зниження кількості реєстрацій з 12 до 7 між періодами вимкнення та ввімкнення відповідно).

3. Тест на дальність поширення сигналу показав значне зниження інтенсивності ультразвуку після 15–20 м, що визначає практичний радіус дії пристрою. Це дозволяє розглядати його як придатний для встановлення на критичних елементах БЕУ (гондолах або щоглах), але вимагає використання кількох модулів чи підвищення потужності таких відлякувачів.

4. Для підвищення ефективності ультразвукового відлякувача доцільно впровадити багаточастотний режим, який дозволить охопити чутливі діапазони кон-

кретних видів рукокрилих, які зустрічаються в межах ВЕС (залежить від регіону). Такий режим має бути встановлений на основі даних попереднього моніторингу.

5. Використання ультразвукових відлякувачів має розглядатися як допоміжний технологічний захід у поєднанні з управлінськими методами керування роботою БЕУ (обмеження обертання лопатей у пікові періоди активності рукокрилих), що може суттєво знизити рівень їхньої смертності.

6. Перед впровадженням подібних пристроїв на ВЕС рекомендовано здійснювати, щонайменше, річний акустичний моніторинг місцевих популяцій рукокрилих, з врахуванням сезонних і видових відмінностей, для оптимального налаштування частотного діапазону.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на:

- розширені польові випробування при різних погодних умовах та на різних висотах;
- визначення видоспецифічних реакцій рукокрилих у різних регіонах України;
- тестування ефективності приладу безпосередньо на БЕУ в реальних умовах експлуатації.

Список використаної літератури

- Arnett E. B., Hein C. D., Schirmacher M. R., Huso M. M., Szwczak J. M. Evaluating the effectiveness of an ultrasonic acoustic deterrent for reducing bat fatalities at wind turbines. *PLoS ONE*. 2013. Vol. 8. №. 6. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065794>.
- AWWI technical report: Evaluating a commercial-ready technology for raptor detection and deterrence at a wind energy facility in California. American Wind Wildlife Institute, 2018. 96 p. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.awwi.org/resources/dtbird-technical-report/> (дата звернення: 27.09.2025).
- Clerc J., Huso M., Schirmacher M., Hein C. Ultrasonic deterrents provide no additional benefit over curtailment in reducing bat fatalities at an Ohio wind energy facility. *PLoS ONE*. 2025. Vol. 20. №. 5. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0318451>.
- Cryan P. M., Gorresen P. M., Straw B. R., Thao S., DeGeorge E. Influencing Activity of Bats by Dimly Lighting Wind Turbine Surfaces with Ultraviolet Light. *Animals*. 2022. Vol. 12. №. 1. <https://doi.org/10.3390/ani12010009>.
- Fritts S., Guest E., Weaver S., Hale A., Morton B., Hein C. Experimental trials of species-specific bat flight responses to an ultrasonic deterrent. *Peer J*. 2024. Vol. 12. e16718. <https://doi.org/10.7717/peerj.16718>.
- Gilmour L. R. V., Holderied M. W., Pickering S. P., Jones G. Comparing acoustic and radar deterrence methods as mitigation measures to reduce human-bat impacts and conservation conflicts. *PLoS ONE*. 2020. Vol. 15. №. 2. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228668>.
- Gilmour L. R. V., Holderied M. W., Pickering S. P., Jones G. Acoustic deterrents influence foraging activity, flight and echolocation behaviour of free-flying bats. *Journal of Experimental Biology*. 2021. Vol. 224. №. 20. <https://doi.org/10.1242/jeb.242715>.
- Gorresen P. M., Cryan P. M., Dalton D. C., Wolf S., Bonaccorso F. J. Ultraviolet vision may be widespread in bats. *Acta Chiropterologica*. 2015. Vol. 17. №. 1. P. 193–198. <https://doi.org/10.3161/15081109ACC2015.17.1.017>.

Kinzie K. W., Miller M. F. Ultrasonic Bat Deterrent Technology: Technical Report. Niskayuna : General Electric Company, 2018. 12 p. [Електронний ресурс]. URL: <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Kinzie-Rominger-2018.pdf> (дата звернення: 17.10.2025).

National Renewable Energy Laboratory. Using ultraviolet light to deter bats from wind turbines : short science summary. U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, 2024. [Електронний ресурс]. URL: <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/summaries/NREL-Wind-ECO-Wind-UV-Light-Bat-Deterrent.pdf> (дата звернення: 17.10.2025).

Rnjak D., Janeš M., Križan J., Antonić O. Reducing bat mortality at wind farms using site-specific mitigation measures: a case study in the Mediterranean region, Croatia. *Mammalia*. 2023. Vol. 87. №. 3. P. 211–220. <https://doi.org/10.1515/mammalia-2022-0100>.

Romano W. B., Skalski J. R., Townsend R. L., Kinzie K. W., Coppinger K. D., Miller M. F. Evaluation of an Acoustic Deterrent to Reduce Bat Mortalities at an Illinois Wind Farm. *Wildlife Society Bulletin*. 2019. Vol. 43. №. 4. P. 608–618. <https://doi.org/10.1002/wsb.1025>.

Roswag A., Roswag M. S., Fietz J., Taefi T. T. Advancing bat monitoring: Assessing the impact of unmanned aerial systems on bat activity. *PLoS ONE*. 2025. Vol. 20. №. 1. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0314679>.

Voigt C. C., Bernard E., Huang J. C.-C., Frick W. F., Kerbiriou C., MacEwan K., Mathews F., Rodríguez-Durán A., Scholz C., Webala P. W., Welbergen J., Whitby M. Toward solving the global green-green dilemma between wind energy production and bat conservation. *BioScience*. 2024. Vol. 74. P. 240–252. <https://doi.org/10.1093/biosci/biae023>.

Voigt C. C., Scholz C., Klein H. Wind turbines displace bats from drinking sites. *Biological Conservation*. 2025. Vol. 302. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2025.110968>.

Weaver S. P., Hein C. D., Simpson T. R., Evans J. W., Castro-Arellano I. Ultrasonic Acoustic Deterrents Significantly Reduce Bat Fatalities at Wind Turbines. *Global Ecology and Conservation*. 2020. Vol. 24. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01099>.

Zeng Z., Sharma A. Aerodynamic-whistles-based ultrasonic tone generators for bat deterrence. *Physics of Fluids*. 2023. Vol. 35. №. 9. <https://doi.org/10.1063/5.0160564>.

References

Arnett, E.B., Hein, C.D., Schirmacher, M.R., Huso, M.M., & Szewczak, J.M. (2013). Evaluating the effectiveness of an ultrasonic acoustic deterrent for reducing bat fatalities at wind turbines. *PLoS ONE*, 8(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065794> [in English].

AWWI technical report. (2018). *Evaluating a commercial-ready technology for raptor detection and deterrence at a wind energy facility in California*. American Wind Wildlife Institute. [Electronic resource] URL: <https://www.awwi.org/resources/dtbird-technical-report/> (access date 27.09.2025) [in English].

Clerc, J., Huso, M., Schirmacher, M., & Hein, C. (2025). Ultrasonic deterrents provide no additional benefit over curtailment in reducing bat fatalities at an Ohio wind energy facility. *PLoS ONE*, 20(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0318451> [in English].

Cryan, P.M., Gorresen, P.M., Straw, B.R., Thao, S., & DeGeorge, E. (2022). Influencing Activity of Bats by Dimly Lighting Wind Turbine Surfaces with Ultraviolet Light. *Animals*, 12(1), 1009. <https://doi.org/10.3390/ani12010009> [in English].

Fritts, S., Guest, E., Weaver, S., Hale, A., Morton, B., & Hein, C. (2024). Experimental trials of species-specific bat flight responses to an ultrasonic deterrent. *PeerJ*, 12. <https://doi.org/10.7717/peerj.16718> [in English].

Gilmour, L.R.V., Holderied, M.W., Pickering, S.P., & Jones, G. (2020). Comparing acoustic and radar deterrence methods as mitigation measures to reduce human-bat impacts and conservation conflicts. *PLoS ONE*, 15(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228668> [in English].

Gilmour, L.R.V., Holderied, M.W., Pickering, S.P., & Jones, G. (2021). Acoustic deterrents influence foraging activity, flight and echolocation behaviour of free-flying bats. *Journal of Experimental Biology*, 224(20). <https://doi.org/10.1242/jeb.242715> [in English].

Gorresen, P.M., Cryan, P.M., Dalton, D.C., Wolf, S., & Bonaccorso, F.J. (2015). Ultraviolet vision may be widespread in bats. *Acta Chiropterologica*, 17(1), 193–198. <https://doi.org/10.3161/15081109ACC2015.17.1.017> [in English].

Kinzie, K.W., & Miller, M.F. (2018). *Ultrasonic Bat Deterrent Technology: Technical Report*. Niskayuna: General Electric Company. [Electronic resource] URL: <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Kinzie-Rominger-2018.pdf> (access date 17.10.2025) [in English].

National Renewable Energy Laboratory. (2024). *Using ultraviolet light to deter bats from wind turbines: short science summary*. U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. [Electronic resource] URL: <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/summaries/NREL-Wind-ECO-Wind-UV-Light-Bat-Deterrent.pdf> (access date 17.10.2025) [in English].

Rnjak, D., Janeš, M., Križan, J., & Antonić, O. (2023). Reducing bat mortality at wind farms using site-specific mitigation measures: a case study in the Mediterranean region, Croatia. *Mammalia*, 87(3), 211–220. <https://doi.org/10.1515/mammalia-2022-0100> [in English].

Romano, W.B., Skalski, J.R., Townsend, R.L., Kinzie, K.W., Coppinger, K.D., & Miller, M.F. (2019). Evaluation of an Acoustic Deterrent to Reduce Bat Mortalities at an Illinois Wind Farm. *Wildlife Society Bulletin*, 43(4), 608–618. <https://doi.org/10.1002/wsb.1025> [in English].

Roswag, A. et al. (2025). Advancing bat monitoring: Assessing the impact of unmanned aerial systems on bat activity. *PLoS ONE*, 20(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0314679> [in English].

Voigt, C.C., Bernard, E., Huang, J.C.-C., Frick, W.F., Kerbiriou, C., MacEwan, K., Mathews, F., Rodríguez-Durán, A., Scholz, C., Webala, P.W., Welbergen, J., & Whitby, M. (2024). Toward solving the global green-green dilemma between wind energy production and bat conservation. *BioScience*, 74(4), 240–252. <https://doi.org/10.1093/biosci/biae023> [in English].

Voigt, C.C., Scholz, C., & Klein, H. (2025). Wind turbines displace bats from drinking sites. *Biological Conservation*, 302. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2025.110968> [in English].

Weaver, S.P., Hein, C.D., Simpson, T.R., Evans, J.W., & Castro-Arellano, I. (2020). Ultrasonic Acoustic Deterrents Significantly Reduce Bat Fatalities at Wind Turbines. *Global Ecology and Conservation*, 24. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01099> [in English].

Zeng, Z., & Sharma, A. (2023). Aerodynamic-whistles-based ultrasonic tone generators for bat deterrence. *Physics of Fluids*, 35(9). <https://doi.org/10.1063/5.0160564> [in English].

Отримано: 28.10.2025

Прийнято: 05.12.2025

Опубліковано: 30.12.2025

