

*М. Г. ТАРАСЕНКО, К. М. КОЗАК, Л. А. ОМЕЙЗА*

## ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕКОЛОГІЧНІСТЬ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

У статті проаналізовано енергоефективність та екологічність атомних електростанцій та вітроенергетичних установок в умовах інтенсивного зростання населення і, як наслідок, зростання потреб в електроенергії з урахуванням негативного впливу на оточуюче середовище не тільки в процесі будівництва енергетичних об'єктів, але й експлуатації та утилізації після закінчення терміну експлуатації. Підкреслено, що в процесі розвитку суспільства вітрогенератори спочатку використовувалися лише для помелу зерна, відкачування води, осушування боліт, розширення сільськогосподарських угідь тощо і лише потім, у зв'язку з дефіцитом енергоресурсів, їх почали використовувати для вироблення електроенергії. Паралельно з цим такі вчені як Петро Капіца, Сергій Вавілов, Ігор Курчатов, Микола Доллежал та інші займалися становленням ядерної енергетики. В результаті в 1954 році в місті Обнінськ була побудована перша в світі атомна електростанція потужністю 5 МВт. Це був настільки революційний прорив в електроенергетиці, що від вітроенергетики відмовились. З цього моменту кількість реакторів почала стрімко зростати, досягнувши у 2002 році цифри 438. Але починаючи з 1969 року на атомних електростанціях стали відбуватися аварії. На теперішній час сталося 22 знакових аварії, включаючи Чорнобильську в Україні у 1986 році. Не менш руйнівною була аварія у 2011 році на атомних електростанціях Оганаві і Фукусіма-1 в Японії. Після Чорнобильської аварії 1986 року людство знову згадало про вітрогенератори, які здавалися абсолютно екологічними. Але в процесі експлуатації з'ясувалося, що і вони мають свої недоліки. Проте, як показав час, більшість з них можна усунути шляхом удосконалення власне вітрогенераторів та оптимального розташування їх у вітропарках. Незважаючи на те, що всі аварії на атомних електростанціях сталися з вини обслуговуючого персоналу, атомна енергетика здатна стати безаварійною при впровадженні сучасних smart технологій. Таким чином, як атомні, так і вітрові електростанції повинні розвиватися, доповнюючи одна одну на перекуп військовій агресії росії.

**Ключові слова:** електроенергія, екологічність, навколишнє середовище, лінії електропередачі, потужність, вітрогенератор, атомні електростанції, рослинний та тваринний світ, аеродинамічний дисбаланс, дисбаланс маси, трофічні зв'язки.

*M. G. TARASENKO, K. M. KOZAK, L. A. OMEIZA*

## ENERGY EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS OF NUCLEAR AND WIND POWER PLANTS

The article analyses the energy efficiency and environmental friendliness of nuclear power plants and wind power plants in the conditions of intensive population growth and, as a result, the growth of electricity needs, taking into account the negative impact on the environment not only during the construction of energy facilities, but also during operation and disposal after the end of the term operation. It is emphasized that in the process of society development wind generators were initially used only for grinding grain, pumping water, for draining swamps, for expanding agricultural land, etc., and only later, due to the shortage of energy resources, they began to be used to generate electricity. In parallel with this, such scientists as Petro Kapitsa, Serhii Vavilov, Igor Kurchatov, Mykola Dolezal and others were engaged in the development of nuclear energy. As a result, in 1954, the world's first atomic power plant with a capacity of 5 MW was built in the city of Obninsk. It was such a revolutionary breakthrough in electricity that wind energy was abandoned. From that moment, the number of reactors began to grow rapidly, reaching 438 in 2002. But starting in 1969, accidents began to occur at the nuclear power plant one after the other. There have been 22 landmark accidents, including Chornobyl in Ukraine in 1986. No less devastating was the accident in 2011 at the Oganawa and Fukushima 1 nuclear power plants in Japan. After the Chornobyl accident in 1986, humanity again remembered wind generators, which seemed ecological. But in the process of operation, it became clear that they also have their shortcomings. But, as time has shown, most of them can be eliminated by improving the actual wind generators and their optimal location in wind farms. Because all accidents at nuclear power plants are due to the fault of service personnel, atomic power can become accident-free with the introduction of modern smart technologies. Thus, both nuclear and wind power plants should develop, complementing each other to counter russia's military aggression.

**Keywords:** electricity, ecology, environment, power lines, power, wind turbine, nuclear power plants, flora and fauna, aerodynamic imbalance, mass imbalance, trophic relationships.

**Вступ.** Людство використовує енергію вітру вже більше 5000 років: мореплавання, вітряні млини для перемелювання зерна тощо. У Європі вітряки з'явилися у VIII–IX ст. В Голландії осушували море завдяки роботі сотень вітряків. У XVIII ст. вітряний млин був атрибутом майже кожного другого села в Україні, проте парова машина, а потім двигун внутрішнього згоряння витіснили їх. Перша вітрова електростанція (ВЕС) промислового типу була побудована у США у м. Клівленд (штат Огайо) у 1888 р. У Радянському Союзі перша вітрова електростанція потужністю 8 кВт була споруджена у 1929–1930 рр. під Курськом, а через рік у Криму було побудовано ВЕС потужністю 100 кВт, що на той час була найбільшою у світі та успішно працювала до 1942 р., але під час війни була

зруйнована. ВЕС самі по собі не можуть бути надійною основою енергетики. Вони або доповнюють основні потужності, вносячи певний внесок у виробництво необхідної електроенергії, або ж є джерелом електрики у віддалених чи ізольованих місцях, де є проблеми з електропостачанням, а потреби в ній невеликі [1]. Для нормальної роботи вітрових двигунів швидкість вітру не повинна падати у середньому за рік нижче за 4–5 м/с, а краще, коли вона становить 6–8 м/с. Проте для цих установок шкідливими є і надто великі швидкості вітру (урагани), які можуть їх зруйнувати. Найбільш сприятливими регіонами для використання вітрової енергії є узбережжя морів і океанів, степи, тундра, гірські райони. За оцінками вчених США, площа, придатна для розвитку вітроенергетики, охоплює

© М. Г. Тарасенко, К. М. Козак, Л. А. Омейза, 2023

25 % поверхні Землі [1]. Якщо врахувати економічні, технічні, екологічні та інші обмеження, то до 2020 р. можна було б побудувати ВЕС загальною потужністю у 450 млн. кВт, які могли б щороку виробляти 900 млрд. кВт-год електроенергії. Це становило б 3,5 % усієї електроенергії, що за прогнозами, була б вироблена з урахуванням факторів, які обмежують масштаби використання енергії вітру. Будувати одиничні агрегати великої потужності з економічної точки зору нераціонально. Тому доводиться будувати комплекси, що складаються з багатьох вітроустановок, об'єднаних у систему. Переривчастий графік роботи таких ВЕС вимагає здійснювати акумуляування енергії для забезпечення надійності електропостачання. Одним із провідних лідерів вітроенергетики є Німеччина, де до виробництва вітроустановок залучено близько двадцяти фірм, а вітроенергетикою займаються десять інститутів та організацій. Сучасні вітроустановки провідних німецьких виробників мають значну потужність – від 3000 кВт до 4,5 МВт. На провідні позиції вийшли країни Південної і Східної Азії КНР, Індія США, Канада, Японія. В Австралії показник приросту залишиться стабільним. Кримська вітроенергетична станція потужністю 100 кВт була для того часу найбільшою в світі. Проте в 1954 році в місті Обнінськ була побудована перша в світі атомна електростанція (АЕС) потужністю 5 МВт і вітрогенератори відійшли на другий план. Але чисельні аварії на АЕС (в тому числі і на підземних) на фоні інтенсивного приросту населення і погіршення екологічної ситуації примусило людство не тільки згадати, але й почати виробництво та експлуатацію вітрогенераторів. Найкраще з цим впорався Китай. Саме в Китаї кількість і потужність вітрогенераторів є найбільшими – загальна потужність 221 ГВт з найбільшою у світі вітровою фермою у провінції Ганьсу, потужністю 7965 МВт [2].

В теорії, ефективність роботи вітрогенераторів залежить і від кількості лопатей ротора: чим більше, тим ефективніше. Але, як не дивно, вітроколеса з малою кількістю лопатей мають більший коефіцієнт корисної дії (ККД), ніж з великою. Це обумовлено тим, що при великій кількості лопатей вони заважають одна одній. Від чого суттєво залежить ефективність вітроенергетичних установок (ВЕУ), так це від довжини лопатей в квадраті і швидкості вітрового потоку в кубі. Саме тому суттєво вплинути на ККД можна саме за рахунок зміни цих параметрів. Середні швидкості вітру на території України улітку знаходяться в діапазоні від 3–6 м/с, усереднене значення до 5 м/с. Узимку 5–8 м/с. На висоті 500 м вона вдвічі більша і приблизно складає 7 м/с [3].

Враховуючи те, що ефективність ВЕУ суттєво залежить від довжини лопатей і швидкості вітрового потоку, потужності і розміри ВЕУ мають наступні значення: вітрогенератор 0,6 кВт має діаметр вітроколеса 50 см і висоту 70 см; вітрогенератор 1–2 кВт мають діаметр і висоту 1 м; вітрогенератор від

2,5 кВт до 5 кВт мають один типорозмір – 1,5 м в діаметрі, 1,8 м висота. Найпотужнішим, за даними порталу Electrek Vestas [4], є вітрогенератор V236-15,0 МВт з діаметром ротора 236 м, висотою 280 метрів і площею поверхні, що обдувається вітром, 43743 м<sup>2</sup>. Гігантська ВЕУ з найбільшою у світі питомою потужністю, призначена для морської ВЕС, зійшла з виробничої лінії на китайському заводі в провінції Фуцзянь. Ця ВЕУ потужністю 16 МВт оснащена 146-метровою маточиною, що можна порівняти з висотою 50-поверхової будівлі. Данія і Португалія за розмірами роторів сучасних генераторів посідають друге місце. До початку широкомасштабної війни, в Україні «зелену» електроенергію генерували 34 вітроелектростанції (ВЕС) або 699 вітрових турбін». Найбільшими з них є Ботієвська – 200 МВт 64 турбіни, Приморська – 200 МВт 52 турбіни, Мирненська 163 МВт 35 турбін, Орлівська 100 МВт 26 турбін, Овер'янівська 68,4 МВт та вітровий парк Новоазовський 23 турбіни по 2,5 МВт кожна. Усі ВЕС першої сімки, крім Ботієвської та Приазовської, були введені в експлуатацію у 2019 році. Ботієвська введена в експлуатацію у 2012 році. Сумарна потужність топ 7 найбільших ВЕС України складає майже 1 ГВт [5].

Військова агресія росії проти України поставила під загрозу роботу всіх українських ВЕС. Складна ситуація у тимчасово захопленому росією місті Енергодар. Окупанти незаконно змінили юридичну адресу, фейково підпорядкувавши Запорізьку АЕС (ЗАЕС) Москві. На ЗАЕС катастрофічно зростає дефіцит фахових працівників, які можуть забезпечити життєдіяльність станції. РФ провокацією на ЗАЕС хоче зупинити контрнаступ ЗСУ. Раніше російські окупанти позбавили перепусток на ЗАЕС та доступу на підприємство майже 1500 працівників, які відмовилися отримувати паспорти РФ та підписувати договір з «росатомом» [6]. Водночас багато українських ВЕС розташованих в південних регіонах, зазнали руйнівних атак російських військ. Систематично знищуються вітряні турбіни, лінії електропередачі, різне енергетичне обладнання. Крім того, російські війська масово крадуть обладнання електростанцій. За оцінками Української вітроенергетичної асоціації, лише 27 % від загальних вітроенергетичних потужностей в Україні зараз виробляють електроенергію, решта виведена з експлуатації у зв'язку з пошкодженням трансформаторних підстанцій та повітряних ліній електропередачі тощо [7].

**Аналіз відомих результатів та досліджень.** Питаннями створення, розвитку, удосконалення та експлуатації вітрогенераторів займалися такі вчені як Білл Геронемус, відомий у всьому світі як «батько сучасної вітроенергетики», Кудря С. О., Ковалко М. П., Денисюк С. П., Дурас М. В., Дзюба І. М., Железняк М. Г., Подгуренко В. С. А розробкою АЕС такі вчені як Петро Капіца, Сергій Вавілов, Ігор Курчатов, Микола Доллежал. Однак, незважаючи на великий обсяг робіт і практичних

втілень у цих напрямках, питання щодо енергоефективності та екологічності АЕС та вітрогенераторів потребують подальших досліджень.

**Мета статі** полягає в оцінюванні енергоефективності та екологічності атомних електростанцій та вітрогенераторів.

**Постановка проблеми та виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів.** У зв'язку з інтенсивним ростом населення планети, чисельність якого на 15 листопада 2022 року згідно даних ООН досягла 8 млрд осіб, вказує на необхідність державної політики квотування народжуваності не насильницькими методами, в першу чергу в тих країнах, де густина населення найбільша (Бангладеш – 1265 осіб на км<sup>2</sup>, Індія – 464 осіб на км<sup>2</sup>, Японія – 347 осіб на км<sup>2</sup>, Пакистан – 287 осіб на км<sup>2</sup>, Нігерія – 226 осіб на км<sup>2</sup>, Китай – 153 осіб на км<sup>2</sup>, Індонезія – 151 особа на км<sup>2</sup> тощо) [8, 9], та проведення пошуку не просто нових способів вироблення електроенергії, а екологічно чистого вироблення електроенергії. Такі роботи були проведені, і вже в 1954 році 27 червня в місті Обнінськ СРСР Калузької області була введена в дію перша АЕС потужністю 5 МВт. Цей вид енергії, в той час, вважався перспективним і екологічно чистим. Список АЕС світу, заснований на даних Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) та всесвітньої ядерної асоціації (WNA), свідчить (липень 2022 року), що у 32 країнах світу з 40 експлуатувалося 440 ядерних реакторів загальною електричною потужністю 394 ГВт. 54 енергоблоки були на стадії будівництва, 201 енергоблок було закрито. Але у 2022 році кількість реакторів зменшилася. Згідно світової статистики на кінець року експлуатувалося всього 411 реакторів. Це на 29 реакторів менше ніж було у 2005 році коли атомна галузь досягла свого історичного максимуму – 440 реакторів загальною електричною потужністю 368,04 ГВт [10]. Однією з причин були аварії на АЕС.

1. 12 грудня 1952 увійшло в історію, як дата першої в світі серйозної аварії на АЕС в штаті Онтаріо (Канада). Причиною стала помилка технічного характеру, яку допустив персонал АЕС. Це призвело до перегріву і часткового розплавлення активної зони.

2. 10 жовтня 1957 року на АЕС Віндскейл (Великобританія) сталася друга велика аварія. Через помилку, допущену при експлуатації одного з двох реакторів, виникла пожежа в активній зоні, що тривала чотири доби. Під час пожежі згоріло 11 тон урану.

3. 17 жовтня 1969 році сталася аварія на АЕС Сен-Лоран-дез-О у Франції. Причиною була неухважність оператора нічної зміни, який неправильно завантажив паливний канал. Це призвело до вибуху запущеного реактора потужністю 500 МВт. Незважаючи на це в 1973 році Японія як країна, що суттєво залежала від імпорту

палива, оголосила ядерну енергетику національним стратегічним пріоритетом.

4. 22 березня 1975 року сталася аварія на АЕС Браунс Феррі в Алабамі (США). Робітник із запаленою свічкою в руках вирішив владнати потрапляння повітря в бетонній стіні. Через протяг вогонь поширився на кабельний канал. Ця неприємна ситуація на цілий рік вивела АЕС з ладу.

5. У 1979 році на АЕС Три-Майл-Айленд (США) з вини грубих помилок операторів і серії збоїв у роботі обладнання сталася одна з наймасштабніших в історії аварій. Активна зона другого енергоблоку АЕС була розплавлена на 53 %. З постраждалого району довелося евакуювати 200 тисяч людей. Крім того, в атмосферу було викинуто інертні радіоактивні гази – йод і ксенон. У річку Сукухана потрапило 185 м<sup>3</sup> радіоактивної води.

6. 26 квітня 1986 року на Чорнобильській АЕС в Україні сталася найбільша техногенна катастрофа ХХ ст. На жаль, аварії на Чорнобильській АЕС і досі належить першість за наслідками та потужністю вибуху серед катастроф ХХ ст. та ХХІ ст.

7. 30 вересня 1999 року сталася найбільша ядерна аварія в історії Японії. Знову через помилку персоналу на заводі, який спеціалізувався на виготовленні палива для АЕС. В містечку Токай Мура почалася неконтрольована ланцюгова реакція, що тривала 17 годин. Дозу, що перевищує щорічно допустимий рівень, отримали 119 осіб. Всього було опромінено 439 робітників. З трьох людей, які отримали критичну дозу, двоє померли.

8. Внаслідок найпотужнішого за всю історію Японії землетрусу 11 березня 2011 року була зруйнована турбіна на АЕС Онагава. Пожежа, що виникла була швидко ліквідована. Набагато серйозніше склалася ситуація на АЕС Фукусіма-1, де через відключення системи охолодження розплавилася ядерне паливо в реакторі блоку № 1. У зв'язку з виявленим витоків була проведена евакуація населення у десяти кілометровій зоні навколо АЕС. І це не все. Всього на даний момент налічується 22 подібного роду аварій [11].

Всі перелічені події підкреслили необхідність пошуку ефективних альтернативних відновлюваних екологічно чистих джерел енергії. В результаті на початок 2018 року в Україні було запущено 505 МВт потужностей вітрових електростанцій (пікових 533 МВт), причому 138 МВт залишилися на окупованій території Донецької та Луганської областей, а ще 87,8 МВт залишилося у Криму. Частка вітроенергетичних потужностей, що були введені в експлуатацію у 2021 році, склала 30,6 % або 358,8 МВт, що у 2,5 рази більше обсягу нових вітроенергетичних потужностей, введених у 2020 році (144,2 МВт). Для порівняння, у Великій Британії загальна потужність вітроенергетики перевищує 13 ГВт [12].

На теперішній час в результаті воєнного повномасштабного вторгнення росії 90 %

потужностей вітроенергетики в Україні виведені з експлуатації [12]. Щодо існуючих на сьогоднішній день в Україні потужностей вітрових електростанцій, то вони вже перевищують 51 МВт, а з моменту, коли запрацювала перша вітчизняна вітрова електростанція, вироблено понад 80 млн кВт·год електроенергії. За оцінками фахівців, загальна потенційна потужність української вітроенергетики становить 5000 МВт [14]. Цьому сприяла поява не тільки потужних ВЕУ промислового виробництва, але й малопотужних вдалих і не дуже вдалих у приватному секторі. З 1980 року потужність ВЕУ зросла більше ніж у 3000 раз, особливо у Північній Америці та Західній Європі. ВЕУ не забруднюють повітря хімікатами, але вони створюють шум. Ці електростанції працюють найефективніше при потужному вітрі, але вразливі до ураганів. Хоча останнім часом розроблено вітрогенератор на основі ефекту Магнуса (рис. 1), який здатний перетворювати енергію тайфунів ураганів та циклонів в електроенергію, адже використовувати під час циклонів звичайні вітрові установки вкрай небезпечно – їх лопаті можуть постраждати. Саме тому звичайні ВЕУ вимикають при наближенні циклонів та тайфунів [15, 16].



Рисунок 1 – ВЕУ на основі ефекту Магнуса

Вертикальна ВЕУ на основі ефекту Магнуса має просту конструкцію з міцними циліндричними лопатями, що дає можливість витримувати не тільки руйнівні тропічні циклони та руйнівну силу тайфунів (119 км/год – 33 м/с), але й перетворювати їх руйнівну силу в електроенергію. Правда ефективність таких ВЕУ на чверть нижче, ніж у традиційних. Але при правильному їх використанні за один сезон тайфунів можна накопичити таку кількість енергії, якої вистачить для Японії на декілька років. В процесі введення та експлуатації ВЕУ з'ясувалося що їх робота також супроводжується певним негативним впливом на оточуюче середовище. а саме:

1. Підвищенням рівнем шуму внаслідок руху лопатей та роботи вітрогенератора, якщо ротор погано збалансований. Аеродинамічний дисбаланс виникає тоді, коли одна або більше лопатей мають аеродинамічну ефективність, відмінну від інших. Це може бути викликано різними аеродинамічними профілями між лопатями, наявністю ерозії передньої кромки лопатей, або, як у більшості випадків,

відхиленням конфігурації лопаті від оптимально необхідної. Наслідком дисбалансу є збільшення вібрації разом зі зменшенням вихідної потужності, оскільки лопаті ротора будуть менш ефективно вловлювати енергію вітру [17]. Іншим видом дисбалансу ротора є дисбаланс маси (векторна величина, що характеризує неврівноваженість обертових мас). Це відбувається тоді, коли одна з лопатей легша або важча за інші. В цьому випадку центр маси ротора не збігається з центром обертання, що призводить до значного збільшення вібрацій, які можуть бути шкідливими для трансмісії, корінного підшипника та коробки передач. Масовий дисбаланс не спричиняє прямих втрат виробництва електроенергії, але збільшення навантаження на привід може скоротити термін експлуатації вітротурбіни.

2. Мерехкотінням та блиском лопатей, внаслідок їх руху, та рухомими тінями.

3. Погіршенням якості вод та ґрунтів внаслідок аварійних розливів паливно-мастильних матеріалів та трансформаторних рідин.

4. Аварійні ситуації, небезпека поломки й відльоту ушкоджених частин вітроколеса. Так, у 2021 році за заявою операторів енергосистеми Техасу, майже половину встановлених вітроенергетичних станцій у штаті було відключено через обмерзання турбін. До енергетичної катастрофи призвело унікальне поєднання погодних умов, що трапляються у цьому регіоні дуже рідко – один раз у 50–100 років. У Канаді, наприклад, лопаті вітрогенераторів забезпечуються підігрівом для роботи в мороз і покриті матеріалом, який перешкоджає зледенінню. Зрозуміло, що це призводить до зростання тарифів. Враховуючи рідкісну унікальність цієї події керівництво Техасу покрило всі збитки за рахунок місцевого бюджету.

5. Накопичуються докази того, що комахи часто гинуть під час роботи вітротурбін, але не достатньо зрозуміло чи призводять ці смертельні випадки до зменшення популяції та зміни структур угруповань у різних просторових масштабах. Сучасні спостереження свідчать про те, що з вітровими турбінами найчастіше взаємодіють ті комахи що знаходяться на пагорбах.

Нещодавно було оцінено що річна втрата біомаси комах на вітрових турбінах у Німеччині становить 1200 т за період росту рослин. Це дорівнює приблизно 1,2 трильйона знищених комах за рік, при умові, що маса тіла комахи дорівнює 1 мг. Відповідно одна турбіна, розташована в помірній зоні, може знищувати близько 40 мільйонів комах на рік. Ці цифри викликають тривогу і потребують подальшої консолідації на всіх континентах і кліматичних зонах, де поширюється вітроенергетична промисловість. Потрібно пов'язати знищення комах на вітротурбінах із джерелом популяції, щоб оцінити чи призводить це явище до зменшення популяції і потенційного зникнення видів. Як при цьому змінюються такі екосистемі

послуги від них як запилення. Постійно зростаюча глобальна вітроенергетична галузь із високою щільністю вітряних турбін може мати довготривалий вплив на комах і пов'язані з ними трофічні зв'язки (це зв'язки живлення, наприклад, хижак – здобич). Все це повинно бути враховано під час проєктування, встановлення та експлуатації вітротурбін [18].

6. Комплексом факторів, що призводять до загибелі пернатих та кажанів.

7. Вібраціями та їх впливом на ґрунтову фауну (сукупність тварин, які пристосувалися до життя у ґрунті), рослинність та якість ґрунтів.

8. Привабленням нічної фауни світлом застережної ілюмінації.

9. Створенням осередків поширення адвентивних (заносних) та карантинних бур'янів, що завдають сильної шкоди посівам сільськогосподарських рослин.

10. Затінення природної ділянки та сприяння трансформації рослинності.

11. Припинення роботи та демонтаж вітроелектростанції після закінчення терміну її експлуатації також призводить до порушення земель або екосистем ділянки, аналогічних до механічних порушень, що відбуваються при будівництві вітроенергетичних станцій.

12. Експлуатація станцій, які виробляють енергію за допомогою ВЕУ, пов'язана з вилученням з обігу значних земельних ділянок і, ймовірно, в майбутньому буде супроводжуватися тими чи іншими негативними наслідками для довкілля.

Дослідження показали, що найчастіше зіткнення птахів та кажанів з різними частинами вітрових турбін відбуваються з рідкісними та зникаючими видами тварин з довгим періодом життя та низькими репродуктивними показниками. Найвищі коефіцієнти зіткнення були зафіксовані на територіях ВЕУ, розташованих на межі та біля великих лісових масивів.

Як правило коли мова йде про потужні ВЕУ більшість людей думає, що це великі білі лопаті і гігантські турбогенератори, що це дуже красиво. Насправді, якщо підійти ближче то ви почуєте сильний шум, вібрації, мерехотіння лопатей тощо. Знаходитися поблизу не дуже комфортно не тільки людям, але й представникам фауни і флори. Не дивлячись на це пернаті чудово дружать з потужними вітроелектростанціями. Вони добре знають територію, живуть і літають на безпечній від турбін відстані. Більшість птахів літають на висоті близько 1000 м. Більшість голубів на висоті від 100 до 150 м. Альпійська галка – 6 тис. метрів. Лебідь кликун – 2,5 тис. м. Проста Гуска – 9 тис. м. Сірий журавель – 10 тис. м. Сип плямистий – до 11 тис. м. Сірий горобець – на висотах 1200–4500 м. Якщо висота польоту птахів не буде перевищувати 50 м, в той час як загальна висота, наприклад, Новотроїцької ВЕУ дорівнює 117 м, при розмаху лопатей 136 м, то відстань від краю лопаті до землі буде дорівнювати

49 м ( $117 - 136/2 = 49$ ). У цьому випадку вірогідність ураження птахів лопатями потужних ВЕУ мінімальна. Якщо ж лопаті ще й розфарбувати таким чином, щоб чорна смуга на одній лопаті не повторювалася в тому ж самому розташуванні на двох інших лопатях (рис. 2) [19], то вірогідність загибелі крупних птахів (чаплі, могильники, орли, беркути) на територіях потужних ВЕУ буде близькою до нуля. Одна з найпотужніших на теперішній час 15 МВт ВЕУ з діаметром вітроколеса 236 м і площею, яку охоплюють лопаті 43 743 м<sup>2</sup> може забезпечувати електроенергією 20 000 домогосподарств не знищуючи птахів. Малопотужні ВЕУ до недавнього часу ще продовжували вбивати птахів і кажанів.

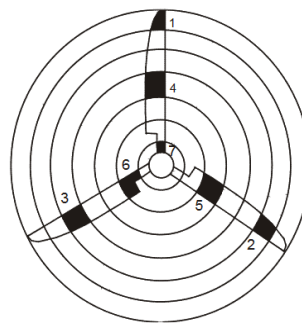


Рисунок 2 – Грамотно розфарбовані лопаті ВЕУ

З екологічної точки зору це абсолютно не припустимо. Пернаті дуже важливі для екосистеми – вони не дають множитися комарам, мухам, саранчі, мишам тощо. Недостача пернатих призводить до інтенсивного зростання кількості комах різного ступеня шкідливості. Очевидно що не можна допускати і утворення величезних зграй пернатих, які можуть знищити врожай в сільській місцевості. Треба сприяти утворенню природного балансу між цими процесами. Тотальне знищення пернатих завжди закінчується негативними наслідками, як це було в Китаї, коли в 1958 році за наказом Мао Цзедуну – голови ЦК Китаю з метою збільшення врожайів за три дні було знищено 900 тисяч птахів і 1,96 млрд горобців, але при цьому дуже розплодилася гуси́нь та сарана, які почали наполегливо з'їдати все навкруг. На наступний рік врожай зернових дійсно суттєво зріс, але ще через 2 роки ця кампанія закінчилася тим, що настав голод, в результаті якого загинуло понад 20 млн китайців [20].

Ключовим вагомим аргументом проти використання вітрогенераторів на перших етапах їх впровадження були механічний і аеродинамічний шуми. Після удосконалення конструкцій вітрогенераторів шуми вдалося зменшити до прийнятних значень. З'явилися вітрогенератори третього покоління, які оснащені блоками інвертування, акумуляції та управління. В них відсутні традиційні для лопатевих вітрогенераторів системи регулювання лопатей для орієнтації на вітер. Останню замінює обтічник, який також виступає в

ролі сопла. Він вловлює вітер і збільшує його потужність. На відстані 20 м від місця установки шум не перевищує 40 децибел. Для порівняння: шумовий фон вночі в селі становить 20–40 децибел, шумовий фон в офісі – близько 60 децибел. Таким чином вітрогенератори перестали бути джерелом надзвичайного шуму, що якимось чином негативно впливає на здоров'я людини. Якщо для лопатей обрано професійний аеродинамічний профіль, вітротурбіна добре збалансована, генератор в робочому стані і своєчасно проводиться техогляд, то проблема шуму усувається автоматично.

Варто також зазначити, що при проведенні опитування громадської думки на питання: «Чи псують вітрогенератори загальний пейзаж?», – 94 % респондентів відповіли негативно. Крім цього, багато хто з опитуваних підкреслив, що з естетичної точки зору вітрогенератори більш гармонійно вписуються в навколишнє середовище, на відміну від традиційних низьковольтних ліній електропередачі. Крім шуму ВЕУ є й джерелом інфразвуку та вібрацій. Чим більше потужність вітрогенератора, тим інтенсивніші вібрації і негативний вплив на живу природу. Однак до сих пір шкода від вібрації для людини науково не доведена. Варто відзначити, що вібрації все-таки несуть певну загрозу, однак в основному це відноситься до будівель. При цьому методика зниження цієї шкоди також поки що не вивчена.

Теза, що вироблення електроенергії за рахунок відновлюваних джерел є абсолютно екологічно «чистий» варіант, є не зовсім вірною. Це пояснюється тим що ці джерела енергії мають принципово інший спектр впливу на навколишнє середовище порівняно з традиційними енергоустановками на органічному, мінеральному й гідравлічному паливах. Спорудження ВЕС на природних територіях часто призводить до знищення цінних степових ділянок, що супроводжується вивільненням накопиченого у ґрунті вуглекислого газу та інших парникових газів. При проектуванні вітроенергетичних станцій вплив на клімат найчастіше ігнорується. Особливо відчутно негативний вплив на навколишнє середовище проявляється при розміщенні великих вітропарків на ділянках цілинних степів і особливо під час війни. Сума шкоди українському довкіллю від збройної агресії росії становить понад \$46 млрд. До того ж певні види екологічного впливу ВЕУ на навколишнє середовище недостатньо вивчені і дотепер. Використання ВЕУ на рівні сучасних знань і технологій обходиться досить дорого. Однак їх використання дозволяє знизити витрати на органічне паливо і зменшити забруднення навколишнього середовища.

Слід зазначити що за економічними показниками ВЕУ займають лідируючі позиції, а сонячні займають друге місце. В значній мірі це обумовлено і тим, що вода на ВЕС використовується в основному для промивки лопатей. Таким чином,

споживання води на ВЕС обходиться в 475 разів менше, ніж на АЕС, приблизно в 400 разів менше, ніж на вугільних станціях і у 275 разів менше, ніж на підприємствах, які використовують газ. У зв'язку з тим, що для традиційних ВЕУ характерна нестабільність вироблення електроенергії потужні, ВЕУ з акумуляторами стають все більш конкурентно спроможними, незважаючи на те, що їх виробництво і подальше зберігання обходиться дорожче. Це обумовлено тим, що вартість літій-іонних акумуляторів постійно зменшується, а кількість інтелектуальних мережевих інверторів зростає. Це вказує на здатність нарощування вироблення енергії швидше, ніж традиційні електростанції, допомагаючи підтримувати електромережу, навіть після падіння інтенсивності вітрового потоку. Впровадження штучного інтелекту буде сприяти підвищенню точності метеорологічних прогнозів для оптимізації використання відновлюваних енергоресурсів. Застосування новітніх матеріалів може значно знизити фінансові витрати на виробництво повно профільних лопатей, з авіаційною точністю виконаних на 3D принтерах безпосередньо на місці зведення установки з метою усунення логістичних витрат та ризиків доставки. «Розумні міста», які використовують відновлювані джерела енергії, повинні бути основою наших стратегій. Як би там не було, але нестабільність відновлюваної енергетики повинна базуватися на створенні резервних потужностей в межах від 30 до 70 %. В Україні у якості великих накопичувачів енергії використовуються наступні гідроакумулюючі електростанції:

1. Дністровська – 972 МВт. Пуск відбувся 23 листопада 1983 р.
2. Київська – 235,5 МВт. Працює з 1972 р.
3. Ташлицька в Миколаївській області, яка працює але не на повну потужність.

Подальшим етапом розвитку вітроенергетичної галузі можна вважати і перехід від традиційних вітрогенераторів до унікальних літаючих, безшумних і тихохідних. Так, вже з'явилися літаючі вітрогенератори каліфорнійської компанії Makani Power, які працюють у повітрі за принципом повітряного змія (рис. 3). Конструкції нагадують собою аероплан, що має горизонтально розташовані лопаті, які піднімають установку у повітря. При досягненні висоти 300–500 м ВЕУ починають виробляти електроенергію [21]. За попередніми даними ці ВЕУ виробляють вдвічі більше електроенергії, ніж ті, що працюють на землі. Це пояснюється тим, що на великих висотах швидкість повітряних потоків значно більша, ніж біля поверхні землі. Постачання електроенергії здійснюється за допомогою металевого троса, що зв'язує агрегат з координаційною станцією, яка розташована на землі і забезпечує передачу енергії в загальну мережу. Вітрогенератори виготовляються з легкого матеріалу і оснащені новітнім програмним забезпеченням, розробленим з урахуванням передових смарт



технологій. Це дозволяє орієнтувати конструкцію в повітрі так, щоб максимально використовувати енергію вітрових потоків. Повітряні змії британської компанії Kite Power Solutions, на відміну від попередніх, рухаються по траєкторії у вигляді вісімки. Обладнання, що розташоване внизу, швидко розмотує трос літаючого змія, запускаючи його у висоту, а потім повільно змотує його назад. У цьому процесі якраз і виробляється електроенергія [21].



Рисунок 3 – Літаючі вітрогенератори

**Висновки.** Навіть через 37 років після Чорнобильської катастрофи і недавньої катастрофи на АЕС Фукусіма-1 позиції атомної енергетики у світі не тільки не падають, але й зміцнюються. На теперішній час вже 40 країн мають діючі АЕС. Окрім цього в 15 країнах будується 60 атомних реакторів. До ядерного енергетичного клубу хочуть долучитися все нові й нові країни на всіх континентах. Згідно даних WNA, це країни, які не мали АЕС, але тепер хочуть їх мати:

1. недавно побудовані АЕС (Білорусь та ОАЕ).
2. підписали контракти на будівництво АЕС (Литва, Туреччина, Бангладеш, В'єтнам).
3. мають розроблені плани і нормативну базу для будівництва (Площа, Йорданія, Єгипет та Чилі).
4. плани яких знаходяться в розробці (Ізраїль, Нігерія, Кенія, Лаос, Малайзія, Марокко).
5. триває серйозне обговорення ідеї будівництва АЕС (Намібія, Монголія, Албанія, Сербія, Хорватія, Естонія, Латвія, Азербайджан, Катар, Судані, Венесуела, Болівія, Перу).

Це можна пояснити не тільки високою стабільністю виробництва електроенергії АЕС, але й тим, що її виробництво не залежить ні від сезонних, ні від добових коливань, ні від погоди, що характерно для деяких видів відновлюваної

енергетики. Атомна енергетика дає можливість забезпечити проведення робіт в екстремальних кліматичних умовах Арктики та Антарктики за рахунок створення плавучих атомних електростанцій малої потужності (АЕСМП) на базі плавучих енергетичних блоків (ПЕБ). ПЕБ – це судно, яке складається з двох основних блоків: житлового й технологічного. В першому розташовані все необхідне для проживання персоналу. Станція дозволяє проведення робіт з перевантаження ядерного палива та зберігання відпрацьованого ядерного палива на борту ПЕБ без залучення спеціальних кораблів. Автономність ПЕБ забезпечена чотирма комплектами активних зон і складає 9–12 років. Зміна вахт здійснюється через кожні 4 місяці. Загальна чисельність обслуговуючого персоналу АЕСМП – 69 чоловік. На одному завантаженні палива ПЕБ працює 3 роки, виробляючи електричну й теплову енергію. Після відпрацювання третього циклу ПЕБ відбуксовують з місця базування на спеціальні підприємства для демонтажу та ліквідації ядерних об'єктів. Незважаючи на значну кількість серйозних аварій, які сталися на АЕС виключно за рахунок помилок обслуговуючого персоналу атомна енергетика здатна стати безаварійною при впровадженні сучасних смарт технологій. Про це свідчать і наміри України у співпраці із США щодо будівництва 9–12 малих ядерних реакторів з енергетичною компанією Westinghouse Electric, щоб ліквідувати залежність України від російського ядерного палива.

Вугілля, нафта та природний газ ще тривалий час будуть залишатися основними джерелами енергії у світі, незважаючи на те, що відновлювана енергетика почала швидко зростати.

При будівництві нових ВЕУ треба наперед з'ясувати, які види пернатих та комах проживають на вибраній території, для того щоб унеможливити їх знищення лопатями вітрогенераторів і забезпечити сталий розвиток вітроенергетики.

### Список літератури

1. Кострюков С. В. Історія розвитку наукових знань про використання об'єктів вітрової енергетики в Україні. *Освіта і наука у мінливому світі: проблеми та перспективи розвитку* : Матеріали II Міжнародної наукової конференції, м. Дніпро, Україна, 27–28 березня 2020 р. С. 313–314.
2. ТОП-5 країн - лідерів у вітроенергетиці. *Енергетичний Перехід в Україні*. URL: <https://energytransition.in.ua/top-5-krain-lideriv-u-vitroenerhetytsi/> (дата звернення: 09.03.2023).
3. Учасники проєктів Вікімедіа. Вітри України. *Вікіпедія*. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Вітри\\_України](https://uk.wikipedia.org/wiki/Вітри_України) (дата звернення: 22.01.2023).
4. Lewis M. The world's most powerful wind turbine reaches 15 MW for the first time. *Electrek*. URL: <https://electrek.co/2023/04/03/worlds-most-powerful-wind-turbine-vestas-2/> (дата звернення: 05.05.2023).
5. Вітрова енергетика в Україні та світі. *Хмарочос*. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2022/01/18/vitrova-energetyka-v-ukrayini-ta-sviti/> (дата звернення: 18.01.2023).
6. Генеральний штаб ЗСУ. Оперативна інформація станом на 18.00 13.03.2023 щодо російського вторгнення. *Facebook*. URL: <https://www.facebook.com/GeneralStaff.ua/posts/547909924188757> (дата звернення: 12.04.2023).

7. Белоусова К. Эксперты подраховали втрати сектору ВДЕ від агресії РФ. *ЕкоПолітика*. URL: <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/eksperti-pidrahuvali-vtrati-sektoru-vde-vid-agresii-rf/> (дата звернення: 06.04.2023).
8. World population clock: 8 billion people (LIVE, 2023). *Worldometer - real time world statistics*. URL: <https://www.worldometers.info/world-population/> (дата звернення: 12.05.2023).
9. Гамалій І. Загальна кількість людей на Землі досягла 8 мільярдів, – ООН. *LB.ua*. URL: [https://lb.ua/world/2022/11/15/535923\\_zagalna\\_kilkist\\_lyudey\\_zemli.html](https://lb.ua/world/2022/11/15/535923_zagalna_kilkist_lyudey_zemli.html) (дата звернення: 12.05.2023).
10. PRIS - Trend reports - Nuclear Power Capacity. *International Atomic Energy Agency (IAEA). The Power Reactor Information System (PRIS)*. URL: <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/WorldTrendNuclearPowerCapacity.aspx> (дата звернення: 26.05.2023).
11. ТОП-9 найпотужніших аварій на АЕС (ФОТО). *espresso.tv*. URL: [https://espresso.tv/article/2014/04/25/top\\_9\\_naybilshykh\\_avariy\\_na\\_aes](https://espresso.tv/article/2014/04/25/top_9_naybilshykh_avariy_na_aes) (дата звернення: 09.02.2023).
12. Конеченков А. Сектор відновлюваної енергетики України до, під час та після війни. *Центр Разумкова*. URL: <https://razumkov.org.ua/statti/sektor-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny> (дата звернення: 12.03.2023).
13. Wong E. X. Russia's invasion knocked out almost all of Ukraine's wind power. *Bloomberg*. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-09-14/russia-s-invasion-knocked-out-almost-all-of-ukraine-s-wind-power> (дата звернення: 12.03.2023).
14. Учасники проєктів Вікімедіа. Вітрова енергетика України. *Вікіпедія*. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Вітрова\\_енергетика\\_України](https://uk.wikipedia.org/wiki/Вітрова_енергетика_України) (дата звернення: 20.04.2023).
15. Magnus G. Ueber die Abweichung der Geschosse, und: Ueber eine auffallende Erscheinung bei rotirenden Körpern. *Annalen der Physik und Chemie*. 1853. Vol. 164, no. 1. P. 1–29. DOI: <https://doi.org/10.1002/andp.18531640102>.
16. Альтернативна енергетика в світі: 14-20.09.2020. *Баланс Енергетики України*. URL: <https://enerhodzherela.com.ua/novyny/Альтернативна-енергетика-в-світі-14-20.09.2020> (дата звернення: 20.04.2023).
17. Півняк Г., Шкрабець Ф., Нойбергер Н., Циценков Д. Основи вітроенергетики: підручник. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2015. 335 с.
18. Сиротюк С. В., Боярчук В. М., Гальчак В. П. Альтернативні джерела енергії. Енергія вітру: навчальний посібник. Львів: «Магнолія 2006», 2018. 182 с.
19. Павлюк О. Від вітряків щороку гинуть сотні тисяч птахів. Одна проста штука може вберегти 70 % пернатих. *Громадське телебачення – Останні новини дня, всі надзвичайні новини в Україні*. URL: <https://hromadske.ua/posts/vid-vitryakiv-shorokuginut-sotni-tisyach-ptahiv-odna-prosta-shtuka-mozhe-vberegti-70-pernatih> (дата звернення: 06.04.2023).
20. Сжижанський О. Війна з горобцями: головними ворогами Китаю були визнані ці маленькі птахи. *Експрес онлайн*. URL: <https://expres.online/history/viyna-z-gorobtsyami> (дата звернення: 06.04.2023).
21. Літаючі вітрогенератори стануть новим типом електростанцій. *Енерго X*. URL: <https://energox.com.ua/2019/02/28/litayuchi-vitrogeneratory-stanut-novym-typom-elektrostantsij> (дата звернення: 06.04.2023).
22. Contributors to Wikimedia projects. “Wind power in Ukraine.” Wikipedia, the free encyclopedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Wind\\_power\\_in\\_Ukraine](https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power_in_Ukraine) (accessed Apr. 20, 2023).
23. M. Lewis. “The world's most powerful wind turbine reaches 15 MW for the first time.” *Electrek*. <https://electrek.co/2023/04/03/worlds-most-powerful-wind-turbine-vestas-2/> (accessed May 25, 2023).
24. “Vitrova enerhetyka v Ukraini ta sviti [Wind energy in Ukraine and the world].” *Hmarochos*. <https://hmarochos.kiev.ua/2022/01/18/vitrova-energetyka-v-ukrayini-ta-sviti/> (accessed Jan. 18, 2023). (in Ukrainian)
25. General Staff of the Armed Forces of Ukraine. “Operatyvna informatsiia stanom na 18.00 13.03.2023 shchodo rosiiskoho vtrihennia [Update as of 18.00 13.03.2023 on the Russian invasion].” *Facebook*. <https://www.facebook.com/GeneralStaff.ua/posts/547909924188757> (accessed Apr. 12, 2023). (in Ukrainian)
26. K. Bielousova. “Eksperty pidrahuvaly vtraty sektoru VDE vid ahresii RF [Experts calculate losses of the RES sector from Russian aggression].” *EcoPolitic*. <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/eksperti-pidrahuvali-vtrati-sektoru-vde-vid-agresii-rf/> (accessed Apr. 6, 2023). (in Ukrainian)
27. “World population clock: 8 billion people (LIVE, 2023) - worldometer.” *Worldometer - real time world statistics*. <https://www.worldometers.info/world-population/> (accessed May 12, 2023).
28. I. Hamalii. “Zahalna kilkist liudei na Zemli dosiahla 8 miliardiv, – ООН [The total number of people on Earth has reached 8 billion - UN].” *LB.ua*. [https://lb.ua/world/2022/11/15/535923\\_zagalna\\_kilkist\\_lyudey\\_zemli.html](https://lb.ua/world/2022/11/15/535923_zagalna_kilkist_lyudey_zemli.html) (accessed May 12, 2023). (in Ukrainian)
29. “PRIS - Trend reports - Nuclear power capacity.” *International Atomic Energy Agency (IAEA). The Power Reactor Information System (PRIS)*. <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/WorldTrendNuclearPowerCapacity.aspx> (accessed May 26, 2023).
30. “TOP-9 naipotuzhnyshykh avarii na AES (FOTO) [TOP-9 most powerful accidents at NPPs (PHOTOS)].” *espresso.tv*. [https://espresso.tv/article/2014/04/25/top\\_9\\_naybilshykh\\_avariy\\_na\\_aes](https://espresso.tv/article/2014/04/25/top_9_naybilshykh_avariy_na_aes) (accessed Feb. 9, 2023). (in Ukrainian)
31. A. Konechenkov. “Ukraine's renewable energy sector before, during and after the war.” *Razumkov Centre*. <https://razumkov.org.ua/en/articles/ukraines-renewable-energy-sector-before-during-and-after-the-war> (accessed Mar. 12, 2023).
32. E. X. Wong. “Russia's invasion knocked out almost all of Ukraine's wind power.” *Bloomberg*. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-09-14/russia-s-invasion-knocked-out-almost-all-of-ukraine-s-wind-power> (accessed Mar. 12, 2023).
33. Contributors to Wikimedia projects. “Wind power in Ukraine.” Wikipedia, the free encyclopedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Wind\\_power\\_in\\_Ukraine](https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power_in_Ukraine) (accessed Apr. 20, 2023).
34. G. Magnus, “Ueber die Abweichung der Geschosse, und: Ueber eine auffallende Erscheinung bei rotirenden Körpern,” *Annalen der Physik und Chemie*, vol. 164, no. 1, pp. 1–29, 1853, doi: <https://doi.org/10.1002/andp.18531640102>.
35. “Alternatyvna enerhetyka v sviti: 14-20.09.2020 [Alternative energy in the world: 14-20.09.2020].” *Ukrainian Power Balance*. <https://enerhodzherela.com.ua/novyny/Альтернативна-енергетика-в-світі-14-20.09.2020> (accessed Apr. 20, 2023). (in Ukrainian)
36. H. Pivniak, F. Shkrabets, N. Noiberher, and D. Tsyplenkov, *Osnovy vitroenerhetyky [The basics of wind power]*. Dnipropetrovsk: National Mining University, 2015. (in Ukrainian)
37. S. V. Syrotiuk, V. M. Boiarчук, and V. P. Halchak, *Alternatyvni dzherela enerhii. Enerhiia vitru [Alternative energy sources. Wind energy]*. Lviv: “Mahnoliia 2006”, 2018. (in Ukrainian)
38. O. Pavliuk. “Vid vitriakiv shchorok hynut sotni tysiach ptahiv. Odnа проста shtuka mozhe vberehti 70% pernatykh [Hundreds of thousands of birds are killed by windmills every year. One simple thing can save 70% of birds].” *Hromadske*. <https://hromadske.ua/posts/vid-vitryakiv-shorokuginut-sotni-tisyach-ptahiv-odna-prosta-shtuka-mozhe-vberegti-70-pernatih> (accessed Apr. 6, 2023). (in Ukrainian)

## References

1. C. V. Kostriukov, “Istoriia rozvytku naukovykh znan pro vykorystannia ob'ektiv vitrovoi enerhetyky v Ukraini [History of the development of scientific knowledge on the use of wind energy facilities in Ukraine],” in *Education and Science in a Changing World: Problems and Prospects for Development*, Dnipro, Ukraine, Mar. 27–28, 2020. pp. 313–314. (in Ukrainian)
2. “TOP-5 krain - lideriv u vitroenerhetytsi [TOP 5 countries - leaders in wind energy].” *Enerhetychni Perekhid v Ukraini [Energy Transition in Ukraine]*. <https://energytransition.in.ua/top-5-krain-lideriv-u-vitroenerhetytsi/> (accessed Mar. 9, 2023). (in Ukrainian)



20. O. Yezhzhanskyi. "Viina z horobtsiamy: Holovnymy vorohamy Kytaiu byly vyznani tsi malenki ptakhy [The war against sparrows: These small birds were recognised as China's main enemies]." *Expres online*. <https://expres.online/history/viyna-z-gorobtsyami> (accessed Apr. 6, 2023). (in Ukrainian)
21. "Litaiuchi vitroheneratory stanut novym typom elektrostantsii [Flying wind turbines will become a new type of power plant]." *Energ X*. <https://energox.com.ua/2019/02/28/litayuchi-vitroheneratory-stanut-novym-typom-elektrostantsij> (accessed Apr. 6, 2023). (in Ukrainian)

Надійшла (received) 12.06.2023

*Відомості про автора (-іє) / About the Author (-s)*

**Тарасенко Микола Григорович (Mykola Tarasenko)** – доктор технічних наук, професор, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, завідувач кафедри електричної інженерії; м. Тернопіль, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6080-4367>; e-mail: tarasenko\_mykola@ukr.net.

**Козак Катерина Миколаївна (Kateryna Kozak)** – кандидат технічних наук, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, доцент кафедри електричної інженерії; м. Тернопіль, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7267-8492>; e-mail: kozakateryna@gmail.com.

**Лукман Ахмед Омейза (Lukman Ahmed Omeiza)** – аспірант, факультет інтегрованих технологій, Університет Бруней-Даруссалам; м. Бандар-Сері-Бегаван, Бруней-Даруссалам; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4513-3010>; e-mail: lukahmed@yahoo.com.