

АНАЛІЗ ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ПРИВАБЛИВОСТІ ОКРЕМИХ СЕГМЕНТІВ ПОТУЖНОСТІ МАЛОПОТУЖНИХ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК

Отримано 13 жов. 2023 р.; рекомендовано до публікації 20 груд. 2023 р.
Доступно онлайн 30 груд. 2023 р.

**В. П. Коханевич¹, Н. В. Марченко², М. О. Будько³,
В. В. Коханевич⁴**

Автор для кореспонденції: Володимир Петрович Коханевич,
e-mail: 55volodimir@i.ua

Для розвитку в Україні галузі вітроенергетики необхідні відповідні інвестиції. Основні об'єми інвестицій вкладаються українськими національними компаніями в будівництво вітроелектростанцій. Мала вітроенергетика розвивається за рахунок малих інвесторів та окремих ентузіастів. Також необхідно враховувати низьку купівельну спроможність більшої частини населення, що потребує максимально точного визначення напрямку інвестування в цю галузь для гарантування повернення коштів інвестору. Питання визначення напрямів інвестування розглядалось у низці робіт, де був проведений аналіз основних конструкцій вітрових установок та визначено діапазон потужностей установок, в яких найбільше зацікавлений споживач, а саме: від 1 до 10 кВт. Цей діапазон надто широкий, оскільки включає установки, які суттєво відрізняються своїми функціональними можливостями. Для вирішення поставлених задач, як і в попередніх роботах, було використано метод парних порівнянь та запропоновано дві групи критеріїв для аналізу. До першої групи входять критерії, в яких зацікавлені потенційні покупці, тобто: зацікавленість споживачів у певній потужності вітроустановки; можливість монтажу без використання транспортно-підйомних засобів; можливість обслуговування та дрібного ремонту власними силами споживача; можливість акумулювання. До другої групи критеріїв віднесено критерії, які цікавлять інвестора: наявність технічної документації; наявність експериментального або дослідного зразка; наявність технологій та обладнання для серійного випуску. Також було визначено та обґрунтовано вибір сегментів потужностей, а саме: від 2 до 3 кВт; від 3 до 4 кВт; від 4 до 6 кВт та від 6 до 10 кВт. На основі проведеного порівняльного аналізу найвищу інтегральну оцінку 85,813 отримав сегмент потужностей від 3 до 4 кВт, який пропонується для подальшого інвестування. Бібл. 15, табл. 5.

Ключові слова: вітроенергетика, вітроелектрична установка, метод парних порівнянь.

¹ канд. техн. наук.

<https://orcid.org/0000-0003-0033-13551>

² мол. наук. співроб.

<https://orcid.org/0000-0001-9921-9077>

³ канд. техн. наук, доцент.

<http://orcid.org/0000-0003-0928-1657>

⁴ аспірант.

<https://orcid.org/0009-0009-0461-4388>

^{1,2,3,4} Інститут відновлюваної енергетики НАН України, м. Київ, Україна

³ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» м. Київ, Україна

ANALYSIS OF THE INVESTMENT ATTRACTIVENESS OF CERTAIN CAPACITY SEGMENTS OF SMALL POWER WIND POWER PLANTS

Received Nov. 13. 2023; accepted Dec. 20. 2023

Available online Sept. 30. 2023

**V. P. Kokhanievich¹, N. Marchenko²,
M. Budko³, V. V. Kokhanievich⁴**

Author for correspondence: Volodimir P. Kochanovich,
e-mail: 55volodimir@i.ua

Appropriate investments are necessary for the development of the wind energy industry in Ukraine. The main volumes of investments are invested by Ukrainian national companies in the construction of wind power plants. Small wind energy is developing at the expense of small investors and individual

¹ Cand. of Tech. Sciences.

<https://orcid.org/0000-0003-0033-13551>

² Junior Research.

<https://orcid.org/0000-0001-9921-9077>

³ Cand. of Tech. Sciences, Ass. Prof.

<http://orcid.org/0000-0003-0928-1657>

⁴ Postgraduate.

<https://orcid.org/0009-0009-0461-4388>

^{1,2,3,4} Institute of Renewable Energy NAS Ukraine, Kyiv, Ukraine

³ National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

enthusiasts. It is also necessary to take into account the low purchasing power of the majority of the population, which requires the most accurate determination of the direction of investment in this industry in order to guarantee the return of funds to the investor. The issue of determining investment directions was considered in a number of works, where the analysis of the main structures of wind turbines was carried out and the power range of turbines, in which the consumer is most interested, was determined, namely from 1 kW to 10 kW. This range is too wide, as it includes installations that differ significantly in their functionality. To solve the problems, as in previous works, the method of paired comparisons was used and two groups of criteria were proposed for analysis. The first group includes criteria in which potential buyers are interested, i.e.: consumer interest in this wind turbine capacity; the possibility of installation without the use of transport and lifting equipment; the possibility of maintenance and minor repairs by the consumer; the possibility of accumulation. The second group of criteria includes criteria of interest to the investor: availability of technical documentation; availability of an experimental or experimental sample; availability of technologies and equipment for serial production. The choice of capacity segments was also determined and substantiated, namely: from 2 to 3 kW; from 3 to 4 kW; 4 to 6 kW and from 6 to 10 kW. Based on the comparative analysis, the 3 kW to 4 kW capacity segment, which is proposed for further investment, received the highest integrated score of 85,813. Bibl. 15, Tabl. 5.

Keywords: wind energy, wind power plant, method of paired comparisons.

Вступ. Вітроенергетика є одним з найефективніших та екологічно чистих джерел енергії [1] і дає змогу знизити залежність від традиційних видів палива. Україна має достатній вітроенергетичний потенціал для розвитку галузі вітроенергетики [2–6]. Для подальшого розвитку цієї галузі та ефективного використання вітроенергетичного потенціалу необхідні відповідні інвестиції. Сьогодні головними інвесторами у вітроенергетику України залишаються українські національні компанії, такі як «Вітряні парки України», ДТЕК ВДЕ, «Віндкрафт Україна», «Еко-Оптіма» [6]. Але необхідно зауважити, що всі значні об'єми інвестицій вкладаються в будівництво вітроелектростанцій. Мала вітроенергетика розвивається за рахунок малих інвесторів та окремих ентузіастів, як-от ПП «Світ вітру», ТОВ «Греса Груп», ПП «Адмірал Сервіс» та інших. Також необхідно врахувати як низьку купівельну спроможність більшої частини населення, так і певні технічні й сервісні аспекти. Відповідно, це потребує по можливості, максимально точного визначення напрямку інвестування в галузь малої вітроенергетики для гарантування повернення коштів інвестору.

Постановка завдання. Питання визначення ефективного напрямку інвестування в галузь малої вітроенергетики розглядалось в роботах [7–8]. Наприклад, в роботі [7] був проведений аналіз основних конструкцій вітрових установок, який показав, що найперспективнішими для використання в галузі малої вітроенергетики є горизонтально-осьові лопатеві установки. На наступному етапі в роботі [8] автори визначили діапазон потужностей вітроелектричних установок, в якому найбільше зацікавлений споживач, а саме: діапазон від 1 до 10 кВт. Для вирішення поставлених задач було запропоновано метод парних порівнянь [9], який на відміну від таких методів, як метод ранжирування [10], метод абсолютної оцінки [11], метод аналізу ієрархій [12] та метод вибору, забезпечує можливість однозначно сформулювати основу ранжирування; має відносно простий математичний апарат, і думка респондента (експерта) не залежить

від набору параметрів, що пропонуються для порівняння.

Для чіткого визначення напрямку інвестування сегмент потужностей від 1 до 10 кВт надто широкий, оскільки об'єднує установки, які відрізняються функціональними можливостями, вимогами щодо монтажу, експлуатації, обслуговування тощо. Також необхідно уточнити ряд вихідних критеріїв для оцінювання з більшою направленістю в сторону зацікавленості інвесторів. Крім цього, також необхідно врахувати сучасний стан налагодження серійного випуску установок певної потужності в Україні, щоб виключити дублювання та розсіювання і так незначних інвестиційних вкладень.

Результати досліджень. На початку слід зауважити, що за функціональними призначеннями існує два основні типи вітроустановок, а саме: вітроелектричні та вітромеханічні (водопідйомні), а тому, як і в роботі [8], розглядатимемо вітроелектричні установки (ВЕУ), що набули ширшого розповсюдження.

Для виконання порівняльного аналізу були визначені такі вихідні критерії, які умовно можна розділити на дві групи. До першої групи належать критерії, які є визначальними для споживача, а саме:

- X1 – зацікавленість споживачів у певній потужності вітроустановки;
- X2 – можливість монтажу без використання транспортно-підйомних засобів;
- X3 – можливість обслуговування та дрібного ремонту власними силами споживача;
- X4 – можливість акумулювання.

До другої групи віднесено критерії, що більшою мірою цікавлять інвестора, і меншою – споживача, тобто:

- X5 – наявність технічної документації (на експериментальний або дослідний зразок);

X6 – наявність експериментального або дослідного зразка;

X7 – наявність технологій та обладнання для серійного випуску.

Слід відзначити, що інвестиційна привабливість є інтеграційним поняттям і має відповідати всім вищезазначеним критеріям, проте все ж вимоги споживача, на наш погляд, є визначальними, що й обумовило віднесення їх до першої групи.

Крім цього, також необхідно зауважити, що в другій групі критеріїв можна було б деталізувати окремі стадії, наприклад, окремо розглядати наявність технічної документації на експериментальний і дослідний зразок, проведення експериментальних досліджень та випробувань тощо, що значно б ускладнило роботу експертам, до того ж така детальна інформація не завжди доступна.

Обґрунтуємо детальніше вибір вищенаведених критеріїв. Попередньо зазначимо, що запропоновані в роботі [8] такі критерії, як вартість 1 кВт встановленої потужності та вартість 1 кВт-год виробленої електроенергії є, безсумнівно, важливими техніко-економічними характеристиками ВЕУ, які цікавлять фахівців, але мало цікавлять інвестора й споживача, оскільки в цей час ВЕУ в діапазоні від 1 до 10 кВт не можуть конкурувати за вартістю з електроенергією, отриманою від мережі, й тому вони використовуються як автономні установки, або як резервні. Такий критерій, як-от витрати на монтажу та експлуатацію, є не зовсім чітким, а оскільки монтаж установки для вказаного діапазону потужностей виконується виробником продукції або іншою спеціалізованою організацією, то частково обслуговування в період експлуатації може взяти на себе власник ВЕУ.

Критерій X1 – зацікавленість споживачів у певній потужності вітроустановки – безумовно, є одним з ключових критеріїв, що обумовило його використання в нашому дослідженні та в роботі [8]. Отож попит породжує пропозицію, такий закон економіки. Хотілося б зауважити, що певна державна політика в напрямі стимулювання галузі вітроустановок малої потужності, наприклад компенсування частини їх вартості, сприяла б поживленню попиту на них на ринку й зацікавленню інвесторів у реалізації цього проекту.

Критерій X2, а саме можливість монтажу без використання транспортно-підйомних засобів, був запропонований з огляду на те, що вітроустановки малої потужності здебільшого встановлюються на вже забудованих присадибних і дачних ділянках зі сформованими ландшафтами, і не завжди є можливість використати підйомно-транспортні засоби (йдеться про кранове обладнання, яке встановлене на автомобільному транспорті) без порушення їх цілісності. В Україні є певний досвід монтажу вітроустановок малої потужності без використання підйомно-транспортних засобів. Зокрема, для монтажу ВЕУ на тригранній решітчастій опорі були розроблені алгоритми ручного монтажу самої опори та

підйому всіх деталей і частин гондоли вітроустановки на вершину опори за допомогою підйомних засобів, що кріпляться на самій опорі в її верхній частині. Ця технологія була апробована на опорах висотою до 30 м. Другий спосіб монтажу без використання підйомно-транспортних засобів – це використання шарніра в нижній частині опори, що підходить для трубчастих опор з розтяжками або без них. При цьому необхідно враховувати, чи дозволяють розміри ділянки розмістити установку в горизонтальному положенні. Також необхідно зауважити, що вищенаведені монтажні роботи проводились на ВЕУ потужністю до 4 кВт.

Критерій X3 – можливість обслуговування та дрібного ремонту власними силами споживача – обумовлений тим, що організації, які проводять післягарантійне сервісне обслуговування установок, можуть бути розташовані на значній відстані від місця встановлення та експлуатації вітроустановки, а це призводить до збільшення собівартості й часу технічного обслуговування, насамперед через транспортні витрати. На сьогоднішній день в Україні фактично є тільки три організації, які надають такі послуги. Це ПП «Світ вітру», ТОВ «Греса Груп» [13] та ПП «Адмірал Сервіс». Хоча при цьому реалізацією та монтажем вітроустановок займається ще низка інших організацій.

Критерій X4 – можливість акумулювання; ця проблема є актуальною для всіх видів відновлюваних джерел енергії, зокрема й енергії вітру. Надходження енергії залежить від погодних умов, а її споживання обумовлено життєвим функціонуванням споживача. Якщо у ВЕУ та інших установках на відновлюваних джерелах енергії, які працюють на мережу або паралельно з мережею, є можливість компенсувати нерівність надходження та споживання енергії, то в автономних установках такої можливості немає, бо можливість акумулювання стримує використання вітроустановок малої потужності. Сьогодні можна говорити про використання електрохімічного й теплового акумулювання. Перспективним видається акумулювання за рахунок накопичення водню, але ці технології поки що перебувають на стадії дослідження.

Розглянемо другу групу критеріїв та обґрунтуємо їх вибір.

Критерій X5 – наявність технічної документації (на експериментальний або дослідний зразок). Після визначення зацікавленості споживачів у конкретній вітроустановці та аналізу можливих ринків збуту, крім України, на першому етапі, з якого починається аналіз можливості інвестування, важливою є наявність технічної документації. Як видно з табл. 1 (ця таблиця охоплює період за останні 20 років), в Україні є достатньо колективів, які мають досвід у проектуванні вітроустановок малих потужностей. Крім цього, є підприємства, що мають досвід у проектуванні установок більшої потужності (наприклад, ТОВ «Карбон», установки потужністю 15 та 20 кВт), які також можуть виконувати зазначені роботи. Тобто наявність технічної документації дає змогу заощадити кошти й час на підготовку серійного випуску в межах одного року.

Критерій Х6 – наявність експериментального або дослідного зразка, – відповідно, як і критерій Х5, дозволяє заощадити кошти й час на підготовку серійного випуску в межах пів року. Як видно з табл. 1, у цьому аспекті також достатньо виготовлено експериментальних чи дослідних зразків потужністю до 10 кВт. Необхідно зауважити, що ці зразки повинні пройти випробування для підтвердження їх технічних характеристик, перевірки функціонування систем регулювання обертів (потужності), орієнтації ротора за напрямком повітряного потоку, генерації електричної енергії, надійності захисту від штормових вітрів тощо. На жаль, такі дані для більшості установок, що наведені в табл. 1, відсутні. При цьому визначення технічних характеристик відповідно до ДСТУ 7338:2013 [14] можна провести на рухомому транспорті, а натурні випробування (для перевірки систем регулювання обертів та орієнтації ротора) можуть зайняти значний проміжок часу, який важко спрогнозувати через залежність від метеорологічних умов.

Критерій Х7 – наявність технологій та обладнання для серійного випуску – дає змогу оцінити можливість технічної реалізації проєкту з мінімальними затратами на підготовку виробництва, а також мінімізувати час на цю підготовку. Загалом при виготовленні вітроустановки можна виділити три основні групи складників: лопаті, металоконструкції та електрообладнання.

- **Металоконструкції.** До них належать: маточина, елементи гондоли, опора. Всі ці складники не потребують спеціального обладнання і можуть бути виготовлені на будь-якому підприємстві за наявності

металорізальних верстатів, зварювання, фарбування тощо.

- **Лопаті.** Один з найбільш трудомістких і технологічно складних елементів конструкції вітроустановки. В Україні були освоєні технології виготовлення металевих лопатей для вітроустановок ВМ-37 і АВЕ-10-10 на підприємствах Запоріжжя ТОВ «Екохолод» та «Технокон», які входять в об'єднання малих підприємств «Старт». Але в подальшому ця технологія не набула поширення. В наш час у вітроустановках здебільшого використовують склопластикові лопаті. В Україні достатньо підприємств, що виготовляють вироби зі склопластику, зокрема лопаті. Наприклад, завод «Будпластик» налагодив виробництво склопластикових лопатей для вітроустановок USW 56/100, ДП «Південний машинобудівний завод імені Макарова» («Південмаш») – для вітроустановок потужністю 220 і 250 кВт, ТОВ «КАРБОН» – 15 і 20 кВт. Провідними можна вважати ПП «Світ вітру» й ТОВ «ЕСТА». Перші випускають лопаті для установок потужністю до 10 кВт, другі – до 100 кВт.
- **Електрообладнання.** При виготовленні електрообладнання для вітроустановок малої потужності основна комплектація складається з продукції, що виробляється серійно, за винятком електричних генераторів. Сьогодні використовуються переважно синхронні генератори зі збудженням від постійних магнітів. При цьому конструктивно вони можуть вироблятися у двох варіантах:

Таблиця 1. Стан розробок та виготовлення вітроустановок малої потужності в Україні

Table 1. The state of development and production of small power wind turbines in Ukraine

Назва, модель	Номін. потужність, кВт	Діаметр ротора, м	Розробник технічної документації	Експериментальний (дослідний) зразок	Серійне виготовлення
BEY-1,5-3,5	1,5	3,5	ІВЕ НАН України	ДНДІ НЕЕ	відсутнє
FLAMINGO AERO 4.4	1,6	4,4	ПП «Світ вітру»	ПП «Світ вітру»	ПП «Світ вітру», ТОВ «ГРЕСА-ГРУП»
FLAMINGO AERO 6.7	4	6,7	ПП «Світ вітру»	ПП «Світ вітру»	відсутнє
ABE-2-4,5	2	4,5	ІВЕ НАН України	Херсонський комбайновий з-д	відсутнє
ABE-4-7	4	6,5	ІВЕ НАН України	ДП «Дослідне виробництво ІПМ»	відсутнє
ВГ-3 «Еней»	5	5,4	ТОВ «Телефан»	ТОВ «Телефан»	відсутнє
ABE-10-10	10	10	ІВЕ НАН України	З-д «Південьгідромаш»	відсутнє
ВЭГ-10/60	10	9	КБ «Південне»	КБ «Південне»	відсутнє
ВМ-5	5	8	СП «Електросервіс»	СП «Електросервіс»	відсутнє
ABE-3,0	3	5	НВП «Ікар»	НВП «Ікар»	відсутнє
ABE-5,0	5	6,2	НВП «Ікар»	НВП «Ікар»	відсутнє
ABE-10,0	10	9	НВП «Ікар»	НВП «Ікар»	відсутнє

- генератори оригінальної конструкції;
- генератори на базі серійних асинхронних двигунів, у яких серійний ротор замінюється на ротор з постійними магнітами.

В Інституті відновлюваної енергетики НАН України фахівцями було спроектовано ряд синхронних генераторів потужністю від 200 Вт до 20 кВт зі збудженням від постійних магнітів NdFeB та проведено їх випробування на стенді Інституту та на вітроустановках [15]. Малим підприємством «Екотон» виготовлено дослідний зразок генератора потужністю 1,5 кВт. Серійний випуск генераторів оригінальної конструкції потужністю 0,8 та 1,6 кВт налагоджено ПП «Світ вітру».

Необхідно зауважити, що використання генераторів на базі серійних асинхронних двигунів дозволяє скоротити час на підготовку виробництва, але потребує використання мультиплікатора. Зазвичай для переобладнання використовуються мотор-редуктори, що виготовляються серійно.

Пропонується ВЕУ потужністю від 2 до 10 кВт відповідно до їх конструктивних, функціональних та інших особливостей розділити на такі сегменти за потужністю:

- P1 – потужністю від 2 до 3 кВт;
- P2 – потужністю від 3 до 4 кВт;
- P3 – потужністю від 4 до 6 кВт;
- P4 – потужністю від 6 до 10 кВт.

Діапазон потужностей від 1 до 2 кВт було виключено з аналізу, оскільки в цьому сегменті в Україні налагоджене серійне виробництво вітроелектричних установок потужністю 0,8 та 1,6 кВт і немає потреби в їх дублюванні.

Коротко обґрунтуємо вибір вищенаведених сегментів потужностей.

Діапазон потужностей від 2 до 3 кВт здебільшого використовується для живлення побутових електричних приборів та з використанням електрохімічних акумуляторів забезпечує його безперебійність. Монтаж установок можливий без використання кранового обладнання, а їх періодичне обслуговування може виконуватись власником.

Діапазон потужностей від 3 до 4 кВт характеризується тими властивостями, що й попередній, але за рахунок більшої потужності дозволяє забезпечити гаряче водопостачання, а в разі агрегаткування з тепловими насосами – й обігрів приміщень.

Діапазон потужностей від 4 до 6 кВт уже дає змогу частину потужності безпосередньо направляти на обігрів приміщень, але при цьому періодичне обслуговування установки повинні виконувати або виробник, або спеціалізована організація.

ВЕУ в діапазоні потужностей від 6 до 10 кВт вже дозволяє забезпечити тепlopостачання невеликих приміщень, але на відміну від попередніх сегментів

потужностей для монтажу установок необхідне використання кранового обладнання.

Метод парних порівнянь передбачає процес ранжирування вибраних критеріїв за ступенем важливості. Для цього кожному з вибраних параметрів присвоєно індекс відповідно до його розташування у табл. 2. Маючи кількість критеріїв n , можна розрахувати необхідну кількість порівнянь p за формулою

$$p = \frac{n(n-1)}{2}, \text{ штук.} \quad (1)$$

Для кількості критеріїв $n = 7$ будемо мати необхідну кількість порівнянь $p = 21$.

При парному порівнянні вибраних критеріїв використано три ступені їх вагомості: більш вагомий – оцінка 1,5, менш вагомий – оцінка 0,5, та рівнозначні між собою – оцінка 1. Відповідно до методики опитано 4 незалежних респонденти, кожному з яких запропоновано порівняти попарно критерії Х1–Х7 та вибрати з кожної пари вагоміший критерій для вітрових установок.

Остаточну (середню) оцінку ступеня важливості кожного з вибраних критеріїв отримано як результат зіставлення оцінок кожного з експертів згідно з формулами:

Для K_1 – середня оцінка першого з двох порівнюваних критеріїв

$$K_1 = \frac{\sum_{i=1}^m B_i}{m}, \text{ балів} \quad (2)$$

де B_i – числове значення ступеня вагомості критерію, визначене кожним експертом;

для K_2 – середня оцінка другого з двох порівнюваних критеріїв

$$K_2 = 2 - K_1. \quad (3)$$

Остаточні середні оцінки ступенів важливості кожного з критеріїв вищезгаданими експертами наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Визначення вагомості критеріїв експертами
Table 2. Determining the importance of criteria by experts

Порівнювані критерії	Експертна оцінка				Середня оцінка порівнюваних критеріїв	
	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3	Експерт 4	K_1	K_2
X1–X2	1,5	1,5	1	1,5	1,375	0,625
X1–X3	1,5	1	1,5	1,5	1,375	0,625
X1–X4	1,5	1,5	1,5	1	1,375	0,625
X1–X5	1,5	1	1	1,5	1,25	0,75
X1–X6	1	1,5	0,5	1	1	1

Порівнювані критерії	Експертна оцінка				Середня оцінка порівнюваних критеріїв	
	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3	Експерт 4	K_1	K_2
X1–X7	1,5	1	1	1,5	1,25	0,75
X2–X3	1	1	0,5	1,5	1	1
X2–X4	0,5	1	1,5	0,5	0,875	1,125
X2–X5	0,5	1	1,5	1	1	1
X2–X6	1	0,5	1,5	0,5	0,875	1,125
X2–X7	0,5	0,5	1	0,5	0,625	1,375
X3–X4	1,5	1	0,5	1	1	1
X3–X5	1	0,5	1,5	0,5	0,875	1,125
X3–X6	1	0,5	1	0,5	0,75	1,25
X3–X7	0,5	1	0,5	0,5	0,625	1,375
X4–X5	0,5	0,5	1	1,5	0,875	1,125
X4–X6	1	0,5	0,5	1	0,75	1,25
X4–X7	0,5	0,5	1	0,5	0,625	1,375
X5–X6	1	1	0,5	1	0,875	1,125
X5–X7	0,5	1	1	0,5	0,75	1,25
X6–X7	1	1	0,5	1	0,875	1,125

На основі даних експертної оцінки заповнено таблицю пріоритетів критеріїв (див. табл. 2). Значення, що розташовуються вище головної діагоналі матриці в табл. 3, відповідають середнім оцінкам K_1 в табл. 3, значення, що розташовані нижче головної діагоналі, – оцінкам K_2 . Коефіцієнт пріоритету розраховано для кожного рядка таблиці за формулою:

Таблиця 3. Визначення пріоритету критеріїв

Table 3. Determining the priority of criteria

Індекс критерію	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Визначення пріоритету		Пріоритет критерію
								Сума рядка	K_{np}	
X1	0	1,375	1,375	1,375	1,25	1	0,5	6,875	1,719	2
X2	0,625	0	1	0,875	1	0,875	0,625	5	1,25	5-6
X3	0,625	1	0	1	0,875	0,75	0,625	4,875	1,219	7
X4	0,625	1,125	1	0	0,875	0,75	0,625	5	1,25	5-6
X5	0,75	1	1,125	1,125	0	0,875	0,75	5,625	1,406	4
X6	1	1,125	1,25	1,25	1,125	0	0,875	6,625	1,656	3
X7	0,75	1,375	1,375	1,375	1,25	1,125	0	7,25	1,813	1

$$K_{np} = \frac{\left(\sum_{i=1}^{m-1} K_i \right)}{n \cdot (n-1)}, \text{ балів} \quad (4)$$

де $\sum_{i=1}^{m-1} K_i$ – сума рядка в таблиці;

n – кількість порівнюваних критеріїв.

З урахуванням рекомендацій [9–12] виконано бальне оцінювання кожного критерію. Кожне значення оцінювалося відповідно до ступеня його впливу на певний сегмент потужності. Критеріям, що відповідають технічним вимогам найкраще, присвоюється значення 10 балів; близьким до найкращих – 8–9 балів; достатнім – 4–7 балів; близьким до достатніх – 2–3 бали; недостатнім значенням – 0–1 бал. Результати бальної оцінки наведені в табл. 4.

Таблиця 4. Бальне оцінювання критеріїв

Table 4. Score evaluation of criteria

Сегмент потужностей ВЕУ		Бальна оцінка критерію						
		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
P1	Потужністю від 2 до 3 кВт	10	9	8	8	8	8	6
P2	Потужністю від 3 до 4 кВт	9	8	7	8	10	8	8
P3	Потужністю від 4 до 6 кВт	8	3	5	6	10	6	10
P4	Потужністю від 6 до 10 кВт	6	2	1	4	10	4	10

Після виконання бального оцінювання та знаючи вагомості критеріїв, визначені інтегральні оцінки кожного сегменту потужностей. Отримані результати наведені в табл. 5.

Таблиця 5. Інтегральна оцінка сегменту потужностей вітроелектричних установок

Table 5. Integral assessment of the wind power plant capacity segment

Сегмент потужностей ВЕУ	Інтегральна оцінка							Сума інтегральних оцінок	Пріоритет сегмента потужностей
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7		
Потужністю від 2 до 3 кВт	1,719 × 10	1,25 × 9	1,219 × 8	1,25 × 8	1,406 × 8	1,656 × 8	1,813 × 6	83,563	2
Потужністю від 3 до 4 кВт	1,719 × 9	1,25 × 8	1,219 × 7	1,25 × 8	1,406 × 8	1,656 × 8	1,813 × 8	85,813	1
Потужністю від 4 до 6 кВт	1,719 × 8	1,25 × 3	1,219 × 5	1,25 × 6	1,406 × 10	1,656 × 6	1,813 × 10	73,219	3
Потужністю від 6 до 10 кВт	1,719 × 6	1,25 × 2	1,219 × 1	1,25 × 4	1,406 × 10	1,656 × 4	1,813 × 10	57,844	4

Підсумовуючи вищенаведені викладки, можна констатувати, що вітроелектричні установки потужністю від 3 до 4 кВт отримали найвищу інтегральну оцінку і на сьогодні є пріоритетними для подальшого налагоджування серійного виробництва.

Поставлена задача щодо вибору сегменту потужностей ВЕУ є багатофакторною, і, можливо, не всі критерії можна достовірно визначити. Проте проведений порівняльний аналіз сегментів потужностей ВЕУ в діапазоні від 2 до 10 кВт дає можливість тим самим інвесторам зорієнтуватися у напрямках вкладення капіталів у галузі вітроенергетики, визначити найдоцільніший сегмент потужностей ВЕУ для інвестування та задовільнити попит населення. В цій роботі в критеріях для аналізу максимально були враховані побажання як споживачів, так і інвесторів.

Висновки.

1. На основі методу парних порівнянь запропоновано дві групи критеріїв для аналізу сегментів потужностей вітроелектричних установок. До першої групи входять критерії, в яких зацікавлені потенційні покупці, як-от: зацікавленість споживачів у певній потужності вітроустановки; можливість монтажу без використання транспортно-підйомних засобів; можливість обслуговування та дрібного ремонту власними силами споживача; можливість акумулювання. До другої групи критеріїв віднесено критерії, що цікавлять інвестора: наявність технічної документації (на експериментальний або дослідний зразок); наявність експериментального або дослідного зразка; наявність технологій та обладнання для серійного випуску.

2. Визначено та обґрунтовано вибір сегментів потужностей вітроелектричних установок у діапазоні від 2 до 10 кВт, проведено порівняльний аналіз цих сегментів потужностей та отримано їх інтегральні оцінки. Найвищу інтегральну оцінку (85,813) отримав сегмент потужностей вітроелектричних установок від 3 до 4 кВт, які пропонуються для подальшого інвестування. Наступними для інвестування є вітроелектричні установки потужністю від 2 до 3 кВт, що мають, відповідно, 83,563 бала.

ПОСИЛАННЯ

1. <http://www.wwindea.org/home/index.php>.
2. Кудря С. О. та ін. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України. 2020. 82 с. <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/atlas.pdf>.
3. Кудря С. О., Тучинський Б. Г., Іванченко І. В. Аналітичний огляд оновлених оцінок щодо перспектив розвитку вітроенергетики. Відновлювана енергетика. 2019. № 3 (58). С. 42–47. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.3\(58\).42-47](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.3(58).42-47).
4. Мхітарян Н. М., Тучинський Б. Г., Кудря С. О., Іванченко І. В., Петренко К. В. Причини та результати перегляду оцінки потенціалу вітрових електростанцій України. Відновлювана енергетика. 2020. № 1 (60). С. 8–16. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.1\(60\).6-16](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.1(60).6-16).
5. Кудря С. О., Василько П. Ф., Жовмір М. М., Ключ В. П., Коханевич В. П., Кузнецов М. П. Морозов Ю. П., Резцов В. Ф. та ін. Відновлювані джерела енергії. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ. 2020. 392 с. ISBN 978-966-999-077-8.
6. Вільчинська Д. В. Вітроенергетичний потенціал України: сучасний стан та перспективи. Матеріали XXIV Міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті». Київ. 2023. С. 284–285. <https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023>.
7. Коханевич В. П., Душина Г. П., Марченко Н. В., Романченко Д. С. Аналіз конструкцій вітрових енергетичних установок. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2012. № 2. С. 61–66.
8. Головки В. М., Коханевич В. П., Шихайлов М. О., Марченко Н. В. До питання визначення ефективного напрямку інвестування в галузі малої вітроенергетики. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2013. № 2. С. 96–103.
9. Розен В. П., Соловей А. И., Белашев А. А. Методические указания для работы студентов по лабораторному практикуму по курсам «Модели и методы оптимизации систем электроснабжения», «Автомати-

зоровані системи управління і переробки інформації» і «Енергетичний менеджмент». Київ. 1999. 27 с.

10. Безклубенко І. С. Методи ранжування критеріїв в задачі оптимізації потокорозподілу інженерної мережі: 36. наук. праць. Київ: КНУБА. 2018. № 34. С. 111–114.
<http://repository.knuba.edu.ua:8080/xmlui/handle/987654321/788>.
11. Грабовецький Б. Є. Економічний аналіз: Навчальний посібник. Київ: Центр учбової літератури. 2009. 256 с.
12. Серіков А. В. Білоцерківський О. В. Метод аналізу ієрархій у прийнятті рішень: Навч. посіб. Харків: БУРУН КНИГА. 2010. 144 с.
13. <https://ggc.com.ua/electric-power-supply/wind-generators/wind-turbines-flamingo-aero.html>.
14. ДСТУ 7338:2013. Вітроенергетика. Установки електричні вітряні малої потужності. Методи випробування. Київ: Мінекономрозвитку України. 2014. 8 с.
15. Перминов Ю. Н., Коханевич В. П., Перминова С. Ю., Бабийчук А. В. Применение постоянных магнитов в электротехнической промышленности, переработке отходов горнодобывающих и других предприятий. Відновлювана енергетика. 2018. № 1. С. 42–59.

REFERENCES

1. <http://www.wwindea.org/home/index.php>.
2. Kudrya S. O. ta in. Atlas enerhetychnoho potentsialu vidnovlyuvanykh dzherel enerhiyi Ukrainy [Atlas of the energy potential of renewable energy sources of Ukraine]. Kyiv: Instytut vidnovlyuvanoi enerhetyky NAN Ukrainy. 2020. 82 p. <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/atlas.pdf>.
3. Kudrya S. O., Turchyns'kyi B. H., Ivanchenko I. V. Analitichnyy ohlyad onovleny khotsinokshchodo perspektiv rozvytku vitroenerhetyky [Analytical review of updated assessments of wind energy development prospects]. Vidnovlyuvana enerhetyka. 2019. № 3 (58). Pp. 42–47. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.3\(58\).42-47](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.3(58).42-47).
4. Mkhitarian N. M., Turchyns'kyi B. H., Kudrya S. O., Ivanchenko I. V., Petrenko K. V. Prychyny ta rezul'taty perehlyadu otsinky potentsialu vitrovykh elektrostansiy Ukrainy [Reasons and results of the revision of the assessment of the potential of wind power plants in Ukraine]. Vidnovlyuvana enerhetyka. 2020. № 1 (60). Pp. 8–16. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.1\(60\).6-16](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.1(60).6-16).
5. Kudrya S. O., Vas'ko P. F., Zhovmir M. M., Klyus V. P., Kokhanievych V. P., Kuznetsov M. P., Morozov Yu. P., Ryzetsov V. F. ta in. Vidnovlyuvani dzherela enerhiyi [Renewable energy sources]. Kyiv: Instytut vidnovlyuvanoi enerhetyky NANU. 2020. 392 p. ISBN 978-966-999-077-8.
6. Vil'chyns'ka D. V. Vitroenerhetychnyy potentsial Ukrainy: suchasnyy stan ta perspektyvy Windenergypotential of Ukraine: current state and prospects [Wind energy potential of Ukraine: current state and prospects]. Materialy XXIV Mizhnarodnoyi naukovo-praktychna konferentsiya «Vidnovlyuvana enerhetyka ta enerhoefektyvnist' u XXI stolitti». Kyiv. 2023. Pp. 284–285. <https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023>.
7. Kokhanievych V. P., Dushyna H. P., Marchenko N. V., Romanchenko D. S. Analiz konstruktsiy vitrovykh enerhetychnykh ustanovok [Analysis of structures of wind power plants]. Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohiyi, ekolohiya. 2012. № 2. Pp. 61–66.
8. Holovko V. M., Kokhanievych V. P., Shykhaylov M. O., Marchenko N. V. Do pytannya vyznachennya efektyvnoho napryamku investuvannya v haluzi maloyi vitroenerhetyky [On the question of determining the effective direction of investment in the field of small wind energy]. Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohiyi, ekolohiya. 2013. № 2. Pp. 96–103.
9. Rosen V. P., Solovey A. I., Belashev A. A. Metodicheskiye ukazaniya dlya raboty studentov po laboratornomu praktikumu po kursam «Modeli i metody optimizatsii sistem elektrosnabzheniya», «Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya i pererabotki informatsii» i «Energeticheskiy menedzhment» [Guidelines for students' work on laboratory workshops in the courses "Models and methods for optimizing power supply systems", "Automated control systems and information processing" and "Energy management"]. Kyiv. 1999. 27 p.
10. Bezklubenko I. S. Metody ranzhuvannya kryteriyiv v zadachi optymizatsiyi potokorozpodilu inzhenernoyi merezhi [Methods of ranking criteria in the problem of optimization of flow distribution of the engineering network]: Zb. nauk. prats'. Kyiv. KNUBA. 2018. № 34. Pp. 111–114. <http://repository.knuba.edu.ua:8080/xmlui/handle/987654321/788>.
11. Hrabovets'kyi B. Ye. Ekonomichnyy analiz: Navchal'nyy posibnyk [Economic analysis: Study guide]. Kyiv: Tsentr uchbovoyi literatury. 2009. 256 p.
12. Syerikov A. V., Bilotserkivs'kyi O. V. Metod analizui yerarhiy u pryynyatti rishen': navch. posib [The method of analyzing hierarchies in decision-making: teaching manual]. Kharkiv: BURUN KNYHA. 2010. 144 p.
13. <https://ggc.com.ua/electric-power-supply/wind-generators/wind-turbines-flamingo-aero.html>.
14. DSTU 7338:2013. Vitroenerhetyka. Ustanovky elektrichnykh vitrovani maloyi potuzhnosti. Metody vyprovuvannya [Wind energy. Small power wind electric installations. Test methods]. Kyiv: Minekonomrozvytku Ukrainy. 2014. 8 p.
15. Perminov Yu. N., Kokhanievych V. P., Perminova S. Yu., Babiychuk A. V. Primeneniye postoyannykh magnitov v elektrotekhnicheskoy promyshlennosti, pererabotke otkhodov gornodobyvayushchikh i drugikh predpriyatiy [The use of permanent magnets in the electrical industry, waste processing from mining and other enterprises]. 2018. № 1. Pp. 42–59.