

ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ НА ПРОМИСЛОВОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

Карпіщенко О.І.,

к.е.н., професор, Сумський державний університет, a.karpishchenko@ukr.net

Горбуль А.В.,

студентка, Сумський державний університет, anastasiia.horbul@gmail.com

В умовах перманентного та стрімкого зростання світових цін на енергоносії усе більшої актуальності набуває впровадження генерації електричної енергії із використанням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). З огляду на прагнення України щодо присоднання до Європейської спільноти, на державному рівні запроваджено стимулювання електричної генерації за рахунок ВДЕ. Основним інструментом стимулювання виробників електроенергії є «зелений тариф».

У той же час, недостатньо уваги приділено впровадженню власної електричної генерації на основі ВДЕ промисловими підприємствами, що набуло особливої актуальності з огляду на стрімке зростання цін на природний газ протягом останнього часу і відповідного підвищення цін на інші енергоносії.

Метою даної статті є дослідження доцільності впровадження вітрової електростанції для забезпечення потреб промислового підприємства у електричній енергії.

Задачами дослідження є аналіз переваг і недоліків використання вітрової енергетики та практичних аспектів застосування такого обладнання, оцінка можливості та доцільності використання його на промисловому підприємстві за умови застосування «зеленого» тарифу.

У статті проведено розрахунок потрібної електричної потужності для забезпечення потреб підприємства з виготовлення меблів. Проведено економічне обґрунтування доцільності впровадження вітрової енергетичної установки для повного забезпечення потреб даного підприємства у електричній енергії. Проведено розрахунки потрібної потужності електрогенеруючої установки, швидкості вітру, терміну окупності капіталовкладень.

Отримані результати дослідження можуть бути застосовані для прийняття рішення про впровадження альтернативних джерел електропостачання на аналогічних підприємствах.

У подальших дослідженнях планується розглянути варіанти впровадження сонячних електростанцій, гібридних варіантів із сонячних та вітрових електростанцій для забезпечення потреб окремих промислових підприємств, а також акумуляторних батарей для накопичення надлишків енергії та вирівнювання утилізації генеруючих потужностей в умовах добових коливань навантаження.

Ключові слова: *відновлювальні джерела енергії, вітрова електростанція, ефективність, промислове підприємство*

DOI: 10.21272/1817-9215.2021.4-7

ВСТУП

Енергетика була і залишається основою сучасного життя, що забезпечує економічне зростання, покращення добробуту населення, підвищення продуктивності суспільного виробництва. З огляду на Європейський курс України, останніми роками керівництво держави приділяє значну увагу питанню збільшення частки відновлювальних джерел енергії у структурі генерації. Так, було чітко визначено стратегічні цілі щодо розвитку відновлюваної енергетики, а саме 11 % ВДЕ в кінцевому енергоспоживанні до 2020 р. [1] та 25% у первинному енергопостачанні до 2035 р. [2]. Ключовим інструментом державного стимулювання для збільшення потужностей ВДЕ є запровадження «зеленого» тарифу [3], який на сьогодні є одним з найбільших у Європі. Стимулювання спрямоване на впровадження сонячних, вітряних та малих гідроелектростанцій, а також на отримання теплової енергії із альтернативних джерел.

Крім того, на фоні кратного зростання вартості природного газу на Європейському ринку, питання запровадження альтернативних джерел енергії як на рівні держави, так і на рівні промислових споживачів набуває нового змісту. Оцінка доцільності впровадження альтернативних джерел енергії радикально змінилася порівняно з альтернативними варіантами, які використовують викопне паливо.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідженнями проблем та перспектив розвитку генерації електроенергії за рахунок альтернативних джерел займалися такі вітчизняні та зарубіжні вчені: Колеватова А. В., Дероган Д. В., Макогон Ю. В., Доля І. М., Білявський М., Акименко О., Кудря С. О., Аубакиров Р. Д., Лукутин Б. В. та ін. Проте, незважаючи на наявні розробки вчених, потребують подальшого дослідження питання впровадження та використання альтернативних джерел на рівні окремих промислових підприємств. Обґрунтування доцільності впровадження власних установок з енергопостачання за рахунок відновлювальних джерел енергії набуває все більшої актуальності у сучасних умовах перманентного та стрімкого зростання світових цін на викопні енергоносії.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Мета роботи полягає у дослідженні доцільності впровадження вітрової електростанції для забезпечення потреб промислового підприємства в електроенергії.

Задачами дослідження є аналіз переваг і недоліків використання вітрової енергетики та практичних аспектів застосування такого обладнання, оцінка можливості та доцільності використання його на промисловому підприємстві за умови застосування «зеленого» тарифу.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У даному дослідженні застосовано методи аналізу та синтезу, порівняння та моделювання.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На відміну від рекордного для національного вітроенергетичного сектору 2019 року, в якому Україна приєдналась до світового «Гігаватного клубу країн», вітроенергетична потужність яких перевищує 1000 МВт, 2020 рік продемонстрував безпрецедентне протистояння цій динаміці всередині нашої держави. Затримки виплат за поставлену в мережу електроенергію, з якими стикнулись виробники з відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) з початку запуску нового ринку електроенергії, різке зростання сонячної генерації, високий розмір «зеленого» тарифу для окремих сонячних електростанцій (СЕС) та присутність у владі потужної групи лобістів традиційної енергетики призвели до значних політичних спекуляцій на темі «зеленого» тарифу та відновлюваних джерел енергії як таких, а в подальшому, до скорочення «зеленого» тарифу для нових та вже побудованих станцій з ВДЕ [4].

Попри те, що, порівняно з 2019 роком, у 2020 році національний вітроенергетичний сектор збагатився на значно меншу кількість нових потужностей, близько 5 000 МВт вітроенергетичних потужностей, які станом на кінець грудня 2019 року отримали дозволу на будівництво, демонструють готовність сектору розвиватися та надалі вносити свій вклад в національну економіку. За 2020 рік, у чотирьох областях України було введено в експлуатацію всього 144,2 МВт нових вітроенергетичних потужностей, а загальна потужність вітроенергетичного сектору України досягла 1314,1 МВт. На новозбудованих ВЕС почали генерувати чисту електроенергію 36 вітрових турбін мегаватного класу. Середня одинична потужність нових вітротурбін складає 4 МВт [4]. На рисунку 1 зображено графік загально встановленої потужності вітроенергетичного сектору на материковій частині України та територіях окремих районів донецької та Луганської областей (ОРДЛО) (без АР Крим) за період з 2015 по 2020 роки, МВт.

За кількістю введених за рік вітроенергетичних потужностей на перше місце вийшла Херсонська область (101,4 МВт), випередивши Миколаївську область (42,8 МВт). Також нові вітроенергетичні потужності були побудовані у Запорізькій та Одеській областях, а саме 98 МВт та 40 МВт відповідно. Сумська область є однією з останніх по Україні (займає 22 місце) по встановленій потужності відновлювальних джерел енергії станом на 2020 рік. Через знаходження у місцевості з невисокою

середньою швидкістю вітру, сумчани надають перевагу сонячній енергії, а не вітровій. Це можна побачити на мапі України з графічним зображенням розташування працюючих вітростанцій (рисунок 2). Переважна більшість установок знаходиться на півдні країни (через вихід до морів) та на заході.



Рисунок 1 – Загальна встановлена потужність вітроенергетичного сектору України, МВт (за даними Української вітроенергетичної асоціації) [4]

За минулий рік вітроенергетичними потужностями до об'єднаної енергосистеми України було поставлено 3251,6 млн кВт·год «зеленої» електроенергії, або 2,2 % від сукупного річного обсягу генерації електроенергії в Україні, достатньої для забезпечення електроенергією понад 650 тисяч українських домогосподарств з середньомісячним споживанням електроенергії на рівні 500 кВт·год [4].



Рисунок 2 – Мапа України з графічним зображенням розташування працюючих вітростанцій

Переваги та недоліки електропостачання від ВЕУ. Найважливішою перевагою є те, що потоки вітру – це екологічно-чистий вид енергії. Виробництво електроенергії

вітровими установками відбувається без шкідливих газів і майже ніяк не впливає на природу.

На відміну від викопного палива, енергія вітру невичерпна. Також перевагами вітрових установок можна вважати енергомісткість, тобто те, що вітряки займають відносно невеликий обсяг місця, а також можуть встановлюватися у віддалених та важкодоступних місцях. Іншими аргументами «за» є: простота в експлуатації, технічному обслуговуванні, низькі експлуатаційні витрати, швидкість монтажу, й те, що установка майже одразу починає свою роботу.

Перевагами для електропостачання від ВЕУ підприємств та домогосподарств є те, що зайву енергію, яку не використав об'єкт споживання можна продати за «зеленим» тарифом місцевому енергопостачальнику та отримати додатковий дохід.

Головними недоліками є нестабільність роботи та відносно невисокий вихід енергії. Причиною є нестабільність вітру, а й іноді його відсутність. Тому ВЕУ рекомендують встановлювати разом з акумуляторними батареями, або також підключатися до загальної мережі в якості резервного джерела електроенергії. Вітрогенератор починає працювати лише при певній початковій швидкості вітру й виробляє зовсім малу кількість енергії, порівняно з номінальною. Якщо необхідно для електропостачання мати на виході 100 кВт, то однієї установки на 100 кВт не вистачить, оскільки вихід електроенергії буде куди меншим, коли швидкість вітру менша за номінальну. В такому разі для забезпечення електропостачання споживачів буде необхідно встановити декілька турбін, або одну з більшою потужністю [5].

Зазвичай власникам підприємств складно обрати оптимальне джерело постачання електроенергії. В даній роботі на прикладі підприємства з виготовлення меблів було проведено розрахунки для обрання вітряної електрогенеруючої установки.

Розрахунок пікової потужності підприємства, що розглядається у роботі, наведено у таблиці 1 [розрахунок проведено авторами].

Таблиця 1 – Розрахунок пікової потужності

| Будівля | Встановлена потужність P_1 , кВт | Споживана потужність, кВт | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|------|-------|-----|
| | | Ранок | День | Вечір | Ніч |
| Адміністративний корпус | 15 | 15 | 15 | 0 | 0 |
| Побутовий корпус | 25 | 25 | 25 | 25 | 0 |
| Котельня | 35 | 35 | 35 | 35 | 0 |
| Цех первинної сировини | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Сушарня | 130 | 0 | 0 | 0 | 130 |
| Виробничий цех | 150 | 150 | 150 | 150 | 0 |
| Склад готової продукції | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Разом пікова потужність, $P_{пик}$ | | 260 | 260 | 245 | 165 |

Відповідно, пікова потужність для підприємства склала $P_{пик}=260$ кВт, а найбільше споживання вранці і вдень. Таким чином, підприємство потребує встановлення інвертору до ВЕУ потужністю не менше 260 кВт (тобто не менше пікової).

В таблиці 2 представлені результати енергоспоживання підприємством за добу, що дозволило визначити середні потужності.

Таблиця 2 – Енергоспоживання за добу [5]

| Будівля | Встановлена потужність P_1 , кВт | Потужність, що споживається, кВт | | | | Споживання електричної енергії кВт·год |
|--------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------|-------------|-----------|--|
| | | Ранок 2 год | День 10 год | Вечір 5 год | Ніч 7 год | |
| Адміністративний корпус | 15 | 18 | 120 | 0 | 0 | 138 |
| Побутовий корпус | 25 | 43,75 | 175 | 50 | 0 | 268,75 |
| Котельня | 35 | 70 | 280 | 140 | 0 | 490 |
| Цех первинної сировини | 15 | 30 | 150 | 75 | 105 | 360 |
| Сушарня | 130 | 0 | 0 | 0 | 910 | 910 |
| Виробничий цех | 150 | 75 | 1095 | 300 | 0 | 1470 |
| Склад готової продукції | 20 | 40 | 200 | 100 | 140 | 480 |
| Загальна потужність, P | | 276,75 | 2020 | 665 | 1155 | 4116,75 |

Найбільше електроенергії підприємство витрачає вдень, тому і беремо його за основу при виборі ВЕУ.

Вибір певної ВЕУ залежить від загального рівня інтенсивності вітру [6], який може змінюватися не лише у різні місяці і сезони, але і в різні часи доби. Середня швидкість вітру за обраний проміжок часу визначається за формулою 1 [7]:

$$v_{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n}, \text{ м/с} \quad (1)$$

де $v_{\text{сер}}$ – середня швидкість вітру за обраний проміжок часу, м/с;

v_i – миттєве значення швидкості вітру, м/с;

n – кількість вимірювань.

На основі офіційних даних інформаційного сайту «Метеопост» було визначено середню швидкість вітру за рік на південному сході Сумської області за всі місяці 2020 року (див. рис. 3), що склала 3,9 м/с.

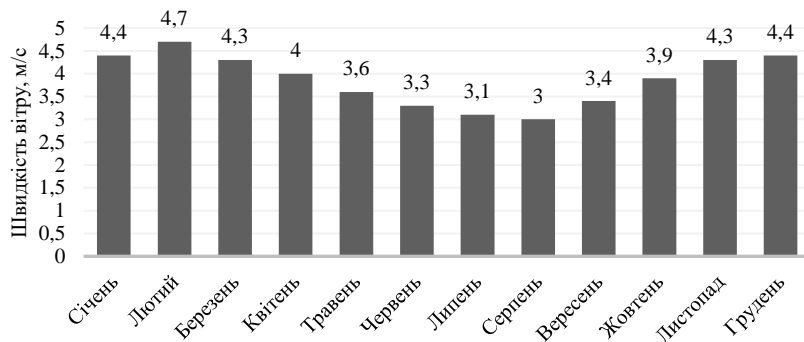


Рисунок 3 – Середня швидкість вітру Сумської області

Розрахункова величина швидкості вітру відповідає вітру біля поверхні землі, а ВЕУ встановлюється над поверхнею на висоті до 70 метрів, бо, як відомо, швидкість вітру зростає зі збільшенням висоти над поверхнею землі.

Для наших розрахунків оптимальною вважаємо висоту опори 24-30 м. На висоті швидкість вітру можна розрахувати за формулою (2) [7]:

$$v = v_1 \frac{\ln \frac{h_1}{h_0}}{\ln \frac{h_1}{h_0}}, \text{ м/с.} \quad (2)$$

де v – швидкість вітру на висоті h , м/с ;

v_1 – відома швидкість вітру на висоті h_1 , м/с ;

h_0 – висота, на якій швидкість вітру дорівнює нулю.

Автори [8] спростили формулу (2) на підставі даних спостереження швидкості вітру на висоті:

$$v = v_0 \cdot \left(\frac{h}{h_0}\right)^\alpha, \text{ м/с.} \quad (3)$$

де v – швидкість вітру на висоті h ;

v_0 – відома швидкість вітру на висоті h_0 ;

α – коефіцієнт ($\alpha = 0,2$)

Показник α не є сталим. В багатьох роботах його приймають $\alpha = 0,143$. У США значення для різних місць представляють як $\alpha = 0,23 \pm 0,03$, іноді досягаючи 0,34. В окремих роботах для України використовують $\alpha = 0,167$. В даній роботі будемо розраховувати при значенні показника $\alpha = 0,2$, яке рекомендують брати в нормативних документах [8].

$$v_{24} = 3,9 \cdot \left(\frac{24}{1}\right)^{0,2} = 7,31 \text{ м/с}$$

$$v_{30} = 3,9 \cdot \left(\frac{30}{1}\right)^{0,2} = 7,64 \text{ м/с}$$

Отже, на висоті 24 – 30 метрів над рівнем землі середня швидкість вітру за рік становить близько 7,31 – 7,64 м/с. Ці значення й будемо використовувати надалі для вибору ВЕУ.

На рисунку 4 наведена «Роза вітрів» Сумської області, тобто вказана повторюваність напрямку вітру за рік, що впливає в подальшому на вибор напрямку встановлення ВЕУ.

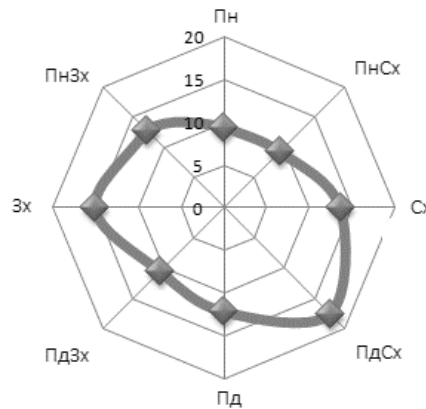


Рисунок 4 – Повторюваність напрямку вітру за рік, %

З таблиць 1 та 2 відомо, що підприємство споживає в середньому за годину 202 кВт, а пікове навантаження досягає 260 кВт. Використовуючи методики [9, 10] було визначено (з похибкою 5%) основні необхідні параметри вітроустановки: площу, охоплену ротором – 263 м², діаметр вітроколеса – 18,3 м. Далі у відповідності до розрахункових параметрів та вивчення пропозицій на ринку було обрано вітрогенератори WH20.8-100KW – один з найбільш передових генераторів в світі. Параметри вітрогенератора наведені в таблиці 3.

Система призначена для пошуку оптимального напрямку вітру і зупинки генератора в позаштатних ситуаціях: при низькій і критичній швидкості обертання, в разі перегріву, і т. д.

Таблиця 3 – Технічні характеристики WH20.8–100KW

| Характеристика | Значення |
|--------------------------------------|----------|
| Номінальна потужність | 100 кВт |
| Максимальна вихідна потужність | 110 кВт |
| Вихідна напруга | АС 380 В |
| Лопаті/кількість | 3 |
| Лопаті несучого гвинта, діаметр | 20,8 м |
| Початкова швидкість вітру | 2 м/с |
| Номінальна швидкість вітру | 11 м/с |
| Номінальна швидкість обертання | 85 об/хв |
| Ефективність перетворення генератора | 92 % |
| Маса генератора | 2000 кг |
| Висота башти | 30 |

Виходячи з характеристики вітрогенератор WH20.8-100KW при швидкості вітру в місці розташування підприємства 7,64 м/с видаватиме потужність 77 кВт. Щоб забезпечити аналізоване підприємство потрібною електроенергією необхідно встановити 3 таких вітряка, тоді сумарна вихідна потужність становитиме $77 \cdot 3 = 231$ кВт, що більше максимальної середньої потужності, що споживається підприємством.

Вартість електроенергії від ВЕС залежить, насамперед, від обсягу виробленої електроенергії, який, в свою чергу, визначається величиною середньорічної швидкості вітру, витратами на обслуговування та експлуатацію, терміном служби вітроустановки, а також залежить від величини капітальних вкладень» [7]. Для того, щоб заохотити населення виробляти електроенергію з альтернативних джерел енергії був введений певний механізм – «зелений» тариф.

«Зеленим» називають тариф, за яким оптовий ринок електричної енергії України (енергопостачальники) мусить купувати електроенергію, що була вироблена з альтернативних джерел енергії. Тобто аналізоване підприємство зможе продати місцевому обленерго залишок електроенергії, що був вироблений вітрогенераторами, але не спожитий підприємством згідно з Постановою Національної комісії України з державного регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг .

Наразі в Україні діє один з найвищих «зелених» тарифів в світі. Згідно постанови НКРЕКП №1661 від 29.09.2021 р. Середнє значення тарифу для ВЕС складає від 1,83 до 3,56 грн. за 1 кВт год [11].

Для проведення розрахунків з ефективності впровадження установок вітрової енергетики було визначено капітальні та поточні витрати на установку та обслуговування ВЕУ. Капітальні витрати включають в себе вартість самої вітроенергетичної установки, витрати на проектні роботи (складання детального плану), перевезення обладнання, страхування, податок на додану вартість, митні платежі, закладення фундаменту, встановлення ВЕУ й підключення до мережі, додаткове обладнання .

На основі інформації підприємств-постачальників обладнання та будівельно-монтажних фірм вартість капітальних вкладень було визначено у сумі 53,6 млн.грн. [5].

Поточні витрати йдуть на технічне обслуговування, ремонт вітряних установок, амортизаційні відрахування, заробітну плату обслуговуючому персоналу.

Визначено середньорічні поточні витрати в сумі $B = 742\ 076$ грн. Це приблизна середня річна сума, яка необхідна для підтримання трьох вітроенергетичних установок в робочому стані.

Основними критеріями економічної ефективності ВЕУ є зведені річні витрати на 1 кВт встановленої потужності та вартість 1 кВт год. електроенергії, що виробляється [12].

Розрахунок собівартості одного кВт встановленої потужності проводиться за наступною формулою:

$$Z = \frac{P_n \cdot K + B}{P}, \text{ грн/кВт} \cdot \text{год} \quad (4)$$

де Z – відносні зведені річні витрати на 1 кВт встановленої потужності, грн;

K – загальні капіталовкладення, грн;

B – річні експлуатаційні витрати, грн;

P – встановлена потужність об'єкту електропостачання, кВт;

P_n – нормативний коефіцієнт рентабельності, що розраховується за допомогою відношення:

$$P_n = \frac{1}{T} \quad (5)$$

де T – економічний термін служби обладнання, років.

Так як економічний термін служби ВЕУ 25 років, то нормативний коефіцієнт матиме значення 0,04.

Таким чином, розрахована собівартість становить 0,044 грн/кВт·год. Цей показник є усередненим за весь час. Реальна ж собівартість на початку використання ВЕУ нижче, так як експлуатаційні та амортизаційні витрати для нових агрегатів невеликі [5]. З часом показник зростатиме, чим довший термін експлуатації вітрової установки. Але собівартість не дає уявлення про ефективність вироблення електроенергії. Ефективність роботи показує коефіцієнт використання встановленої потужності, що визначається за відношенням:

$$K_{\text{ввп}} = \frac{P_{\text{д}}}{P_{\text{пл}}} \quad (6)$$

де $P_{\text{д}}$ – дійсне вироблення електроенергії за даний період часу, Вт;

$P_{\text{пл}}$ – планова електроенергія, яка може бути вироблена, якщо генератори будуть працювати весь час з 100% потужністю, Вт.

Для вибраних раніше вітрогенераторів, при середній швидкості вітру в даному регіоні на висоті 30 метрів, вироблена потужність сягає близько 77 кВт для кожного. При номінальній швидкості вітру 11 м/с установки видаватимуть по 100 кВт. З відношення (4) маємо $K_{\text{ввп}} = 0,77$. Даний показник розрахований майже при ідеальних умовах. В реальності значення $K_{\text{ввп}}$ досягатиме не більше 0,5, так як на пряму залежить, перш за все, від наявності та швидкості вітру, від зупинок, усунення несправності, проведення ремонтних робіт, планових обслуговувань і часу, що все це займає [5].

Ефективність визначена за умови, що ВЕУ працюватиме без довгих зупинок весь рік з середньою швидкістю вітру на висоті 30 метрів по регіону її встановлення. Реальне значення показника буде меншим за розраховане.

Щоб визначити термін окупності установки – необхідно врахувати приблизний прибуток від продажу зайвої неспожитої підприємством електроенергії за «зеленим» тарифом.

Не можна не враховувати, що підприємство протягом всього часу не витратиме коштів на оплату електроенергії. Якщо прийняти до уваги, що керівництво країни намагається зрівняти ціну на електроенергію для громадян та організацій, а базовий тариф за 1 кВт енергії з мережі становить 1,68 грн., тоді на рік в середньому необхідно було б витратити на споживання електроенергії з мережі, а отже буде зекономлено $E = 2442866$ грн., а термін окупності вітрових установок становить 14,5 років. Отже після закінчення цього терміну підприємство матиме додатковий дохід від продажу, що не буде витрачатися на погашення капітальних вкладень, а тільки приносить прибуток. Якщо частину прибутку від самого підприємства також витратити на погашення капітальних вкладень, то гроші за ВЕУ повернуться за більш короткий час.

Висновки. На сьогоднішній день актуальним залишається питання заміни вуглеводневого пального на альтернативні види отримання електричної енергії, причому як у державному, так і в приватному секторах економіки. В Україні є всі передумови для використання нетрадиційних видів енергії і в першу чергу – вітрової. Уже існують підприємства з виробництва вітрових енергогенераторів, які проявили навіть більшу ефективність і стабільність в експлуатації порівняно з зарубіжними аналогами. Постійне здорожчення викопних енергетичних ресурсів, а тим більш кратно зростання ціни на природний газ у 2021 році суттєво змінюють економіку із впровадження альтернативних джерел енергії. Так, впровадження ВДЕ у масштабах окремого промислового підприємства може бути цілком ефективним інвестиційним вкладенням.

SUMMARY

Karpishchenko O.I., Horbul A.V. Economic efficiency evaluation of wind energy installation introduction at an industrial enterprise.

In the conditions of permanent and rapid world energy prices growth, the electricity generation using renewable energy sources (RES) introduction is becoming increasingly important. Given Ukraine's aspirations to join the European Community, incentives for electricity generation through RES have been introduced at the state level. The main tool of electricity producers' stimulation is the "green tariff". Its size significantly exceeds the cost of purchasing electricity from traditional generation sources, which contributes to the development of this area of energy.

At the same time, insufficient attention is paid to the own electricity generation introduction based on RES by industrial enterprises, which has become especially relevant given the rapid rise in natural gas prices in 2021 and the corresponding increase in prices for other energy sources.

The goal of this article is to study the feasibility of a wind farm introducing to meet industrial enterprises electricity needs.

The objectives of the study are to analyze the wind energy using advantages and disadvantages and practical aspects of such equipment use, assessing the possibility and feasibility of using it in an industrial enterprise under the "green" tariff. The economic aspects of such an innovation are also considered.

The required electrical power of the furniture production enterprise needs have been calculated. The economic substantiation of expediency of wind power plant for full maintenance needs in the electric power is carried out. Calculations of the required power plant capacity, wind speed, payback period of investments have been made.

The results of the study can be used to decide alternative power sources introduction in similar enterprises. And also can be taken as the plan of electrification basis for enterprises of other branches.

Further research is planned to consider to options for the solar power plants, hybrids of solar and wind power plants introduction to meet the individual industrial enterprise's needs, as well as batteries to store excess energy and equalize the generating capacity utilization in conditions of daily load fluctuations.

Keywords: renewable energy sources, wind power, efficiency, industrial enterprise

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року, затверджений Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 01.10.2014 № 902-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80#Text> (дата звернення: 22.10.2021).
2. Енергетична стратегія України на період до 2035 року, затверджена Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. №605-р.8 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text> (дата звернення: 22.10.2021).
3. Про альтернативні джерела енергії. Закон України від 16.10.2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text> (дата звернення: 22.10.2021).
4. «Вітроенергетичний сектор України 2020»: Звіт Української Вітроенергетичної асоціації. URL: <http://www.uwea.com.ua/> (дата звернення: 22.10.2021).
5. Горбуль А.В., Розробка вітрової електростанції для живлення електричних навантажень промислового підприємства. Кваліфікаційна робота бакалавра. URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/download/123456789/84852/1/Horbul_bak_rob.pdf;jsessionid=59A13CB68CD19E89F3F9BCE92706D9BA (дата звернення: 22.10.2021).
6. Визначення характеристик вітрового потоку [Текст]: метод. рек. до викон. комп'ютерного практикуму для студ. напрямку підготовки 6.050601 «Теплоенергетика» спеціальності 7.05060105, 8.05060105 «Енергетичний менеджмент» / Уклад: В.І. Шкляр, В.В. Дубровська. К.: НТУУ «КПІ», 2015. 31 с.
7. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Ципленков; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. Д.: НГУ, 2015. 335 с.
8. Применение ветроколес и генераторов для ветроэнергетических установок малой мощности / А.А. Бубенчиков, Е.Ю. Артамонова, Р.А. Дайчман, Л.А. Файфер, Ф.В. Катеров, Т.В. Бубенчикова // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 5–2 (36). С. 35–39.
9. Аубакиров, Р. Д. Пример расчета параметров ветроэнергетической установки для потребителя малой мощности / Р. Д. Аубакиров, А. О. Вирайло, Е. В. Гаврилович. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2016. — № 28.2 (132.2). — С. 1-7. — URL: <https://moluch.ru/archive/132/36967/> (дата звернення: 22.10.2021).
10. Лукутин Б. В., Муравлев И. О., Плотников И. А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями : учеб. пособие. Томск : изд-во Томского политех. университета, 2015. 120 с.
11. Про встановлення «зелених» тарифів на електричну енергію та надбавки до «зелених» тарифів за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва для суб'єктів господарювання. Постанова № 1661 від 29.09.2021 р. URL: <https://www.nerc.gov.ua/?id=64873> (дата звернення: 22.10.2021).
12. Зелений тариф, впровадження проєктів для фізичних та юридичних осіб. Заробіток на альтернативній енергетиці : стаття. URL: <http://www.ecosvit.net/ua/zeleniy-tarif> (дата звернення: 22.10.2021).

REFERENCES

1. About the National Renewable Energy Action Plan for the period up to 2020 (01.10.2014), approved by the Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 902-р. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80#Text>
2. Energy strategy of Ukraine for the period up to 2035 (18.08.2018) approved by the Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine №605-р.8 Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>
3. About alternative energy sources. (16.10.2020) Law of Ukraine Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text> (дата звернення: 22.10.2021).
4. Wind energy sector of Ukraine 2020 (2020) Report of the Ukrainian Wind Energy Association. Retrieved from <http://www.uwea.com.ua/>
5. Horbul, A.V. A wind power plant to power electrical loads of an industrial enterprise development (2021). Bachelor's qualification work. Retrieved from https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/84852/1/Horbul_bak_rob.pdf;jsessionid=59A13CB68CD19E89F3F9BCE92706D9BA
6. Shklyar, V.I. & Dubrovska, V.V. (2015) Determination of wind flow characteristics [Текст]: method. recom. to perform. computer workshop for students. direction of training 6.050601 "Heat" specialty 7.05060105, 8.05060105 «Energy management» /. К.: NTUU «КПІ», 31 p.
7. Pivnyak, H., Shkrabets, F., Noiberger, N. & Tsyplenkov, D (2015). Fundamentals of wind energy: a textbook. Ministry of education and science of Ukraine, National mining university, D.: NMU, 335 с.
8. Bubenchikov, A.A., Artamonova, E.Yu, Daichman R.A., Phaipher, L.A., Katerov, F.V. & Bubenchikova T.V. (2015) Wind wheels and generators for low power wind turbines application // International research magazine. № 5–2 (36). p. 35–39.
9. Aubakirov, R.D., Virailo, A.O. & Havrilovich, E.V. (2016). An example of the wind power plant for a consumer of low power parameters calculating // Молодой ученый. № 28.2 (132.2). — p. 1-7. Retrieved from <https://moluch.ru/archive/132/36967/> (дата звернення: 22.10.2021).
10. Lukutin, B.V., Muravlev, I.O. & Plotnikov, I.A. (2015) Power supply systems with wind and solar power plants: textbook. Tomsk, Tomsk polytechnic university publish. 120 p.
11. About "green" tariffs establishment for the electric power and a surcharge to "green" tariffs for equipment use level observance of the Ukrainian production for business entities (29.09.2021). Decree № 1661. Retrieved from <https://www.nerc.gov.ua/?id=64873>.
12. Green tariff, implementation of projects for individuals and legal entities. Earnings on alternative energy. Retrieved from: <http://www.ecosvit.net/ua/zeleniy-tarif>