

*Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет*

**КАФЕДРА ЕКОНОМІКИ, ПІДПРИЄМНИЦТВА
ТА БІЗНЕС-АДМІНІСТРУВАННЯ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Тема: Аналіз техніко-економічних показників вітроенергетичних систем

*Спеціальність 051 «Економіка»
Освітня програма 6.051.00.06 «Економіка і бізнес»*

Завідувач кафедри:

О. І. Карінцева

Керівник роботи:

О.І. Карпіщенко

Виконавець:

А.В. Горбуль

Група:

Епн – 71

Суми 2021

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| №п/п | Назва етапів роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|------|--|--------------------------------|----------|
| 1 | Розрахунок споживчих навантажень підприємства | 15.05.2021р. | |
| 2 | Оцінка вітрового потенціалу | 17.05.2021р. | |
| 3 | Розрахунок параметрів ВЕУ. Вибір ВЕУ. | 21.05.2021р. | |
| 4 | Вибір устаткування мережі живлення підприємства | 25.05.2021р. | |
| 5 | Перевірка діючого обладнання ПС-35/10 | 27.05.2021р. | |
| 5 | Розрахунок техніко-економічних показників | 31.05.2021р. | |
| 6 | Виконання креслень. Оформлення графічного матеріалу | 05.05.2021р. | |
| 7 | Оформлення пояснювальної записки | 07.05.2021р. | |

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра складається із 44 сторінок тексту; 3 розділів; 10 таблиць; 9 рисунків, списку використаної літератури із 31 джерела.

Ключові слова: електрична мережа, вітроенергетична установка, альтернативні джерела енергії, «зелений» тариф;

электрическая сеть, ветроэнергетическая установка, альтернативные источники энергии, «зелёный» тариф;

electric network, wind power plant, alternative energy sources, «green» tariff.

Короткий огляд – В роботі досліджено проект по встановленню альтернативного джерела енергії для електропостачання підприємства. Проведено вибір вітроенергетичних установок, необхідного додаткового обладнання для підключення їх до підприємства та мережі, вибір обладнання для організації автоматизованого обліку електричної енергії. Висвітлене економічне обґрунтування доцільності встановлення вітроенергетичної установки шляхом аналізу техніко-економічних показників.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВЕУ – вітроенергетична установка;

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії;

ВЕС – вітрова електростанція;

ЕС – енергетична система;

ЄСВ – єдиний соціальний внесок;

КЛ – кабельна лінія;

ЛЕП – лінія електропередачі;

ОРДЛО – окремі райони Донецької та Луганської областей;

ПДВ – податок на додану вартість;

ПС – підстанція;

ПЛ – повітряна лінія;

СЕС – сонячна електростанція;

СУ – система управління;

ТЕО – техніко-економічне обґрунтування.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БР 3.6.141.323 ПЗ | Лист |
| Змін. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| Вступ..... | 6 |
| РОЗДІЛ 1. Аналіз та перспективи впровадження ВЕС | 7 |
| 1.1 Місце ВЕС у відновлюваній енергетиці | 7 |
| 1.2 Переваги та недоліки електропостачання від ВЕУ..... | 9 |
| РОЗДІЛ 2. Аналіз вибраного об'єкту для альтернативного електроспоживання | 11 |
| 2.1 Вибір підприємства | 11 |
| 2.2 Розрахунок потужностей, споживаних підприємством | 12 |
| РОЗДІЛ 3. Вибір ВЕУ | 15 |
| 3.2 Оцінка вітроенергетичного потенціалу | 15 |
| 3.4 Розрахункові параметри ВЕУ | 18 |
| 3.5 Вибір ВЕУ, її конструкція та комплектація | 20 |
| РОЗДІЛ 4. Підключення ВЕУ до мережі | 24 |
| 4.1 Розрахунок та вибір електричних кабелів та проводів | 25 |
| 4.2 Розрахунок та вибір трансформатору | 26 |
| 4.3 Вибір комутаційних апаратів | 27 |
| 4.4 Розрахунок та вибір захисту ПЛ–10кВ | 28 |
| 4.5. Вибір лічильника | 28 |
| 4.6 Перевірка обладнання на ПС – 35/10 | 30 |
| РОЗДІЛ 5. Розрахунок техніко-економічних показників..... | 31 |
| 5.1 «Зелені» тарифи..... | 31 |
| 5.2 Розрахунок капітальних витрат | 32 |
| 5.3 Розрахунок поточних витрат..... | 35 |
| 5.4 Річна економія та термін окупності установки | 36 |
| Висновок..... | 40 |
| Список літератури | 41 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-------------|------------------------|---------------|-------------|--|--|--|----------------------|-------------|----------------|----|--|
| | | | | | БР 3.6.051. 845.ПЗ | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | <i>Аналіз техніко-економічних показників ВЕС</i> | | | <i>Літ.</i> | <i>Арк.</i> | <i>Акрушів</i> | | |
| <i>Розроб.</i> | | <i>Горбуль А.В.</i> | | | | | | | | 5 | 43 | |
| <i>Керівник</i> | | <i>Карпищенко О.І.</i> | | | | | | <i>СумДУ, Епн-71</i> | | | | |
| <i>Консульт.</i> | | | | | | | | | | | | |
| <i>Н. контр.</i> | | | | | | | | | | | | |
| <i>Затверд.</i> | | <i>Карінцева О.І.</i> | | | | | | | | | | |

Вступ

В Україні в умовах сучасних трансформаційних процесів, що обумовлені «Індустрією 3.0» та орієнтацією суспільства на концепцію сталого розвитку, продовжує зростати відсоток відновлювальної енергетики, але поки що досі залишається не значним [27, 28, 29, 30, 31]. Все більше здобувають популярність сонячна енергетика, вітрова, а також біопаливо. Влада заохочує населення встановлювати альтернативні джерела енергії, ввівши «зелені» тарифи, що наразі є одними з найвищих у Європі [16, 17, 18, 19, 20, 21].

В даній бакалаврській роботі розглядатиметься перехід підприємства на відновлювальну енергію, а точніше на електроенергію, що була вироблена вітроенергетичною установкою. Будуть виконані необхідні розрахунки для аналізу доцільності переходу, вибору вітрової установки та додаткового обладнання. Для цього необхідно:

- оцінити енергоспоживання вибраного підприємства;
- провести аналіз вітрового потенціалу біля території підприємства;
- провести розрахунок необхідних параметрів та вибрати відповідну вітроенергетичну установку;
- розробити схему підключення до мережі;
- перевірити встановлене обладнання підстанції при підключенні додаткового навантаження від підприємства;
- виконати техніко-економічний аналіз для оцінки доцільності проекту.

Метою даної роботи є систематизація, закріплення та використання набутих знань з дисциплін професійної підготовки.

Основними задачами в даній роботі є розрахунок та аналіз техніко-економічних показників вітрової установки для компенсації власних потреб вибраного підприємства в електричній енергії та можливості реалізації електроенергії в мережу за «зеленим» тарифом; складання приблизного проекту підключення підприємства до вітроенергетичної установки та загальної мережі електропостачання.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БР 3.6.051.485 ПЗ | Лист |
| Змін. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 1. Аналіз та перспективи впровадження ВЕС

1.1 Місце ВЕС у відновлюваній енергетиці

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 [1].

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 дозволи 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 віротурбін складає 4 МВт [1]. На рисунку 1.1.1 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.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БР 3.6.051.845 ПЗ | Лист |
| Змін. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | 7 |



Рисунок 1.1.1 – Загальна встановлена потужність вітроенергетичного сектору України, 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 1.1.2). Переважна більшість установок знаходиться на півдні країни (через вихід до морів) та на заході.

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.

Великі ВЕС можуть наносити шкоду місцевій фауні, так як тварини можуть покинути середовище існування через шум від генераторів та велику площу, займану десятками установок. Також трапляються зіткнення птахів з лопатями, за статистикою, кожна вітрова установка є причиною зіткнення і подальшої загибелі не менше чотирьох пташок на рік. Тому перед встановленням ВЕУ розробляється великий проект, в якому є відведення та дослідження земельних ділянок під будівництво, в якому включають не тільки технічні аспекти, а й екологічні.

На відміну від викопного палива, енергія вітру невичерпна. Також перевагами вітрових установок можна вважати енергомичність, тобто те, що вітряки займають відносно не великий обсяг місця, а також можуть встановлюватися у віддалених та важкодоступних місцях. Іншими аргументами «за» є: простота в експлуатації, технічному обслуговуванні, низькі експлуатаційні витрати, швидкість установки, 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.

Найголовнішими недоліками є нестабільність 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 однієї з більшою потужністю, але, скоріш за всього, це буде неефективним рішенням.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БР 3.6.051.845 ПЗ | Лист |
| Змін. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | 10 |

РОЗДІЛ 2. Аналіз вибраного об'єкту для альтернативного електроспоживання

2.1 Вибір підприємства

В якості об'єкту, до якого будемо вибирати вітрову установку, беремо умовне підприємство «Галос», що виготовляє меблі. Припускаємо, що дане підприємство знаходиться на південному сході Сумської області.

План – схема території зображена на рисунку 2.1.

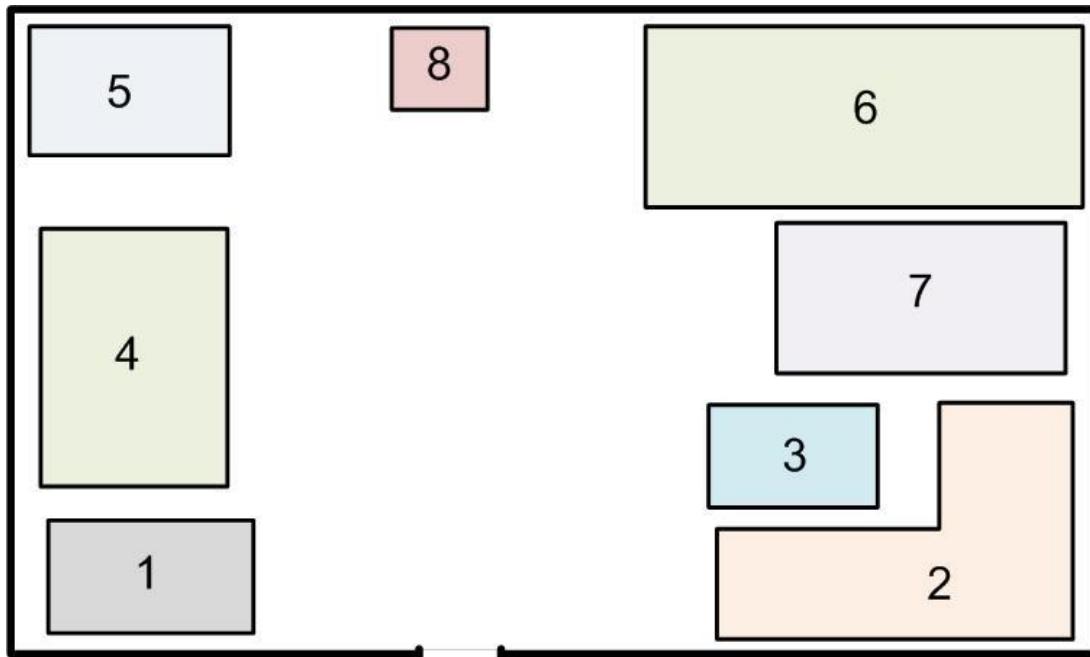


Рисунок 2.1 – План території підприємства «Галос»

На території підприємства знаходяться такі будівлі:

- 1 – Адміністративний корпус
- 2 – Побутовий корпус
- 3 – Котельня
- 4 – Склад первинної сировини
- 5 – Сушарня
- 6 – Виробничий цех
- 7 – Склад готової продукції
- 8 – Трансформаторна підстанція

2.2 Розрахунок потужностей, споживаних підприємством

Щоб вибрати вітряну установку для електропостачання, необхідно спочатку визначити скільки електроенергії підприємство споживає. Проведемо два розрахунки. Спочатку обчислимо пікову потужність. Згідно методики [2] розіб'ємо добу на ранок, день, вечір та ніч. Занесемо у таблицю 2.2.1 електроспоживачів та проставимо відповідно їх пікову потужність. Склавши їх отримаємо пікову потужність енергоспоживання в конкретну частину доби. Ці дані надалі будемо використовувати для розрахунку номінальної потужності інвертора.

Для зручності та спрощення розрахунків в якості електроспоживачів виступають будівлі, в яких встановлені відповідні прилади електроспоживання. В таблиці 2.2.1 наведені їх встановлені потужності, що перенесені на частини доби (ранок, день, вечір, ніч), коли вони використовуються.

Таблиця 2.2.1 – Розрахунок пікової потужності

| Будівля | Встановлена потужність P_i , 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, $P_{\text{пik}}$ | | 260 | 260 | 245 | 165 |

В результаті складання потужностей визначили, що максимальна потужність може споживатися вранці та днем й складає :

$$P_{\text{пik}} = 260 \text{ кВт.}$$

Отже, необхідно вибрати інвертор, що входить до ВЕУ, з потужністю не менше пікової, тобто:

$$P_{\text{ін}} > 260 \text{ кВт.}$$

Проведемо другий розрахунок, а саме потужності, споживаної підприємством за добу та за 1 годину. Для цього занесемо в таблицю 2.2.2 години роботи об'єктів, помножених на їх споживану потужність.

Таблиця 2.2.2 – Енергоспоживання за добу

| Будівля | Встановлена потужність P_i , кВт | Споживана потужність, 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 |

З таблиці ми знайшли потужності, які в середньому споживає підприємство:

- за добу – $P_{\text{сут}} = 4116,75$ кВт
- за ранок – $P_{\text{ранок}} = 276,8$ кВт
- за день – $P_{\text{день}} = 2020$ кВт
- за вечір – $P_{\text{вечір}} = 665$ кВт
- за ніч – $P_{\text{ніч}} = 1155$ кВт

Розрахуємо середню споживану потужність за годину, поділивши отримані раніше значення на відповідну кількість годин дня кожної частини доби (ранок – 2 год, день – 10 год, вечір – 4 год, ніч – 7 год). Отримаємо:

- за добу – $P_{\text{сут } 1\text{год}} = 171,5$ кВт
- за ранок – $P_{\text{ранок } 1\text{ год}} = 138,4$ кВт
- за день – $P_{\text{день } 1\text{год}} = 202$ кВт
- за вечір – $P_{\text{вечір } 1\text{год}} = 133$ кВт
- за ніч – $P_{\text{ніч } 1\text{год}} = 165$ кВт

Найбільше середнє значення споживаної потужності за годину ми отримали вдень, на неї і будемо орієнтуватися при виборі ВЕУ.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БР 3.6.051.845 ПЗ | Лист |
| Змін. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | 14 |

РОЗДІЛ 3. Вибір ВЕУ

3.2 Оцінка вітроенергетичного потенціалу

Оскільки швидкості вітру змінюються в різні час доби, різні місяці і сезони, при виборі місця розміщення вітростанції, при аеродинамічних розрахунках ВЕУ, при проектуванні механізмів, їх регулювання і орієнтації розглядають графіки добового, місячного і сезонного розподілу швидкостей.

«Дані про середньорічні швидкості вітру слугують вихідною характеристикою загального рівня інтенсивності вітру. За величиною середньорічної швидкості вітру в першому наближенні можна судити про перспективність застосування вітроенергетичних установок в тому чи іншому районі» [3].

«Середня швидкість вітру за обраний проміжок часу визначається відношенням суми виміряних значень миттєвої швидкості до числа вимірювань» [4]:

$$v_{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n}, \text{ м/с} \quad (3.2.1)$$

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

v_i – миттєве значення швидкості вітру. м/с;

n – кількість вимірювань.

Використовуючи офіційні дані інформаційного сайту «Метеопост» знайдемо середню швидкість вітру за рік на південному сході Сумської області, знаючи усереднені дані о середніх швидкостях вітру за всі місяці 2020 року, що вказані на рисунку 3.2.1.

За формулою (3.2.1) визначимо середню швидкість вітру за рік:

$$v_{\text{сер}} = 3,9 \text{ м/с.}$$

Зі збільшенням висоти зростає й швидкість вітру. За формулою (3.2.1) розраховано лише швидкість середню швидкість вітру біля землі. Вітрогенератори встановлюються на різних висотах. Потужні сягають установки 50 – 70 метрів. Для даної роботи досить ВЕУ такої потужності, башта яких має висоту 24 – 30 метрів.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БР 3.6.051.845 ПЗ | Лист |
| Змін. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | 15 |

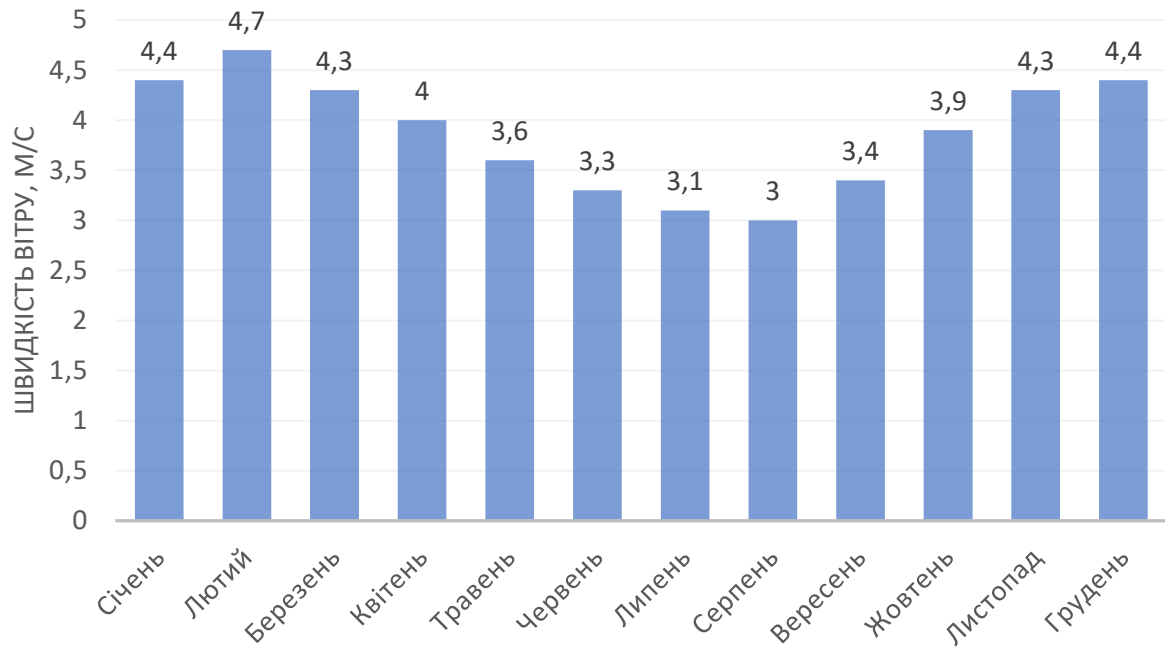


Рисунок 3.2.1 – Середня швидкість вітру Сумської області

Опорна башта не лише тримає вітрогенератор. Її висота визначає скільки електроенергії буде вироблено вітроустановкою. Чим вище башта, тим більша швидкість вітру. Так як ВЕУ, як правило, в середньому мають башту висотою 24 – 30 метрів, то необхідно розрахувати швидкість вітру саме для цих висот. Зробити це можна за формулою [4]:

$$v = v_1 \frac{\ln \frac{h_1}{h_0}}{\ln \frac{h_1}{h_0}}, \text{ м/с.} \quad (3.2.2)$$

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.

Для спрощення розрахунків використаємо узагальнену формулу (3.2.3) що виведена дослідниками на підставі даних спостереження швидкості вітру на висоті [5]. Недоліком цієї формули є те, що вона не враховує впливу підстильної поверхні на швидкість вітру, а також турбулентності потоку поблизу поверхні землі.

$$v = v_0 \cdot \left(\frac{h}{h_0}\right)^\alpha, \text{ м/с.} \quad (3.2.3)$$

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 [5].

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

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

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 3.2.2 наведена «Роза вітрів» Сумської області, тобто вказана повторюваність напрямку вітру за рік, що допоможе в подальшому при виборі напрямку встановлення ВЕУ.

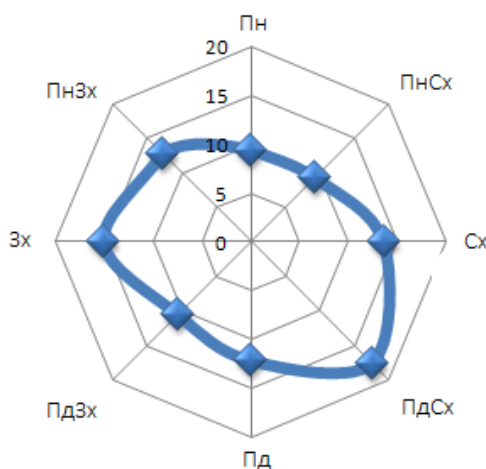


Рисунок 3.2.2 – Повторюваність напрямку вітру за рік, %

3.4 Розрахункові параметри ВЕУ

З п. 2.2 відомо, що підприємство споживає в середньому за годину 202 кВт, а пікове навантаження досягає 260 кВт. Для забезпечення споживання обрано три ВЕУ по 100 кВт. Щоб вибрати модель вітряка необхідно розрахувати його розміри. Розрахунки приведені теоретичні й можлива похибка у 5% [2].

Вичислимо аеродинамічну потужність через її залежність з електричною потужністю ВЕУ через коефіцієнт використання вітру [6]:

$$P_E = \xi \cdot P_A, \text{ Вт.} \quad (3.4.1)$$

де ξ – коефіцієнт використання вітру, що може змінюватися в межах 0,25 – 0,45. За допомогою розрахункового методу Жуковського-Бертца було виведене максимальне можливе значення коефіцієнта $\xi_{ЖБ} = 0,593$. Через втрати таке значення на практиці отримати неможливо.

З формули (3.4.1) знаходимо ідеальну аеродинамічну потужність:

$$P_A = \frac{P_E}{\xi_{ЖБ}} = \frac{100}{0,593} = 168,6 \text{ кВт.}$$

Аеродинамічна потужність є енергією потоку вітру, що передається вітроколесу за 1 секунду:

$$P_A = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{\rho \cdot V \cdot v^2}{2} = \frac{\rho \cdot S \cdot v \cdot v^2}{2} = \frac{\rho \cdot S \cdot v^3}{2}, \text{ Вт.} \quad (3.4.2)$$

де P_A – аеродинамічна потужність, Вт;

ρ – густина повітря, що проходить через ротор (для розрахунків приймаємо 1,2041 кг/м³, значення за нормальних умов в сухому повітрі при температурі 20 °С й тиском 101,325 кПа);

v – швидкість вітрового потоку, що проходить через ротор за 1 секунду (для вітряків потужністю 100кВт приймаємо середнє номінальне значення у 11 м/с);

m – маса повітря, що проходить через ротор за 1 секунду, кг;

V – об'єм повітря, що проходить через ротор за 1 секунду, m^3 ;

S – площа, яку охоплює вітроколесо («у горизонтально-осьових установок це площа проєкції ротора на площину, перпендикулярну осі обертання, у вертикально-осьових установок це площа проєкції ротора на площину, паралельну осі обертання» [2]), m^2 .

З формули (3.4.2) знаходимо площу, що охоплює ротор:

$$S = \frac{2 \cdot P_A}{\rho \cdot v^3} = \frac{2 \cdot 168,6 \cdot 10^3}{1,2041 \cdot 11^3} = 210,4 \text{ м}^2.$$

Оскільки реальний коефіцієнт використання енергії вітру складає лише 65 – 67 % від ідеального, необхідно збільшити знайдену площу у 1,33 – 1,35 разів.

$$S_{\text{реал}} = S \cdot 1,33 = 263 \text{ м}^2.$$

Визначимо розрахунковий діаметр ротора вітроколеса для горизонтально-осьових установок (для вертикально-осьових установок обчислюють не тільки діаметр, а й висоту ротора, але оскільки такий тип не підходить нам за потужністю, ми його не розраховуємо).

Для горизонтально-осьових роторів залежність між площею, яку охоплює вітроколесо, та діаметром вітроколеса виглядає так:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \text{ м}^2 \tag{3.4.3}$$

З формули (3.4.3) знаходимо приблизний діаметр вітроколеса:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{\text{реал}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 263}{\pi}} = 18,3 \text{ м}.$$

Таким чином, ми повинні вибрати таку ВЕУ, що буде задовільнять знайдені параметри.

3.5 Вибір ВЕУ, її конструкція та комплектація

Для альтернативного електропостачання підприємства «Талос» було вибрано вітрогенератор WH20.8-100KW – один з найбільш передових генераторів в світі. «Використання генератора на постійних магнітах із застосуванням спеціального мідного сплаву, легованої алюмінієм сталі, що застосовується в авіації, і нержавіючої сталі дозволяє домогтися високої ефективності» [7]. Параметри вітрогенератора наведені в таблиці 3.5.1.

Установка має систему управління і контролю Siemens, що дозволяє управляти вітряним генератором і комплексом енергетичного обладнання в ручному і автоматичному режимі.

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.

В комплект вітрогенератора входять:

- тихохідний генератор;
- 3 лопаті;
- 50 метрів силових кабелів;
- носовий обтічник;
- ультразвуковий анеморумбометр ;
- логічний контролер Siemens з можливістю віддаленого моніторингу;
- випрямляч і контролер баластного навантаження;
- баластне навантаження;
- мережний трифазний інвертор (50 Гц, 400 В);
- вільностояча башта висотою 30 метрів;
- анкерні болти для кріплення;
- блок живлення механізмів гондоли (UPS).

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БР 3.6.051.845 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 20 |
| Змін. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таблиця 3.5.1 – Технічні характеристики WH20.8–100KW

| Характеристика | Значення |
|---|-------------------|
| Номінальна потужність | 100 кВт |
| Максимальна вихідна потужність | 110 кВт |
| Зарядна напруга | DC 380 В |
| Вихідна напруга | AC 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 |
| Регулювання швидкості (захист) | Механічне + ручне |
| Коефіцієнт використання енергії вітру | 42 % |
| Вихід генератора | Трифазний АС |
| Вихідна напруга | 0-600 |
| Розрахунковий струм | 125 |
| Максимальний струм (короткочасний) | 160 |
| Рівень шуму (при швидкості вітру 8 м/с) | < 60 дБ |
| Ефективність перетворення генератора | 92 % |
| Маса генератора | 2000 кг |
| Вільно стояча башта, діаметр | Ø1725· Ø670 мм |
| Висота мачти | 30 |

Лопаті виготовлені з високотехнологічних матеріалів: армованого склопластику або авіаційного алюмінієвого сплаву. Застосування

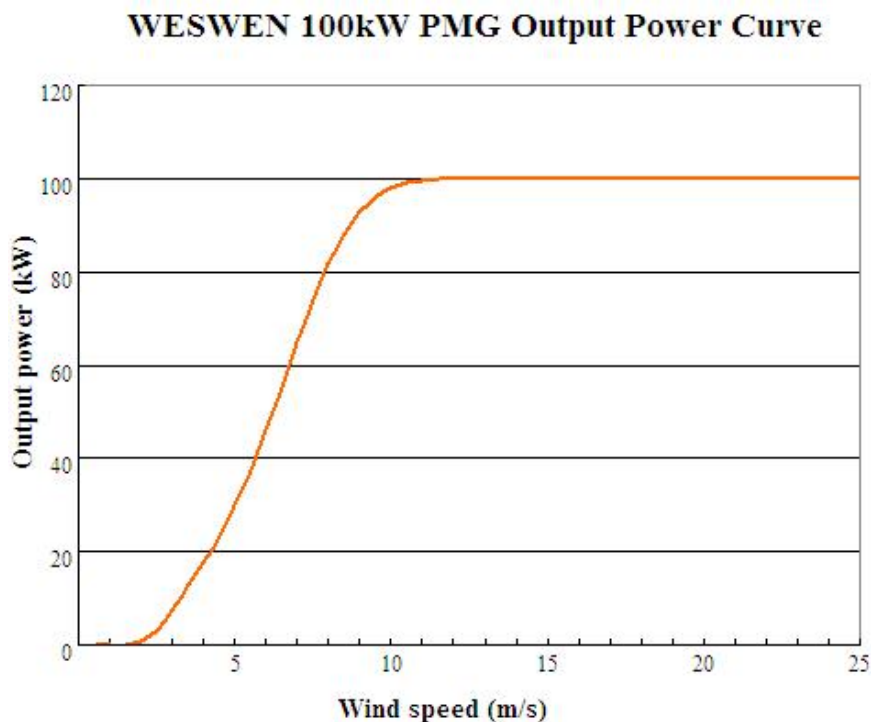
високотехнологічних лопатей ротора значно подовжує термін служби всієї системи.

За рахунок застосування автоматичного пошуку напрямку вітру, і аеродинамічної форми лопатей, вітротурбіна працює стабільно, тихо і практично беззвучно.

На всі частини і комплектуючі вітряного генератора нанесено антикорозійне покриття і є захист від ультрафіолетового випромінювання. Установки пройшли краш-тести, швидко монтується і будуть виглядати новими і сучасними протягом багатьох років служби.

Всі частини деталі і комплектуючі вітротурбін виготовлені з високоякісних матеріалів, сплавів і композиційних матеріалів, можуть експлуатуватися в температурному діапазоні від $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, при високій вологості, солоності, при абразивному впливі пісків або в північних широтах. При необхідності може бути збільшений діапазон робочої температури.

Для визначення середньої потужності, що буде видаватися вибраним вітряком, розглянемо характеристику залежності вихідної потужності від швидкості вітру, що була надана компанією – виробником (рисунок 3.5.1).



| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|-------------------|------------|
| | | | | | БР 3.6.051.845 ПЗ | Лист 22 |
| Змін. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

Рисунок 3.5.1 – Залежність вихідної потужності від швидкості вітру
вітрогенератора WH20.8–100KW

У п. 3.2 було знайдено середню річну швидкість вітру на висоті 30 метрів (висота башти). Виходячи з графіку вітрогенератор WH20.8-100KW при швидкості вітру 7,64 м/с видаватиме потужність 77 кВт. Щоб забезпечити підприємство «Талос» необхідно встановити 3 таких вітряка, тоді сумарна вихідна потужність становитиме $77 \cdot 3 = 231$ кВт, що більше максимальної середньої споживаної підприємством потужності.

Розрахуємо площу землі, що безпосередньо займає вітрогенератор. Для цього розрахуємо площу поперечного перетину башти:

$$S_M = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 1,725^2}{4} = 2,3 \text{ м}^2$$

Так як встановлюємо три вітрогенератори, то вони займатимуть втричі більшу площу $2,3 \cdot 3 = 6,9 \text{ м}^2$. Також при виборі ділянки під установки необхідно враховувати відстань між ними. Відстань між горизонтально-осьовими вітряками по фронту (тобто по головному напрямку вітрових потоків) повинно становити не менш ніж 3-5 діаметрів роторів ВЕУ.

Для ефективної роботи місцевість повинна бути відкритою, слід правильно підібрати місце встановлення, щоб поруч не було високих насаджень, будівель, що можуть перешкоджати потоку вітру. Необхідно враховувати і щільність ґрунту [8].

При монтажі після аналізу і утвердження площі під встановлення ВЕУ підготовлюється фундамент, встановлюється вітряк, проводяться пускові налагоджувальні роботи, а також набір та навчання персоналу для подальшого користування вітрогенератором [9].

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БР 3.6.051.845 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 23 |
| Змін. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 4. Підключення ВЕУ до мережі

Для вибору необхідного обладнання була розроблена план-схема, на якій схематично зображені основне та резервне джерела живлення обраного підприємства (рисунок 4.1), а також більш детальна схема підключення підприємства до джерел електроенергії (рисунок 4.2).

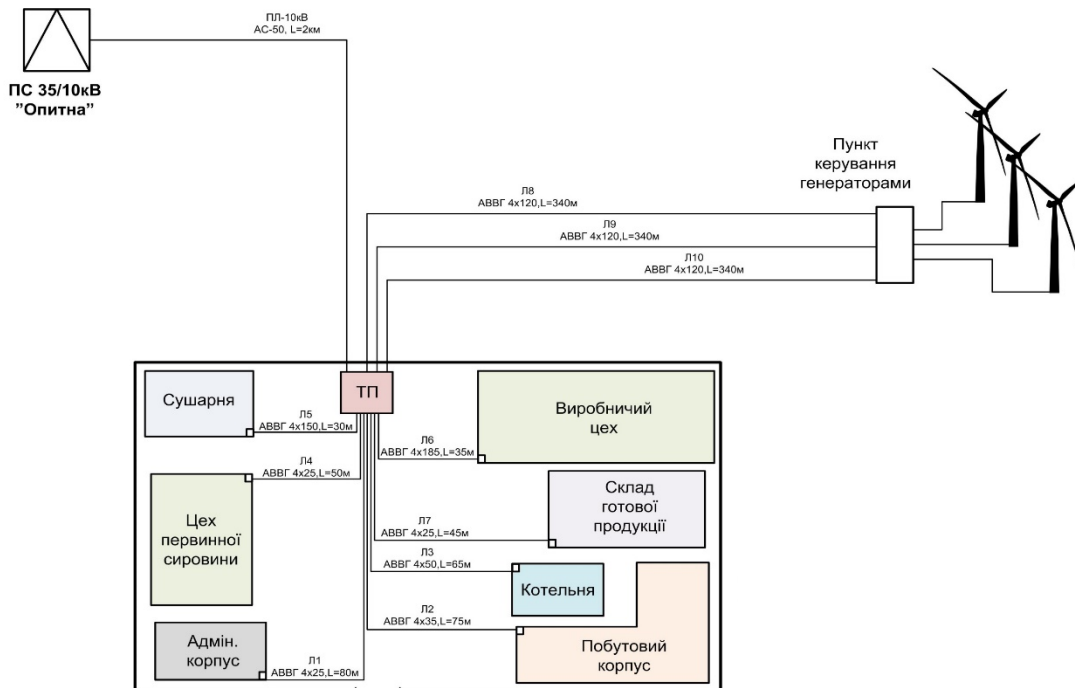


Рисунок 4.1 – План-схема розташування об'єктів живлення підприємства «Талос»

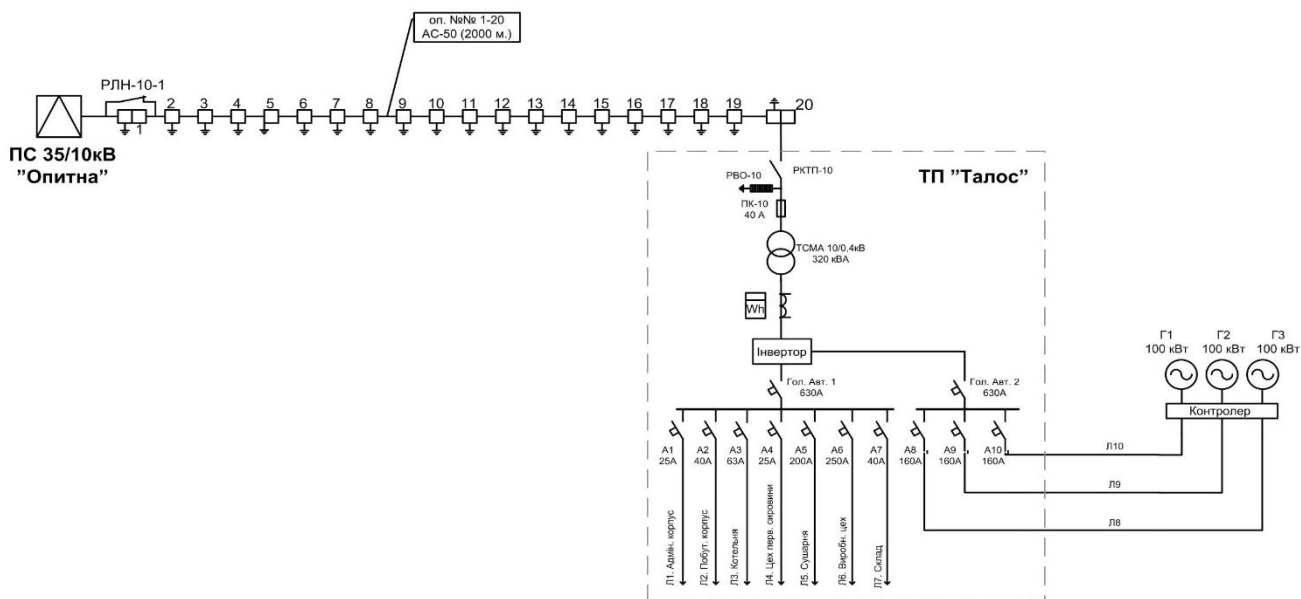


Рисунок 4.2 – Однолінійна схема живлення підприємства «Талос»

4.1 Розрахунок та вибір електричних кабелів та проводів

В даній бакалаврській роботі вибір електричних кабелів, їх перерізів, буде виконуватися за економічною щільністю струму. Визначимо струми в лініях за формулою (4.1.1) та занесемо знайдені дані в таблицю 4.1.2.

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_n}, A \quad (4.1.1)$$

Згідно методу економічної густини струму, економічний переріз розраховуємо за співвідношенням:

$$F_e = \frac{I_M}{j_e}, \text{мм}^2 \quad (4.1.2)$$

де: I_M – струм в лінії в режимі максимальних навантажень, що відповідає нормальному режиму роботи мережі, А;

j_e – нормоване значення економічної густини струму, що визначається за таблицею 4.1.1. Отже, для розрахунків беремо $j_e = 1,4 \text{ А/мм}^2$.

Перетин, отриманий в результаті зазначеного розрахунку, округляється до найближчого стандартного перетину. За ним вибираємо марки кабелів та заносимо їх до таблиці 4.1.2. Перевірку вибраних провідників по допустимій втраті напруги в лініях проводимо за формулою (4.1.3). Результати розрахунків в таблиці 4.1.3.

$$\Delta U = \frac{\kappa \cdot P \cdot L}{C \cdot S} \quad (4.1.3)$$

де, ΔU – втрати напруги в провіднику, %;

C – коефіцієнт, для алюмінієвих провідників трифазної мережі, $C=46$;

S – переріз провідника, мм^2

P – підключена потужність, кВт

κ – коефіцієнт, що враховує ступінь розподілу навантаження на провіднику, для КЛ: $\kappa = 1$, для ПЛ: $\kappa = 0,5$.

L – довжина провідника, м.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БР 3.6.051.845 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 25 |
| Змін. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таблиця 4.1.2 – Вибір кабелів мережі

| № | L, м | U, кВ | P, кВт | I, А | F _e , мм ² | Марка | S, мм ² | I _{доп} , А |
|-----|------|-------|--------|-------|----------------------------------|------------|--------------------|----------------------|
| Л1 | 80 | 0,38 | 15 | 22,8 | 16,3 | АВВГ 4х25 | 25 | 94 |
| Л2 | 75 | 0,38 | 25 | 38,0 | 27,1 | АВВГ 4х35 | 35 | 114 |
| Л3 | 65 | 0,38 | 35 | 53,2 | 38,0 | АВВГ 4х50 | 50 | 132 |
| Л4 | 50 | 0,38 | 15 | 22,8 | 16,3 | АВВГ 4х25 | 25 | 94 |
| Л5 | 30 | 0,38 | 130 | 197,5 | 141,1 | АВВГ 4х150 | 150 | 254 |
| Л6 | 35 | 0,38 | 150 | 227,9 | 162,8 | АВВГ 4х185 | 185 | 290 |
| Л7 | 45 | 0,38 | 20 | 30,4 | 21,7 | АВВГ 4х25 | 25 | 94 |
| Л8 | 340 | 0,38 | 100 | 151,9 | 108,5 | АВВГ 4х120 | 120 | 226 |
| Л9 | 340 | 0,38 | 100 | 151,9 | 108,5 | АВВГ 4х120 | 120 | 226 |
| Л10 | 340 | 0,38 | 100 | 151,9 | 108,5 | АВВГ 4х120 | 120 | 226 |

Значення менші 5%, а значить проводи вибрані вірно.

Мінімально допустимий переріз проводів за умовами механічної міцності вибираємо з ПУЕ [10, ст. 404]. Так як Сумський район відноситься до 3 району по ожеледі, мінімальний переріз для проводів типу АС – 50 мм².

4.2 Розрахунок та вибір трансформатору

Визначимо необхідну потужність трансформатору, виходячи с того, що на однострансформаторній підстанції потужність трансформатора повинна бути не менше максимальної потужності споживачів. Тоді залежність виглядатиме наступним чином:

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\text{розн}} = P_{\text{мах}} \quad (4.2.1)$$

де $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність обраного трансформатора, кВт;

$P_{\text{розн}}$ – розрахункова потужність однострансформаторної підстанції, кВт;

$P_{\text{мах}}$ – максимальна потужність споживача. кВт.

Параметри обраного трансформатора показані в таблиці 4.2.1.

Таблиця 4.2.1 – Параметри обраного трансформатора

| Тип | $S_{НОМ}$, кВт | Каталожні данні | | | | | |
|---------------|-----------------|-----------------------|-----|----------------------|----------------------|-------------|-------------|
| | | $U_{НОМ}$ обмоток, кВ | | $\Delta P_{Х}$, кВт | $\Delta P_{К}$, кВт | $U_{К}$, % | $I_{Х}$, % |
| | | ВН | НН | | | | |
| ТСМА – 320/10 | 320 | 10 | 0,4 | 1,6 | 4,85 | 4,5 | 5,5 |

4.3 Вибір комутаційних апаратів

Комутаційні апарати на стороні напругою 0,4кВ вибираємо за номінальним струмом, що розрахований за формулою (4.1.1). Вибрані автоматичні вимикачі зведені у таблиці 4.3.1.

Таблиця 4.3.1 – Комутаційні апарати на стороні 0,4 кВ

| Позначення на схемі | Розрахунковий струм I, А | Номінальний струм I, А | Тип автоматичного вимикача |
|---------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|
| Гол. Авт. 1 | 455,8 | 630 | АВ3005/3 Н 630 |
| Гол. Авт. 2 | 592,5 | 630 | АВ3005/3 Н 630 |
| А1 | 22,8 | 25 | АВ3001/3 Н 25 |
| А2 | 38,0 | 40 | АВ3001/3 Н 40 |
| А3 | 53,2 | 63 | АВ3001/3 Н 63 |
| А4 | 22,8 | 25 | АВ3001/3 Н 25 |
| А5 | 197,5 | 200 | АВ3003/3 Н 200 |
| А6 | 227,9 | 250 | АВ3004/3 Б 250 |
| А7 | 30,4 | 40 | АВ3001/3 Н 40 |
| А8 | 151,9 | 160 | АВ3003/3 Н 160 |
| А9 | 151,9 | 160 | АВ3003/3 Н 160 |
| А10 | 151,9 | 160 | АВ3003/3 Н 160 |

Всі обрані вимикачі задовольняють умову $I_{НОМ} \geq I_{роз}$.

4.4 Розрахунок та вибір захисту ПЛ–10кВ

Для ліній у мережах 3–10 кВ має бути передбачено пристрої релейного захисту від багатофазних замикань і від однофазних замикань на землю.

Для даної лінії 10кВ захист буде реалізовано струмовим відсіченням без витримки часу і максимальним струмовим захистом за допомогою мікропроцесорного пристрою ПРЕМКО серії LX. «Мікропроцесорні пристрої LX 120.1к застосовуються в схемах релейного захисту та автоматики приєднань 6–35 кВ підстанцій електроенергетичних компаній, промислових і сільськогосподарських підприємств, залізничного і міського електротранспорту для захисту від коротких замикань і перевантажень, а також для управління і телемеханіки приєднань працюють з ізольованою або компенсованою нейтраллю» [11].

4.5. Вибір лічильника

Необхідно вибрати лічильник для «зеленого» тарифу. Для обліку виробленої електрики приватними станціями використовується двонаправлений лічильник активної електричної енергії, що обліковує обсяги відпущеної в електричну мережу та отриману з електричної мережі електричну енергію, а також (додатково) сальдо між ними.

Електролічильник для «зеленого» тарифу повинен:

- рахувати в «обидві сторони», тобто враховувати як енергію що генерується, так і споживану електроенергію;
- бути обладнаний системою віддаленого зчитування показань по каналу зв'язку АСКОЕ;
- мати інтерфейс передачі інформації про обсяги і напрямки перетоків електричної енергії;
- відповідати вимогам оператора системи розподілу, бути в Державному реєстрі засобів вимірювальної техніки України.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БР 3.6.051.845 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 28 |
| Змін. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

Найпопулярнішими моделями лічильників на даний час є:

- GAMA 100 – однофазний багатотарифний лічильник, для розрахунку активної енергії;
- GAMA 300 – трифазний електронний лічильник;
- ACE 6000 Actaris – багатофункціональний електронний прибор, що повністю програмується;
- Fronius Smart Meter – двонаправлений електричний лічильник.

В даній роботі був вибраний трифазний електролічильник «зеленого» тарифу GAMA 300, що зображений на рисунку 4.5.1



Рисунок 4.5.1 – Електролічильник GAMA 300

4.6 Перевірка обладнання на ПС – 35/10

Перевірці підлягають наступне комутаційне обладнання, що вже було встановлене на ПС-35/10 :

- трансформатор ТМ – 4000/35;
- головні вимикачі на стороні 10кВ;
- секційні вимикачі на стороні 10кВ;
- вимикачі ліній, що відходять на стороні 10кВ;
- вимикачі на стороні 35кВ;
- роз'єднувачі на стороні 35кВ;

Все встановлене обладнання розраховане на значення, що визначаються у МВт, тому підключення трьох установок по 100 кВт (тобто споживач на 300 кВт) майже не позначиться на роботі вищеперахованого обладнання.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БР 3.6.051.845 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 30 |
| Змін. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 5. Розрахунок техніко-економічних показників

5.1 «Зелені» тарифи

«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» [4]. Для того, щоб заохотити населення виробляти електроенергію з альтернативних джерел енергії був введений деякий 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 наше підприємство зможе продати місцевому Обленерго залишок електроенергії, що був вироблений вітрогенераторами, але не спожитий підприємством згідно з Постановою Національної комісії України.

Наразі в Україні діє один з найвищих «зелених» тарифів в світі. Тобто він перевищує вартість електроенергії з місцевих мереж у 4 – 5 разів. Щоб отримати «зелений» тариф необхідно виконати послідовність дій, що вказані на рисунку 5.1.1.

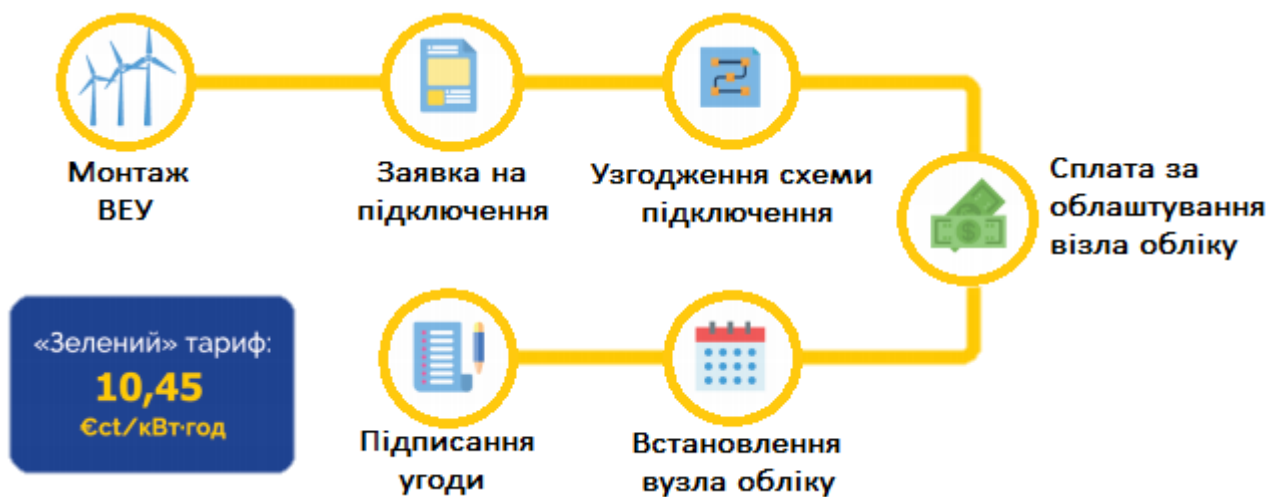


Рисунок 5.1.1 – Порядок отримання «зеленого» тарифу

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БР 3.6.051.845 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 31 |
| Змін. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

5.2 Розрахунок капітальних витрат

Капітальними витратами є одноразові вкладення, за допомогою яких підприємство збільшує обсяг основних засобів. Капітальні витрати включають в себе вартість самої вітроенергетичної установки, витрати на проектні роботи (складання детального плану), перевезення обладнання, страхування, податок на додану вартість, на таможню, закладення фундаменту, встановлення ВЕУ й підключення до мережі, додаткове обладнання [4].

Загальні капіталовкладення можна розрахувати за формулою:

$$K = K_{уст} + K_{пр} + K_{пер} + K_{пдв} + K_{стр} + K_{там} + K_{ф} + K_{вст} + K_{обл}, \text{ грн} \quad (5.2.1)$$

З сайту виробника компанії WESWEN маємо ціну від 344 892 єуро за вітрогенератор WH20.8–100KW з повною комплектацією (тихохідний генератор, 3 лопаті, носовий обтічник, ультразвуковий анеморумбометр, логічний контролер Siemens, випрямляч і контролер баластного навантаження, баластне навантаження, мережний трифазний інвертор, вільностояча башта, анкерні болти для кріплення, блок живлення механізмів гондоли (UPS)), тому розраховувати окремо значення не потрібно. За курсом 17.05.21 ціна на вітрогенератор у гривнях складатиме 11559883 грн за кожний. Знайти вартість всіх ВЕУ можна помноживши ціну установки на їх кількість (5.2.2).

$$K_{уст} = C_{уст} \cdot 3, \text{ грн} \quad (5.2.2)$$

Вартість проектних робіт $K_{пр}$ по визначенні місця для встановлення вітрових установок, оформлення необхідної документації зазвичай становить близько 10% від вартості обладнання, тому розраховується за наступною формулою:

$$K_{пр} = 0,1 \cdot K_{уст}, \text{ грн} \quad (5.2.3)$$

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БР 3.6.051.845 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 32 |
| Змін. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

Так як вітрогенератори не підлягають детальному демонтажу їх необхідно перевозити за допомогою відповідної техніки, при отриманні дозволу від спеціальних організацій. Ціни були взяті у транспортної компанії "ВозимНегабарит", що спеціалізуються на перевезенням по Росії та країнам СНГ.

За перевезення вітряків вагою до 20 тон на відстань більше 300 км компанією встановлена ціна 90 руб/км, або 33,78 грн. Тому для доставлення трьох вітряків до Сумської області необхідно заплатити близько 23 тис.грн без врахування податку на додану вартість (ПДВ). Ставка ПДВ в Україні станом на 2021 рік становить 20%.

Витрати на страхування $K_{стр}$ вантажу при перевезенні від непередбачуваних ситуацій складає 3% від вартості обладнання:

$$K_{стр} = 0,03 \cdot K_{уст}, \text{ грн} \quad (5.2.4)$$

Так як вітрогенератори будуть придбані в іншій країні, необхідно врахувати таможні витрати, що становлять близько 5% від вартості обладнання:

$$K_{там} = 0,05 \cdot K_{уст}, \text{ грн} \quad (5.2.5)$$

Для вітрових установок необхідно залити надійний фундамент, точну ціну якої встановлять при розробці проекту, так як ціна може змінюватися в залежності від типу ґрунту та самого фундаменту [12]. Орієнтовно, на будову фундаменту виділяють близько 7% від ціни обладнання:

$$K_{ф} = 0,07 \cdot K_{уст}, \text{ грн} \quad (5.2.6)$$

Вартість будівельних та монтажних робіт при встановленні вітрових установок, підключенні їх до електричної мережі та підприємства розраховуються виходячи зі складності проведення робіт. В середньому проектно-монтажні компанії запрошують близько 10% від ціни обладнання [12].

(5.2.7)

$$K_{вст} = 0,1 \cdot K_{уст}, \text{ грн}$$

Така складова формули (5.2.1), як вартість додаткового обладнання розрахована у таблиці 5.2.1. Ціни на обладнання наведені опосереднені по Україні з сайтів виробників, або ж онлайн – магазинів.

Таблиця 5.2.1 – Вартість додаткового обладнання

| Обладнання | Кількість/довжина шт/м | Ціна за 1шт/1м, грн | Загальна вартість, грн |
|------------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|
| Кабелі : | | | |
| АВВГ 4х25 | 175 | 45,18 | 7907 |
| АВВГ 4х35 | 75 | 54,99 | 4124 |
| АВВГ 4х50 | 65 | 92,28 | 5998 |
| АВВГ 4х120 | 1020 | 234,3 | 238986 |
| АВВГ 4х150 | 30 | 92,28 | 2768 |
| АВВГ 4х185 | 35 | 230,38 | 8063 |
| АС–50 | 792 | 99,95 | 79160 |
| Комутаційні апарати : | | | |
| АВ3001/3 Н 25 | 2 | 923 | 1846 |
| АВ3001/3 Н 40 | 2 | 959 | 1918 |
| АВ3001/3 Н 63 | 1 | 998 | 998 |
| АВ3003/3 Н 160 | 3 | 1890 | 5670 |
| АВ3003/3 Н 200 | 1 | 1929 | 1929 |
| АВ3004/3 Б 250 | 1 | 3790 | 3790 |
| АВ3005/3 Н 630 | 2 | 6899 | 13798 |
| Трансформатор: | | | |
| ТСМА – 320/10 | 1 | 55500 | 55500 |
| Релейний захист: | | | |
| LX 120 РЕДУТ.03 | 1 | 20600 | 20600 |

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БР 3.6.051.485 ПЗ | Лист |
| Змін. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

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

Підставивши усі відомі значення до формули отримали приблизне значення собівартості 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. З часом показник зростатиме, чим довший термін слугування вітрової установки. Але собівартість не дає уявлення про ефективність вироблення електроенергії. Ефективність роботи показує коефіцієнт використання встановленої потужності, що визначається за відношенням:

$$K_{\text{ввп}} = \frac{P_{\text{д}}}{P_{\text{пл}}} \quad (5.4.4)$$

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 (5.4.4) 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.

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 вирахувати приблизний прибуток від продажу зайвої неспожитої підприємством електроенергії за «зеленим» тарифом [15].

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БР 3.6.051.845 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 37 |
| Змін. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

Всі розрахунки зручно проводити у вигляді таблиці. Всі дані з попередніх розділів зведені у таблиці 5.4.1.

Таблиця 5.4.1 – Дохід від продажу електроенергії

| | |
|--|---------|
| Продуктивність трьох ВЕУ потужністю 100 кВт в рік, МВт-год | 2023,56 |
| Власне середнє енергоспоживання підприємства в рік, МВт-год | 1454,08 |
| Надлишок електроенергії, переданий в мережу, проданий за «зеленим» тарифом, МВт-год. в рік | 569,5 |
| Показник «зеленого» тарифу з 1 січня 2020 року, 3,5 грн. за кВт-год | 3,5 |
| Сумарний дохід за рік, тис. грн | 1993,3 |

Для приблизного терміну окупності приймається проста формула :

$$T_{ок} = \frac{K}{D - B + E} \quad (5.4.5)$$

де $T_{ок}$ – термін окупності ВЕУ, років;

D – річний дохід від експлуатації ВЕУ, грн;

E – економія за рік, грн.

Не можна не враховувати, що підприємство на протязі всього часу не витратило коштів на оплату електроенергії. Якщо прийняти до уваги, що керівництво країни намагається зрівняти ціну на електроенергію для містян та організацій, базовий тариф за 1 кВт енергії з мережі становить 1,68 грн. Річна економія визначається за наступною формулою:

$$E = P_{\text{вл}} * 1,68, \text{ грн} \quad (5.4.6)$$

де $P_{\text{вл}}$ – власне середнє енергоспоживання підприємства в рік, МВт-год;

Тоді в рік в середньому необхідно було б витратити на електропостачання з мережі, а отже буде зекономлено $E = 2442866$ грн.

Підставивши всі попередньо розраховані значення у формулу (5.4.5) дізналися, що 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 коротший час.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БР 3.6.051.485 ПЗ | Лист |
| Змін. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

Висновок

Під час виконання даної бакалаврської роботи були описані та вирішені всі поставлені задачі по реалізації встановлення та економічного аналізу вітроенергетичної установки для задоволення енергетичних потреб умовного підприємства.

Всі розрахунки, приведені у роботі є приблизними через недостатність інформації. Для точного дослідження необхідно звернутися в одну з компаній, що надають послуги з реалізації проектів встановлення ВЕС. Однією з таких організацій є ІКНЕТ, що розробляє детальний проект по встановленню ВЕС.

За попередніми розрахунками підприємства були вибрані три вітрогенератори WH20.8–100kW потужністю по 100кВт. Термін окупності склав 14,5 років, що є половиною часу слугування вітряків. Для зменшення витрат на купівлю можна придбати ренівіровані (оновлені) установки. Через швидкий розвиток технологій у сфері вітроенергетики відбувається заміна промислових вітрогенераторів, що прослужили всього 5–15 років на більш сучасні з більшою потужністю. Через дефіцит вільного місця у Європі під встановлення ВЕС кожного року на ринок викидаються вітряки, що послугували всього 20-60% свого часу експлуатації. Варіант придбання таких установок приватними підприємствами є дуже вигідним через те, що вартість на такі робочі установки у 5-10 разів нижчі за нові. Тоді встановлення установок окупиться значно швидше і надалі приносить лише додатковий прибуток для підприємства.

Якщо б підприємство купувало електроенергію в мережі, то витрати були б майже такими як і при встановленні вітроенергетичних установок. Але якщо враховувати дохід від продажу зайвої енергії за «зеленим» тарифом, то встановлення установки є більш вигідним варіантом.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БР 3.6.051.845 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 40 |
| Змін. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

Список літератури

1. Звіту Української Вітроенергетичної асоціації «Вітроенергетичний сектор України 2020». Режим доступу: <http://www.uwea.com.ua/>
2. 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/>
3. Визначення характеристик вітрового потоку [Текст]: метод. рек. до викон. комп'ютерного практикуму для студ. напряму підготовки 6.050601 «Теплоенергетика» спеціальності 7.05060105, 8.05060105 «Енергетичний менеджмент» / Уклад: В.І. Шкляр, В.В. Дубровська – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 31 с.
4. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, О75 Н. Нойбергер, Д. Циценков ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.
5. Голубенко Н. С., Довгальок С. И., Фельдман А. М., Худик В. Б. О зависимости скорости ветра от высоты с учетом рельефа местности //Проектно-конструкторскоетехнологическое бюро «КОНКОРД» – Режим доступу <http://wind.dp.ua>
6. Бубенчиков А. А., Артамонова Е. Ю., Дайчман Р. А., Файфер Л. А., Катеров Ф. В., Бубенчикова Т. В. Применение ветроколес и генераторов для ветроэнергетических установок малой мощности // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 5–2 (36). С. 35–39
7. Ветрогенератор WH20.8-100kW // сайт «WESWEN» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://weswen.ru/windgenerators/wh-series/ветрогенератор-wh20-8-100kw/> (дата обращения 22.07.2017).

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БР 3.6.051.845 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 41 |
| Змін. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

8. Шевченко В.В., Кулиш Я.Р. Анализ возможности использования разных типов генераторов для ветроэнергетических установок с учетом диапазона мощности / В. В. Шевченко, Я. Р. Кулиш // Вестник НТУ «ХПИ». - 2013. №65. С.107-117
9. Сидельников Б.В. Современное состояние и сравнительный анализ конструктивных схем ветрогенераторов /Б. В. Сидельников // Вестник Щецинского технического университета, Польша, 2001.
10. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х: Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.
11. Каталог продукции ТМ ПРЕМКО
12. Ветроэнергетика / А.В. Бастрон [и др.]; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2015. – 252 с
13. Альтернативні джерела енергії. Енергія вітру : навч. посіб. / С. В. сиротюк, В. М. Боярчук, В. П. Гальчак. – Львів : «магнолія 2006», 2018. – 182 с
14. 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
15. Интернет ресурс. Доступ за посиланням: <http://www.ecosvit.net/ua/zeleniy-tarif>
16. Економіка енергетики : підручник / за ред. Л. Г. Мельника, І. М. Сотник. – Суми: Університетська книга, 2015. – 378 с. <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/45315>
17. Сотник І.М. (2016) Мотиваційні механізми дематеріалізаційних та енергоефективних змін національної економіки : монографія / за заг. ред. доктора екон. наук, проф. І. М. Сотник. – Суми : Університетська книга, 2016. – 368 <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/80197>
18. Экономика развития: учебное пособие / под ред. д.-ра экон. наук, проф. Л. Г. Мельника, канд. экон. наук А. Вик. Кубатко. Сумы : «Университетская книга», 2017. 352 с. <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/80184>

| | | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--|-------------------|------------|
| | | | | | | БР 3.6.051.845 ПЗ | Лист 42 |
| Змін. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | | |

- and Logistics Enterprise. Mechanism of economic regulation. – 2019. – №3. – С. 73–82. <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/76448>
27. Мельник Л. Г., Карінцева О. І., Кубатко О. В., Сотник І. М., Завдов'єва Ю. М. Цифровізація економічних систем та людський капітал: підприємство, регіон, народне господарство // Механізм регулювання економіки. 2020. № 2. С. 9-28. DOI: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/82236>
28. Мельник, Л., Ковальов, Б. (2020). Проривні технології в економіці і бізнесі (Досвід ЄС та практика України у світлі III, IV, і V промислових революцій. Сумський державний університет, с. 180. <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/79621>
29. Melnyk L. H., Derykolenko O. M., Mazin Yu. O., Matsenko O. I., Piven V. S. Modern Trends in the Development of Renewable Energy: the Experience of the EU and Leading Countries of the World // Механізм регулювання економіки. 2020. № 3. С. 117-133. <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/81810>
30. Melnyk, L., Dehtyarova, I., Kubatko, O., Karintseva, O., & Derykolenko, A. (2019). Disruptive technologies for the transition of digital economies towards sustainability. *Economic Annals-XXI*, 179(9-10), 22-30. doi: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/85476>
31. Melnyk, L., Matsenko, O., Dehtyarova, I. & Derykolenko, O. (2019). The formation of the digital society: social and humanitarian aspects. *Digital economy and digital society*. T. Nestorenko& M. Wierzbik-Strońska (Ed.). Katowice: Katowice School of Technology. [in Ukrainian]. URL: <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/74570>

