

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра електроенергетики

Робота допущена до захисту  
Зав. кафедрою електроенергетики

\_\_\_\_\_ І.Л. Лебединський  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

**тема «Розробка вітрової електростанції для живлення електричних  
навантажень промислового підприємства»**

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Виконала студентка гр. ЕТ-71

Горбуль А. В.

Керівник

Дяговченко І. М.

Суми – 2021

## Сумський державний університет

Факультет електроніки та інформаційних технологій

Кафедра електроенергетики

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедрою електроенергетики

\_\_\_\_\_ І.Л. Лебединський  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

### Завдання

#### на кваліфікаційну роботу бакалавра

Горбуль Анастасії Віталіївни

1. Тема роботи «Розробка вітрової електростанції для живлення електричних навантажень промислового підприємства»  
затверджено наказом по університету № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_
2. Термін здачі студентом завершеної роботи 03.06. 2021 р.
3. Вихідні дані до роботи план умовного підприємства, електроспоживання окремих його цехів.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно вирішити)
  - Вступ;
  - Аналіз та перспективи впровадження ВЕУ;
  - Аналіз вибраного об'єкту для альтернативного електроспоживання;
  - Вибір ВЕУ;
  - Підключення ВЕУ до мережі;
  - Перевірка діючого обладнання на ПС-35/10;
  - \_\_\_\_\_ Розрахунок \_\_\_\_\_ техніко-економічних \_\_\_\_\_ показників.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним позначенням обов'язкових креслень)
- Загальна встановлена потужність вітроенергетичного сектору України;
  - Мапа України з графічним зображенням розташування працюючих вітростанцій;
  - План території підприємства «Талос»;
  - Конструкція вітрогенератора серії WH;
  - Середня швидкість вітру Сумської області;
  - Повторюваність напрямку вітру за рік;
  - Залежність вихідної потужності від швидкості вітру вітрогенератора WH20.8-100KW;
  - Розрахункова схема струму КЗ;
  - Схема заміщення ПС 35/10;
  - Електролічильник GAMA 300;
  - Порядок отримання «зеленого» тарифу;
  - План-схема розташування об'єктів живлення підприємства «Талос»;
  - Однолінійна схема живлення підприємства «Талос»;
  - Однолінійна схема ПС-35/10 «Опитна».

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№п/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розрахунок споживчих навантажень підприємства	25.04.2021р.	
2	Оцінка вітрового потенціалу	05.05.2021р.	
3	Розрахунок параметрів ВЕУ. Вибір ВЕУ.	11.05.2021р.	
4	Вибір устаткування мережі живлення підприємства	15.05.2021р.	
5	Перевірка діючого обладнання ПС-35/10	17.05.2021р.	
5	Розрахунок техніко-економічних показників	21.05.2021р.	
6	Оформлення графічного матеріалу	23.05.2021р.	
7	Оформлення пояснювальної записки	25.05.2021р.	
8	Виконання креслень	27.05.2021р.	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

с. 71, рис. 11, табл. 20, кресл. 3

**Бібліографічний опис:** Горбуль А. В. Розробка вітрової електростанції для живлення електричних навантажень промислового підприємства [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спец.: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка /Горбуль А. В.; наук. керівник І. М. Дяговченко. – Суми: СумДУ, 2021. – 71 с.

**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, трансформаторів, кабелів для ліній електропередачі, комутаційних апаратів, апаратів захисту лінії 10 кВ, лічильників. Проведено дослідження різних типів вітрових установок, вибір оптимального варіанту. Планування схеми підключення установок до підприємства та мережі. Проведено вибір типів та кількості обладнання для організації автоматизованого обліку електричної енергії та висвітлене економічне обґрунтування доцільності встановлення вітроенергетичної установки.

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- АГ – асинхронний генератор;  
ВЕУ – вітроенергетична установка;  
ВДЕ – відновлювальні джерела енергії;  
ВЕС – вітрова електростанція;  
ДПС – двигун постійного струму;  
ЕС – енергетична система;  
КЗ – коротке замикання;  
КЛ – кабельна лінія;  
ЛЕП – лінія електропередачі;  
ОРДЛО – окремі райони Донецької та Луганської областей;  
ППЧ – напівпровідниковий перетворювач частоти;  
ПС – підстанція;  
ПЛ – повітряна лінія;  
СГ – синхронний генератор;  
СЕС – сонячна електростанція;  
СУ – система управління;  
ТЕО – техніко-економічне обґрунтування.

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						6
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗМІСТ

Вступ.....	8
РОЗДІЛ 1. Аналіз та перспективи впровадження ВЕС .....	9
1.1 Місце ВЕС у відновлюваній енергетиці .....	9
1.2 Переваги та недоліки електропостачання від ВЕУ.....	11
РОЗДІЛ 2. Аналіз вибраного об'єкту для альтернативного електроспоживання .....	13
2.1 Вибір підприємства .....	13
2.2 Розрахунок потужностей, споживаних підприємством .....	14
РОЗДІЛ 3. Вибір ВЕУ .....	17
3.1 Технічні та конструкційні особливості ВЕУ .....	17
3.2 Оцінка вітроенергетичного потенціалу .....	20
3.3 Вибір електрогенератора .....	23
3.4 Розрахункові параметри ВЕУ .....	27
3.5 Вибір ВЕУ, її конструкція та комплектація .....	29
РОЗДІЛ 4. Підключення ВЕУ до мережі .....	34
4.1 Розрахунок та вибір електричних кабелів та проводів .....	34
4.2 Розрахунок та вибір трансформатору .....	37
4.3 Вибір комутаційних апаратів .....	38
4.4 Розрахунок та вибір захисту ПЛ–10кВ .....	39
4.5. Вибір лічильника .....	42
РОЗДІЛ 5. Перевірка діючого обладнання ПС 35/10 .....	45
5.1 Перевірка діючих трансформаторів .....	45
5.2 Перевірка комутаційного обладнання.....	46
РОЗДІЛ 6. Розрахунок техніко-економічних показників.....	52
6.1 «Зелені» тарифи.....	52
6.2 Розрахунок капітальних витрат .....	53
6.3 Розрахунок поточних витрат.....	55
6.4 Річна економія та термін окупності установки .....	55
РОЗДІЛ 7. Техніка охорони праці при експлуатації вітроенергетичної електростанції .....	59
7.1 Вимоги безпеки перед початком роботи на ВЕУ .....	60
7.2. Вимоги безпеки під час роботи.....	62
7.3 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.....	63
Висновок.....	66
Список літератури .....	67

					БР 3.6.141. 323.ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
Розроб.		Горбуль А.В.			<i>Розробка вітрової електростанції для живлення електричних навантажень промислового підприємства</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрюшів</i>
Керівник		Дяговченко І.М.					7	71
Консульт.						<i>СумДУ, ЕТ-71</i>		
Н. контр.								
Затверд.		Лебединський І. Л.						

## Вступ

В Україні продовжує зростати відсоток відновлювальної енергетики, але поки що досі залишається не значним. 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.

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 рентабельності проекту.

Метою даної роботи є систематизація, закріплення та використання набутих знань з дисциплін професійної підготовки під час виконання розрахунків мережі електропостачання, вибору необхідного електричного обладнання при плануванні схеми електропостачання підприємства, перевірки роботи існуючих трансформаторів, комутаційних апаратів на роботу при додатковому навантаженні.

Основними задачами в даній роботі є розрахунок та аналіз 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 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						8
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 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						9
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



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.



Рисунок 1.1.2 – Мапа України з графічним зображенням розташування працюючих вітростанцій

## 1.2 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. Завдяки генеруванню електроенергії на вітростанціях у 2020 році, щорічні викиди вуглекислого газу в країні були знижені на 2,6 млн тон і зекономлено близько 321,5 тис м<sup>3</sup> природного газу.

										Лист
										11
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

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 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						12
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## 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.

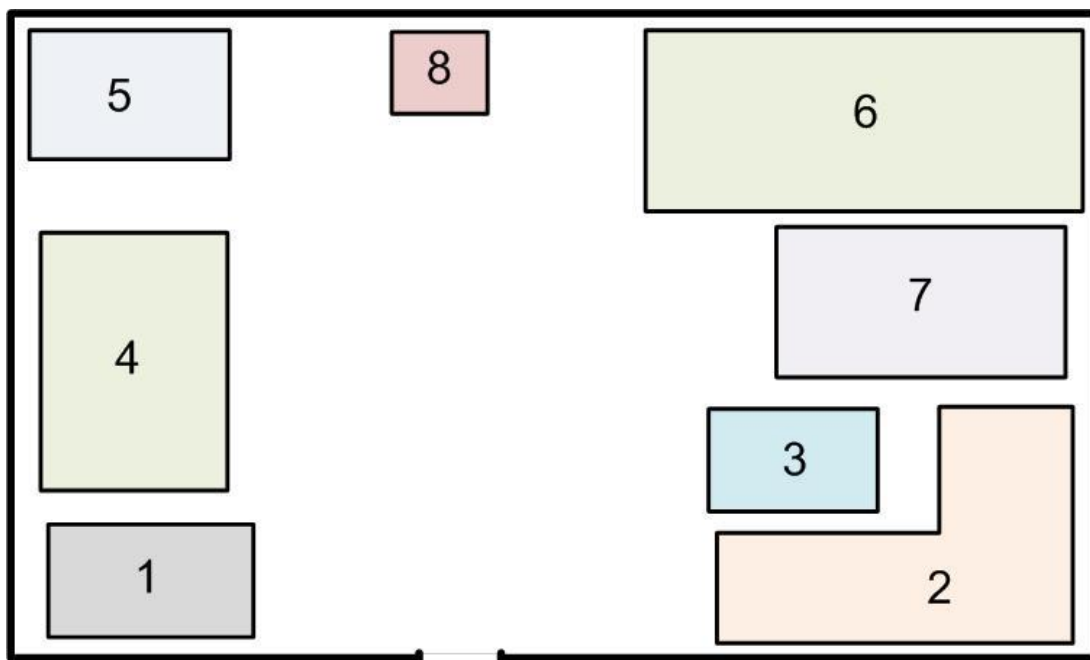


Рисунок 2.1 – План території підприємства «Галос»

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 –  $P_{сут} = 4116,75$  кВт
- за ранок –  $P_{ранок} = 276,8$  кВт
- за день –  $P_{день} = 2020$  кВт
- за вечір –  $P_{вечір} = 665$  кВт
- за ніч –  $P_{ніч} = 1155$  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 –  $P_{сут\ 1год} = 171,5$  кВт
- за ранок –  $P_{ранок\ 1год} = 138,4$  кВт
- за день –  $P_{день\ 1год} = 202$  кВт
- за вечір –  $P_{вечір\ 1год} = 133$  кВт
- за ніч –  $P_{ніч\ 1год} = 165$  кВт

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

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						16
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



## РОЗДІЛ 3. Вибір ВЕУ

### 3.1 Технічні та конструкційні особливості ВЕУ

Вітроенергетична установка – конструкція, що дозволяє перетворювати енергію вітру в електричну. Вітрові установки можна поділити на два типи, а саме на пристрої з горизонтальною та вертикальною віссю обертання.

У кожного типу є свої переваги та недоліки відносно один одного. Вертикальний вітряк має такі переваги перед горизонтальним:

- здатність вловлювати напрямок вітру (тобто установка працюватиме при будь-якому напрямі потоку, він завжди стоїть за вітром, коли як конкурентам необхідно повернутися в потрібному напрямку, через що у цей момент падає продуктивність, так як сила потоку вітру згасає);
- є простішими у догляді під час експлуатації;
- не страждають від гіроскопічних неустойок, що може траплятися з другим типом, також стійкі до несприятливих погодних умов;
- мають меншу пускову силу вітру (якщо в середньому горизонтальні вітрогенератори запускаються при 3-4 м/с, то вертикальний починає працювати від найменшого впливу вітру, починаючи з 1 м/с);
- мають постійний коефіцієнт корисної дії за різних погодних умов, хоча він низький (в середньому 20 – 30%), якщо порівнювати з тими ж горизонтальними установками;
- мобільність та безшумність, навіть при сильних поривах вітру, дозволяє встановлювати його навіть на дахах.

Але ці вітрові установки малопотужні і мають низку недоліків, через які в наш час горизонтально-осьові вітряки складають близько 95% усіх вітроенергетичних установок. Горизонтальні ж установки корисніше й раціональніше використовують силу вітру, у них вище коефіцієнт використання вітру.

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						17
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Вертикальні вітряки використовують для забезпечення електроенергією будинків, невеликих домашніх господарств, додаткового освітлення вулиць і т.д., а для більш масштабних проектів використовують горизонтальні установки, які можуть встановлюватися для електропостачання підприємств, великих домашніх господарств, невеликих селищ, містечок, а також для мережевого, комерційного виробітку електроенергії на продаж.

Тому для постачання електроенергії на обране підприємство будемо встановлювати горизонтальну вітрову установку. Горизонтальні вітрогенератори поділяють на види залежно від кількості лопатей: одлопатеві, двохлопатеві, трилопатеві та багатолопатеві ВЕУ. Найбільш розповсюдженими є трилопатеві горизонтально-осьові ВЕУ, що можуть видавати потужність від кількох Вт до 7 МВт. Тому детально розглянемо конструкцію саме такого вітрогенератора виробництва компанії WESWEN, що зображений на рисунку 3.1.1.

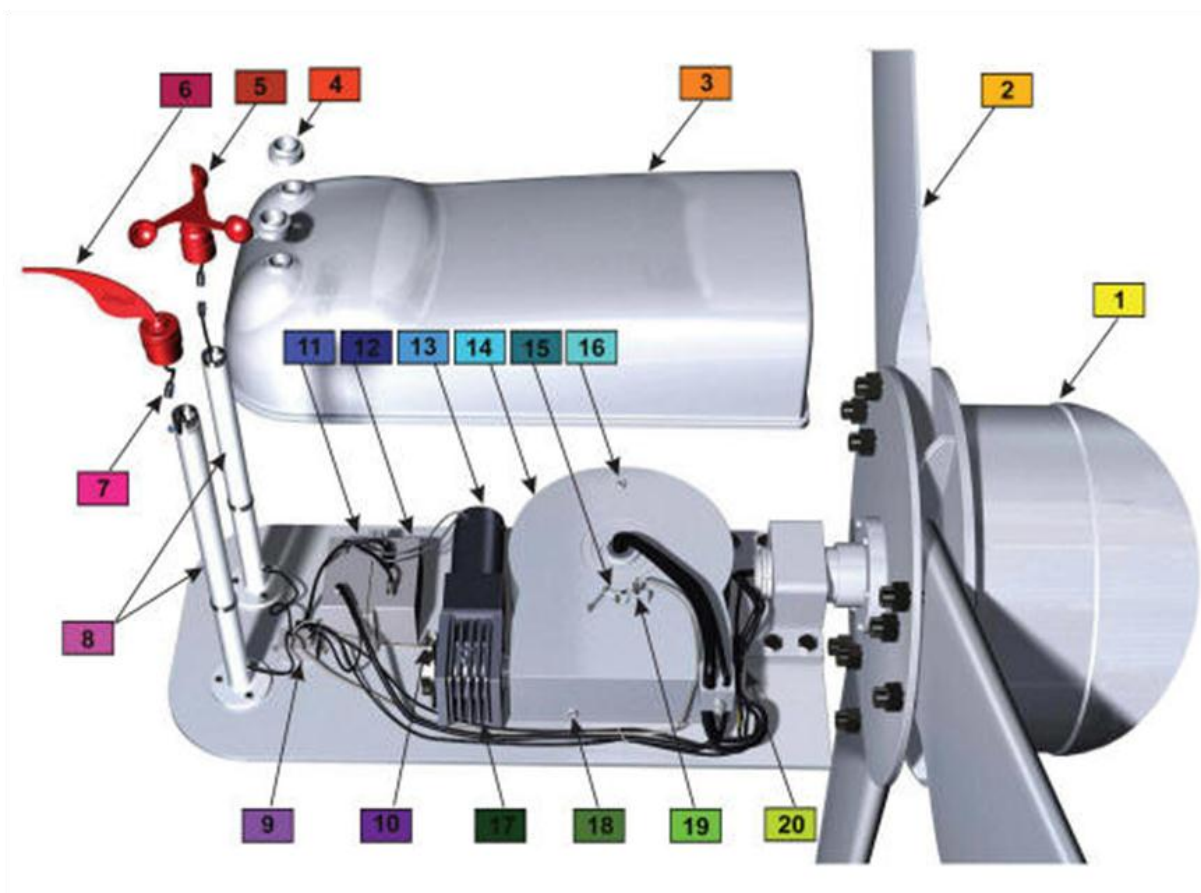


Рисунок 3.1.1 – Конструкція вітрогенератора серії WN

Позначення, що зображені на рисунку 3.1.1 :

1. корпус генератора на постійних магнітах;
2. лопаті;
3. захисний корпус хвостовика;
4. ущільнювальна кришка;
5. анемометр;
6. датчик напрямку вітру (флюгер);
7. з'єднувальний роз'єм флюгера;
8. опори кріплення анемометра і флюгера;
9. розподільчий блок;
10. датчик кута повороту хвостовика;
11. блок живлення;
12. блок керування;
13. DC24V мотор регулювання напрямку;
14. редуктор;
15. перемикач;
16. отвір для заливки масла;
17. передавальний механізм редуктора;
18. отвір для зливу масла;
19. датчик нульового кута;
20. блок клем.

Виходячи з конструктивних і технічних особливостей вітряків, а також враховуючи розраховану раніше споживану потужність підприємства «Талос», доцільно буде використовувати як основне джерело електричної енергії горизонтально-осьову вітрову установку з трьома лопатями.

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						19
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

### 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].

«Вітровий потік, зустрічаючи при русі на своєму шляху лопаті, віддає свою енергію вітроколесу. Внаслідок наявності аеродинамічних втрат вітроколесо використовує тільки частину потужності вітрового потоку» [4].

Середня швидкість вітру за обраний проміжок часу визначається відношенням суми вимірних 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.

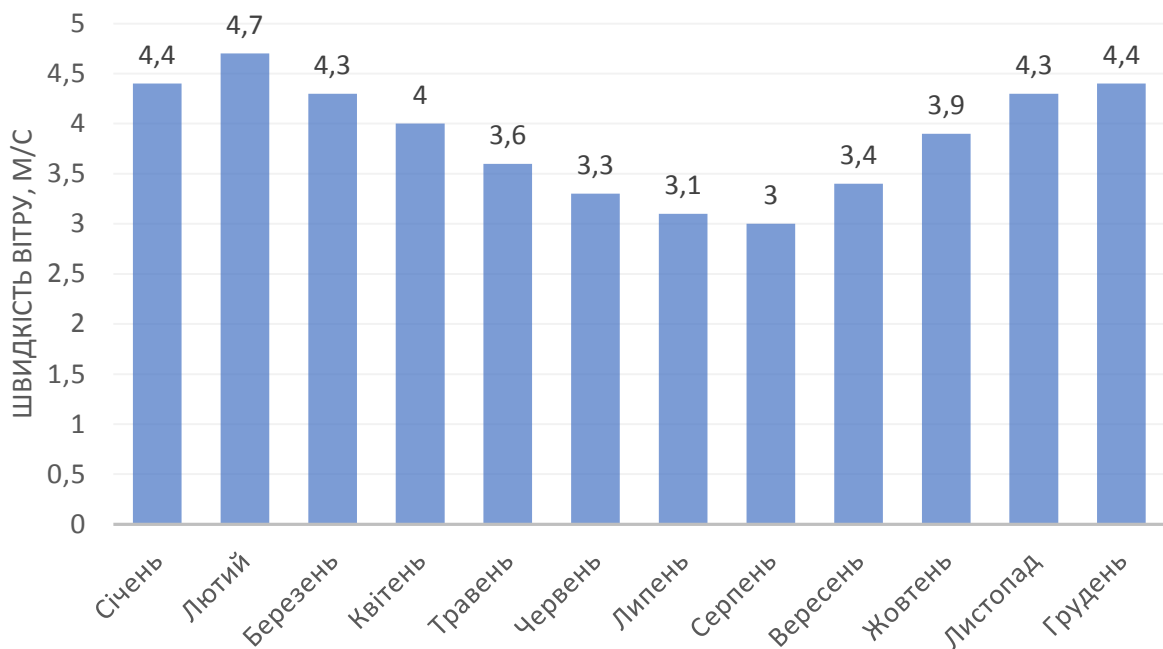


Рисунок 3.2.1 – Середня швидкість вітру Сумської області

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

$$v_{\text{сер}} = 3,9 \text{ м/с.}$$

Але це лише значення вітру біля землі. Енергетичні установки використовують вітер на висоті до 50 – 70 м, рідше – до 100 – 150 м від поверхні землі, тому необхідно враховувати характеристики повітряних потоків саме на потрібних нам висотах. Зі збільшенням висоти зростає й швидкість вітру.

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.

Зазвичай  $h_0$  розглядається як міра шорсткості підстильної поверхні. Її величина дорівнює для сніжного покриву 0,5 см, для поверхні з низькою травою – 3,2 см, з більш високими рослинами – 5 – 7 см;  $h_{0\text{макс}} = 20$  см.

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  $h_0$ ;

$\alpha$  – коефіцієнт ( $\alpha = 0,2$  )

Показник  $\alpha$  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.

«Напрямок вітру звичайно відіграє меншу роль з точки зору його використання. Однак у кожних ландшафтних умовах вітри різних румбів мають

неоднакові поривчастість і швидкість. Їх повторюваність визначають по розі вітрів – графіку, що показує, який відсоток загальної пори року вітер має той чи інший напрямок» [4]. 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.

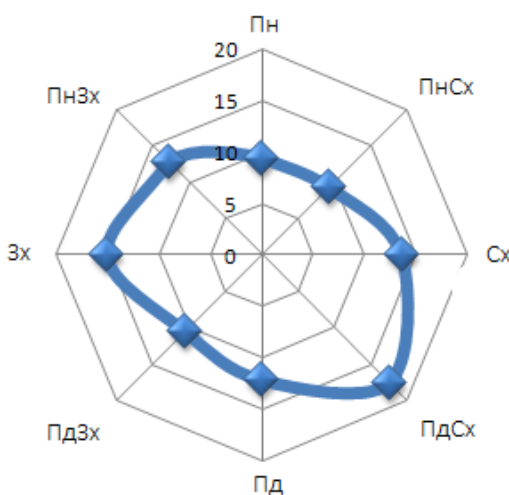


Рисунок 3.2.2 – Повторюваність напрямку вітру за рік, %

### 3.3 Вибір електрогенератора

Вигідність ВЕУ, значення її ККД залежить не тільки від форми і конструкції лопатей та іншого обладнання, а й від правильного вибору електрогенератора.

«Генератор є важливим елементом електрообладнання ВЕУ. Крім основного призначення генератор повинен виконувати певні функції по стабілізації й регулюванню параметрів, що характеризують якість електроенергії, що виробляється» [6].

«На ВЕС можливе застосування наступних типів генераторів: асинхронні генератори (з короткозамкненим ротором та з фазним ротором), синхронні генератори (з електромагнітним збудженням, з магнітоелектричним збудженням, індукторні і т.д), а також асинхронизировані синхронні генератори» [7]

Немає однієї думки, що до того, який саме генератор краще застосовувати для ВЕУ. Кожен з перелічених генераторів має свої переваги та недоліки [8].

1) Асинхронний генератор з коротко замкнутим ротором.

Переваги:

- простота і надійність в обслуговуванні;
- невисока вартість;
- мають порівняно малі коливання потужності, що генерується, електромагнітного моменту і струму при паралельній роботі та при змінній швидкості вітру і його поривах;
  - можливо встановлювати безредукторні установки з хорошими масо-габаритними показниками, високим ККД і можливістю регулювати напругу й частоту в широких межах.

Недоліки:

- необхідність встановлення редукторів при використанні дешевих тихохідних турбін. Тому генератор приєднують через редуктор з високим коефіцієнтом перетворення, що вимагає додаткових витрат на установку, обслуговування, ремонт, знижує надійність, є джерелом механічного шуму;
  - неможливо управляти режимними параметрами, що необхідно при поривчастих вітрах;
  - для роботи в автономному режимі необхідне автономне джерело реактивної потужності;
  - обмеження в промисловому застосуванні, так як вихідна напруга має спотворену форму, та незадовільні динамічні властивості.

2) Синхронний генератор з магнітно-електричним збудженням.

Переваги:

- виключення ковзаючого контакту;
- висока надійність роботи;
- високе значення ККД.

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						24
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Недоліки:

- необхідність в придбанні дорогих постійних магнітів;
- сталість магнітного потоку, неможливість його регулювати;
- висока вартість; відсутність вітчизняної бази виробництва.

3) Асинхронний генератор з фазним ротором.

Переваги:

- можливо використовувати в автономних системах в поєднанні з іншими машинами. Можливе каскадне з'єднання двох АГ або з'єднання АГ і ДПС з паралельним збудженням;
- простота в обслуговуванні та надійність;
- мають порівняно малі коливання потужності, що генерується, електромагнітного моменту і струму при паралельній роботі, при змінній швидкості вітру і його поривах.

Недоліки:

- необхідність встановлення редукторів, тому що використовують дешеві тихохідні турбіни (з частотою обертання 20-30 об/хв). Необхідний редуктор з високим коефіцієнтом перетворення, що вимагає додаткових витрат на установку, обслуговування, ремонт, знижує надійність, і є джерелом механічного шуму;
- неможливо управляти режимними параметрами, що буває необхідно при поривчастих вітрах;
- в автономному режимі необхідне автономне джерело реактивної потужності;
- обмеження в промисловому застосуванні через спотвореної форми вихідної напруги і незадовільних динамічних властивостей;
- наявність ковзного контакту, що знижує надійність.

4) Спеціальний СГ з магнітно-електричним збудженням.

Переваги:

- виключення ковзаючого контакту;
- прості і зручні в експлуатації, високе ККД;

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						25
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- зберігають стійкі робочі характеристики на протязі не менше десяти років.

Недоліки:

- необхідність в придбанні дорогих постійних магнітів;
- сталість магнітного потоку, тобто неможливість його регулювати;
- висока вартість генераторів;
- відсутність вітчизняної бази виробництва.

5) СГ з електромагнітним збудженням.

Переваги:

- При застосуванні перетворювача з явною ланкою постійного струму і інвертором напруги при широтно-імпульсному управлінні, можливо отримати в струмі низький склад гармоніки, поліпшення динамічних властивостей об'єкта;
- можливість керування реактивною потужністю з генераторного боку.

Недоліки:

- вище вартість, складніше конструкція, нижче надійність;
- наявність ковзного контакту і необхідність джерела постійного струму для обмотки збудження;
- при необхідності безредукторної установки ускладнюється конструкція, збільшується вага і ціна;
- жорстка залежність частоти ЕРС від швидкості обертання. Це обмежує, а в регіонах з різкими поривами вітру унеможлиблює, використання СГ для прямого включення в мережу без ППЧ;
- для забезпечення параметрів струму і напруги з допустимими технічними характеристиками необхідно застосовувати перетворювачі з явною ланкою постійного струму і інвертором напруги.

б) Асинхронізований синхронний генератор.

Переваги:

- можна використовувати в автономних системах в поєднанні з іншими машинами;

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						26
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- можливе каскадне з'єднання з АГ або з'єднання з АГ і ДПС з паралельним збудженням;

Недоліки:

- наявність на роторі ковзаючого контакту для підведення напруги до обмотки збудження ротора і необхідність в перетворювачі частоти для регулювання напруги збудження;

- при відхиленні швидкості від синхронної потрібно значне збільшення реактивної потужності і напруги в обмотці збудження.

- при наближенні ковзання до нуля і несинусоїдальності у випрямлячі, що живить обмотку збудження, в напрузі генератора виникають значні субгармоніки, а при паралельній роботі і регулюванні напруги по величині і фазі ковзання, в напрузі, що виробляється, виникають пульсації, що практично повторюють пульсації моменту вітротурбіни.

Встановлено, що в автономних електричних мережах при використанні ВЕУ потужністю до 200 кВт рекомендують використовувати синхронні генератори з постійними магнітами. Вони мають перевагу по потужності, економічним показникам, малій кількості втрат та ККД [9].

### 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:

$$P_E = \xi \cdot P_A, \text{ Вт.} \tag{3.4.1}$$

де  $\xi$  – 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;

$\rho$  – густина повітря, що проходить через ротор (для розрахунків приймаємо  $1,2041 \text{ кг/м}^3$ , значення за нормальних умов в сухому повітрі при температурі  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  й тиском  $101,325 \text{ кПа}$ );

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

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

$V$  – об'єм повітря, що проходить через ротор за 1 секунду,  $\text{м}^3$ ;

$S$  – площа, яку охоплює вітроколесо («у горизонтально-осьових установок це площа проекції ротора на площину, перпендикулярну осі обертання, у вертикально-осьових установок це площа проекції ротора на площину, паралельну осі обертання» [2]),  $\text{м}^2$ .

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.

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						28
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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:

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

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» [10]. 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. Щоб переконатися, що вся

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						29
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

система знаходиться в безпеці, система скидання навантаження підключена до системи вітрогенератора. Постійний струм може бути перетворений або направлений безпосередньо на акумуляторні батареї (автономне, за мережею, Off-grid) або передатись в загальну мережу через інвертор (мережеве, On-grid).

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
Матеріал лопатей	Glass Fiber Reinforced Plastic
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

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Вільно стояча башта, діаметр	Ø1725· Ø670 мм
Висота мачти	30

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).

Лопаті ротора вітрогенератора серії WH. Новітні лопаті розроблені американськими експертами з аеродинаміки, що дозволяє ефективно використовувати енергію вітру. За рахунок аеродинамічної форми лопатей досягається високий коефіцієнт використання до 0,5.

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

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						31
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

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).

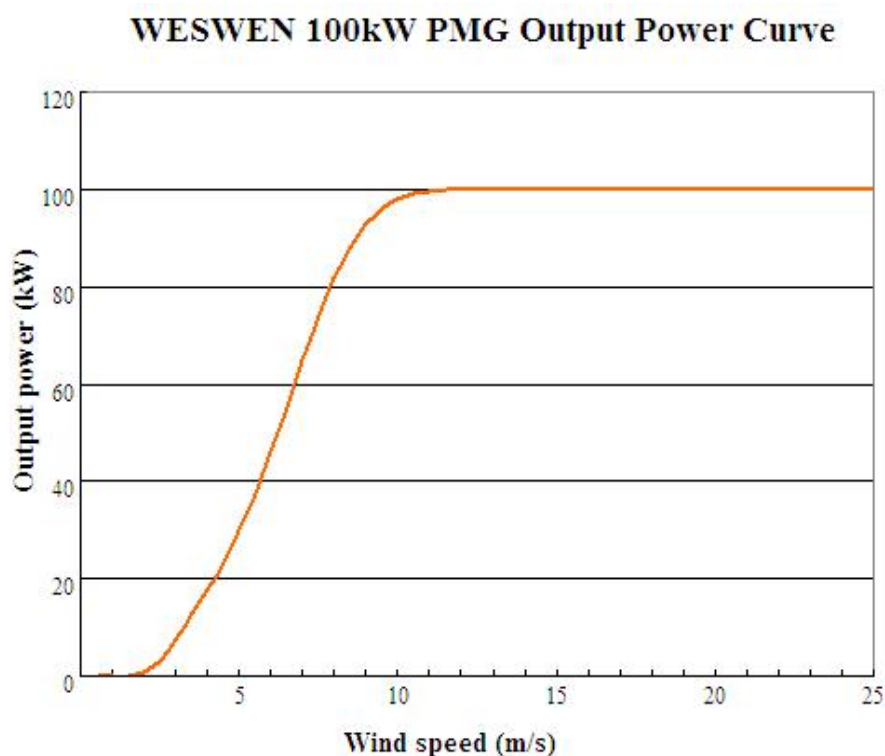


Рисунок 3.5.1 – Залежність вихідної потужності від швидкості вітру вітрогенератора WH20.8–100KW

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

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						32
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



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.

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.

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						33
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 4. Підключення ВЕУ до мережі

### 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,  $\Delta U$  – втрати напруги в провіднику, %;

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

$S$  – переріз провідника,  $\text{мм}^2$

$P$  – підключена потужність, кВт

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

$L$  – довжина провідника, м.

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						34
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1.1 – Економічна щільність струму

Провідники	Економічна щільність струму, А/мм <sup>2</sup> , при кількості годин використання максимуму навантаження в рік		
	більше 1000 до 3000	більше 3000 до 5000	більше 5000
	Неізольовані проводи та шини:		
▪ мідні	2,5	2,1	1,8
▪ алюмінієві	1,3	1,1	1,0
Кабелі з паперовою та проводи з резиноюю і полівінілохлоридною ізоляцією з жилами:			
▪ мідними	3,0	2,5	2,0
▪ алюмінієвими	1,6	1,4	1,2
Кабелі з резиноюю і пластмасовою ізоляцією з жилами:			
▪ мідними	3,5	3,1	2,7
▪ алюмінієвими	1,9	1,7	1,6

Таблиця 4.1.2 – Вибір кабелів мережі

№	L, м	U, кВ	P, кВт	I, А	F <sub>e</sub> , мм <sup>2</sup>	Марка	S, мм <sup>2</sup>	I <sub>доп</sub> , 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

Таблиця 4.1.3 – Втрати напруги

№	Марка	Довжина L, км	Підключене навантаження P, кВт	Переріз провідника S, мм <sup>2</sup>	Втрати напруги $\Delta U$ , %
Л1	АВВГ 4х25	80	15	25	1,04
Л2	АВВГ 4х35	75	25	35	1,16
Л3	АВВГ 4х50	65	35	50	0,99
Л4	АВВГ 4х25	50	15	25	0,65
Л5	АВВГ 4х150	30	130	150	0,57
Л6	АВВГ 4х185	35	150	185	0,62
Л7	АВВГ 4х25	45	20	25	0,78
Л8	АВВГ 4х120	340	100	120	7,25
Л9	АВВГ 4х120	340	100	120	7,25
Л10	АВВГ 4х120	340	100	120	7,25

Так як втрати напруги не повинні перевищувати 5%, необхідно зменшити значення, що вийшли для ліній L8, L9, L10. Це можна зробити, збільшивши переріз провідників. Наступний за номіналом переріз 150 мм<sup>2</sup>. Перераховані значення за формулою (4.1.3) заносимо до таблиці 4.1.4.

Нові значення менші 5%, а значить проводи вибрані вірно.

Для розрахунку поперечного перерізу ПЛ ділянки L11 використовуємо ту ж послідовність дій, що й для вибору кабелів. Для розрахунку економічного перерізу значення щільності струму (з таблиці 4.1.1)  $j_e = 1,1 \text{ А/мм}^2$ . Тоді  $F_e = 16 \text{ мм}^2$ .

Мінімально допустимий переріз проводів за умовами механічної міцності вибираємо з ПУЕ [11, ст. 404]. Так як Сумський район відноситься до 3 району по ожеледі, мінімальний переріз для проводів типу АС – 50 мм<sup>2</sup>.

											Лист
											36
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	БР 3.6.141.323 ПЗ						

Таблиця 4.1.4 – Перераховані втрати напруги

№	Марка	Довжина L, км	Підключене навантаження P, кВт	Переріз провідника S, мм <sup>2</sup>	Втрати напруги ΔU, %
Л1	АВВГ 4х25	80	15	25	1,04
Л2	АВВГ 4х35	75	25	35	1,16
Л3	АВВГ 4х50	65	35	50	0,99
Л4	АВВГ 4х25	50	15	25	0,65
Л5	АВВГ 4х150	30	130	150	0,57
Л6	АВВГ 4х185	35	150	185	0,62
Л7	АВВГ 4х25	45	20	25	0,78
Л8	АВВГ 4х150	340	100	150	4,93
Л9	АВВГ 4х150	340	100	150	4,93
Л10	АВВГ 4х150	340	100	150	4,93

#### 4.2 Розрахунок та вибір трансформатору

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

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\text{розра}} = P_{\text{макс}} \quad (4.2.1)$$

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

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

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

Вже відомо, що потужність, яку можуть видавати разом три вітрогенератори становить 300 кВт. Отже необхідно вибрати трансформатор 10/0,4 кВ, потужністю  $\geq 300$  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		$\Delta P_X$ , кВт	$\Delta P_K$ , кВт	$U_K$ , %	$I_X$ , %
		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  $I_{НОМ} \geq I_{роз}$ .

										Лист
										38
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

#### 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.

Використовуються для виконання функцій релейного захисту, автоматики і сигналізації кабельних і повітряних ліній, трансформаторів, електродвигунів, збірних шин і ін.

Перелік функцій, що реалізуються в пристроях серії LX 120.1к: двофазна, триступенева МТЗ з незалежною і залежною характеристикою; захист (ненаправлений / спрямований – (опція)) від замикань на землю по струму  $3I_0$ ; одноразове АПВ, ЧАПВ; АЧР; прискорення МТЗ при включенні вимикача; ЛЗШ – зовнішнє блокування захисту введення і СВ при пуску МТЗ приєднань, що відходять поєднані з ПРВВ (зняття сигналу блокування); шунтування / дешунтування електромагнітів відключення ВВ (опція); вимір струмів фаз і струму ЗНЗ; реєстрація аварійних подій» [12].

Розраховуються струми КЗ, для чого намічається розрахункова точка КЗ, найбільш віддалена від живильної підстанції (точка КЗ на рисунку 4.4.1).

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						39
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

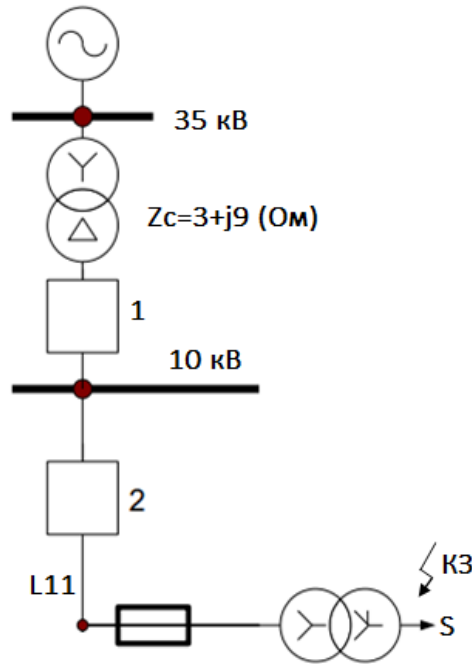


Рисунок 4.4.1 – Розрахункова схема для визначення струму КЗ

Визначаємо активний та індуктивний опори ділянки. В довідниках надають дані на 1 км, тому необхідно ці значення помножити на довжину лінії. Всі розрахунки зведені у таблицю 4.4.1.

Таблиця 4.4.1 – Розрахунок опору лінії

Марка проводу	Довжина лінії L, км	Опір проводу на 1 км r, Ом/км	Опір проводу на 1 км x, Ом/км	Опір всієї ділянки r, Ом	Опір всієї ділянки x, Ом
АС – 50	2	0,592	0,382	1,184	0,764

За формулами (4.4.1) та (4.4.2) визначаємо активний та індуктивний опори обраного трансформатора. Дані трансформатора наведені у таблиці (4.4.1).

$$x_T = \frac{u_k \cdot U_{ВН}^2}{100 \cdot S_{ном.тр}}, \text{ Ом} \quad (4.4.1)$$

$$r_T = \frac{\Delta P_k \cdot U_{ВН}^2}{S_{ном.тр}^2}, \text{ Ом} \quad (4.4.2)$$

В результаті розрахунків отримали:  $x_{T1} = 14,06 \text{ Ом}$ ,  $r_T = 4,74 \text{ Ом}$ .



Визначаються сумарні активний і індуктивний опори до розрахункової точки короткого замикання КЗ, з урахуванням опору системи:

$$r_{КЗ} = r_C + r_L + r_T = 3 + 1,184 + 4,74 = 8,92 \text{ Ом},$$

$$x_{КЗ} = x_C + x_L + x_T = 9 + 0,764 + 14,06 = 23,82 \text{ Ом}.$$

Повний опір до точки КЗ:

$$z_{КЗ} = \sqrt{r_{КЗ}^2 + x_{КЗ}^2} = 25,44 \text{ Ом}.$$

Струм при трифазному КЗ у точці КЗ:

$$I_{КЗ}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot z_{КЗ}} = 226,9 \text{ А}.$$

Струм при двофазному КЗ у точці К2:

$$I_{КЗ}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{КЗ}^{(3)} = 196,5 \text{ А}.$$

Струм спрацьовування струмової відсічки:

$$I_{\text{св}} = K_B \cdot I_{КЗ} = 215,05 \text{ А}$$

де  $K_B$  – коефіцієнт відсічки, значення якого приймаємо 1,1.

Коефіцієнт чутливості:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мін}}}{I_{\text{с.з}}} = \frac{196,5}{80} = 2,46$$

Обов'язкова умова  $k_{\text{ч}} > 1,5$  виконується.

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						41
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 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.

Можливе використання двох однонаправлених лічильників із стопорами зворотного ходу, що обліковують окремо обсяги відпущеної в електричну мережу та отриманої з електричної мережі електричної енергії приватним домогосподарством за календарний місяць.

Лічильники електричної енергії бувають індукційними (дисковими) і електронними. Для обліку «зеленого» електрики використовують тільки другі.

У електронних лічильників менші розміри, більш високий клас точності, кілька тарифів. Серед їх достоїнств – можливість вимірювати якість і кількість потужності, зберігання даних з обліку електроенергії тривалий час, дистанційно знімати показники з різних інтерфейсів зв'язку. Втім, є у таких приладів і недоліки, які слід враховувати в процесі експлуатації. Електронні лічильники чутливі до якості енергії і практично не підлягають ремонту.

За вимірюваним величинам лічильники електроенергії бувають однофазними і трифазними. Перші пристрої призначені для мережі з напругою 220 вольт. Трифазні прилади розраховані на 380 вольт, але підтримують і однофазний облік.

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 АСКОВЕ;
- мати інтерфейс передачі інформації про обсяги і напрямки перетоків електричної енергії;

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						42
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- відповідати вимогам оператора системи розподілу, бути в Державному реєстрі засобів вимірювальної техніки України.

Визначаючись з моделлю приладу, необхідно враховувати наступні параметри:

- Робоча температура. При установці в нежитловому приміщенні або на вулиці лічильник повинен стабільно функціонувати і в мороз, і в спеку. Для наших широт оптимальним вважається температурний діапазон -40 ... + 60 градусів.

- Клас точності. Для великих електростанцій з потужністю трансформаторів від 10 МВА потрібен прилад з допустимою похибкою в вимірах не більше 1% (клас точності 1,0). В інших випадках достатньо лічильника з класом точності 2,0.

- Кількість тарифів. Дво- і тритарифні (багатозонні) лічильники дозволяють вести облік електроенергії по зонах доби, порам року.

- Наявність АСКОЕ. Автоматизована система комерційного обліку електроенергії дозволяє дистанційно збирати, зберігати і обробляти інформацію про енергетичні потоки.

- Наявність / відсутність модуля GSM. Він може бути вбудованим або придбаним окремо для опціонального підключення. За допомогою модуля показання лічильника відправляють через інтернет на сервер, що зручно при віддаленому розташуванні електростанції.

- Міжповірковий інтервал – термін, протягом якого показання лічильника вважаються достовірними. Природно, чим більше заявлений виробником період, тим краще

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.

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						43
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.5.1 – Електролічильник GAMA 300

В даній роботі був вибраний лічильник «зеленого» тарифу GAMA 300, що зображений на рисунку 4.5.1. Це трифазний електролічильник для вимірювання активної та реактивної електроенергії. Завдяки вбудованим інтерфейсам прилад може використовуватися в автоматизованих системах обліку АСКОЕ, АСТОЕ, ЛОСОД. Пристрій реєструє договірні ліміти і максимуми потужності, профілі навантажень. Працює при температурі  $-25^{\circ}\text{C} \dots +55^{\circ}\text{C}$ . Виробник – «ЕЛГАМА Електроніка» (Литва).

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						44
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 5. Перевірка діючого обладнання ПС 35/10

### 5.1 Перевірка діючих трансформаторів

На існуючій ПС-35/10, до якої буде підключатися підприємство разом з вітроенергетичними установками, встановлено два однотипних трансформатори. Їх параметри вказані в таблиці 5.1.1. Значення вже існуючої підключеної потужності дорівнює  $S_I = 1,42$  МВА.

Таблиця 5.1.1

Тип	$S_{НОМ}$ , МВА	Каталожні данні						
		$U_{НОМ}$ обмоток, кВ		Схема обмоток	$\Delta P_X$ , кВт	$\Delta P_K$ , кВт	$U_K$ , %	$I_X$ , %
		ВН	НН					
ТМ-4000/35	4	35	10	Y/Δ	5,3	33,5	7,5	0,9

Розрахункова потужність трансформатора на ПС-35/10, за умови підключення навантаження підприємства, обчислюється за формулою:

$$S_{ТР} = \frac{S_I + S_{П}}{K_3 \cdot (n - 1)}, \text{ МВА} \quad (5.1.1)$$

де  $S_I$  – вже існуюча підключена потужність, Вт;

$S_{П}$  – потужність підприємства (потужність, що виробляють три вітроенергетичні установки  $S_{П} = 300$ кВт), Вт;

$n$  – кількість трансформаторів на підстанції;

$K_3$  – коефіцієнт завантаження трансформатора,  $K_3 = 0,7$ .

Підставляючи всі значення до формули 5.1.1 отримали значення  $S_{ТР} = 2,5$  МВА. Так як розрахункове значення менше за потужність трансформатора вони витримують підключене додаткове навантаження.

## 5.2 Перевірка комутаційного обладнання

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

- 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;

Спершу необхідно розрахувати струми короткого замикання. Схема заміщення ПС 35/10 зображена на рисунку 5.2.1. При чому опір існуючих трансформаторів

$x_T = 35,8 \text{ Ом}$ , опір працюючих ліній  $x_L = 4,2 \text{ Ом}$ . Опір системи  $x_C = 2,2 \text{ Ом}$  був знайдений за формулою (5.2.1).

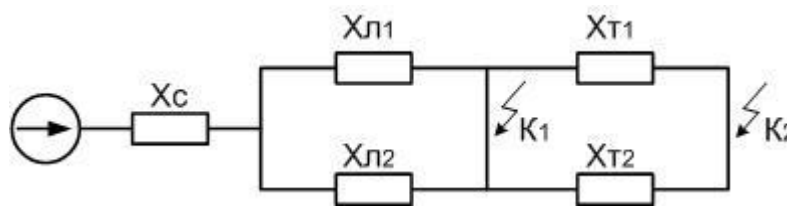


Рисунок 5.2.1 – Схема заміщення ПС 35/10

Формула для розрахунку опору системи:

$$x_C = \frac{U_C}{S_C}, \text{ Ом} \quad (5.2.1)$$

де  $U_C$  – напруга системи, В;

$S_C$  – потужність системи, Вт.

Визначимо періодичну складову струму короткого замикання в точках  $K_1$  та  $K_2$  за формулами (5.2.2) та (5.2.3) відповідно. Результати занесемо до таблиці 5.2.1.

$$I_{K1} = \frac{U_B}{\sqrt{3} \cdot (x_L + x_C)}, \text{ А} \quad (5.2.2)$$

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						46
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{K2} = \frac{U_B}{\sqrt{3} \cdot (x_L + x_C + x_T)} \cdot \frac{U_B}{U_H}, A \quad (5.2.3)$$

де  $U_B$  і  $U_H$  – напруги на високій та низькій сторонах відповідно, В.

Ударний струм короткого замикання в точках  $K_1$  і  $K_2$  визначається за наступною формулою:

$$i_{уді} = \sqrt{2} \cdot 1,66 \cdot I_{Ki}, A \quad (5.2.4)$$

Результати розрахунків занесено до таблиці 5.2.1.

Вважаємо, що амплітуда ЕРС і періодична складова струму КЗ незмінні в часі, тому через час, який дорівнює часу відключення, для точок  $K_1$  і  $K_2$  буде правильне наступне твердження:

$$I_{nті} = I_{Ki}, A \quad (5.2.5)$$

Аперіодична складова струму КЗ в момент розходження контактів вимикача для точок  $K_1$  і  $K_2$  знаходяться за формулою:

$$i_{ai} = \sqrt{2} \cdot I_{nті} \cdot e^{-\frac{t_i}{T_{ai}}}, A \quad (5.2.5)$$

де  $T_a$  – постійна часу затухання аперіодичної складової ( $T_{a1} = 0,025$  с,  $t_1 = 0,06$  с,  $T_{a2} = 0,05$  с,  $t_2 = 0,1$  с).

Визначаємо інтеграл Джоуля (термічну стійкість) за формулою (5.2.6).  
Результати зведемо у таблиці 5.2.1.

$$B_{Ri} = I_{Ki}^2 (t_i + T_{ai}), A^2 \quad (5.2.6)$$

Для перевірки комутаційних апаратів також необхідно розрахувати струми нормального і після аварійного режимів.

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						47
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.2.1 – Результати розрахунків струмів КЗ

Точка КЗ	Період. склад. струму КЗ в поч. момент часу, кА	Ударний струм КЗ, кА	Період. склад. струму КЗ в момент спрац. вимикача, кА	Аперіод. склад. струму КЗ, кА	Інтеграл Джоуля, кА <sup>2</sup> с
Шини 35 кВ (К <sub>1</sub> )	4,7	11	4,7	1,4	1,8
Шини 10 кВ (К <sub>2</sub> )	3,15	7	3,15	0,8	1,4

Максимальний струм на високій напрузі розраховується за формулою:

$$I_{\max}^{ВВ} = \frac{1,4S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{В}}, \text{ А} \quad (5.2.7)$$

Максимальний струм на низькій стороні знаходиться за виразом:

$$I_{\max}^{НН} = \frac{1,4S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{Н}}, \text{ А} \quad (5.2.8)$$

Максимальний струм у колі секційного вимикача:

$$I_{\max}^{\text{С.В.}} = \frac{0,7 S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{Н}}, \text{ А} \quad (5.2.9)$$

Підставивши в формули відповідні дані отримали наступні значення максимальних струмів:  $I_{\max}^{ВВ} = 92 \text{ А}$ ,  $I_{\max}^{НН} = 323 \text{ А}$ ,  $I_{\max}^{\text{С.В.}} = 162 \text{ А}$ .

Почнемо перевірку з вимикачів ВТ-35 на стороні 35 кВ. Проводити порівняння розрахункових значень з каталожними зручно у вигляді таблиць.

Таблиця 5.2.2 – Перевірка вимикачів ВТ-35



Умова роботи	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_{ном}$	35 кВ	35 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	92 А	630 А
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	4,7 кА	20 кА
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	11 кА	62 кА
$I_{нт} \leq I_{ВиклНом}$	4,7 кА	20 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	1,8 кА <sup>2</sup> ·с	1200 кА <sup>2</sup> ·с

Так як всі умови безперебійної роботи виконані, встановлені на ПС-35/10 вимикачі типу ВТ-35 можуть працювати зі збільшенням потужності.

На стороні 35кВ встановлені роз'єднувачі РНД 35/630. Всі достатні умови роботи наведені в наступній таблиці.

Таблиця 5.2.3 – Перевірка роз'єднувачів РНД 35/630

Умова роботи	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_{ном}$	35 кВ	35 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	92 А	630 А
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	11 кА	60 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	1,8 кА <sup>2</sup> ·с	3969 кА <sup>2</sup> ·с

Так як всі умови безперебійної роботи виконані, встановлені на ПС-35/10 роз'єднувачі типу РНД-35/60 можуть працювати зі збільшенням потужності.

На низькій стороні в якості головних встановлені вимикачі типу ВМГ-10. Порівняння розрахункових і каталожних значень наведене в таблиці 5.2.4.

Таблиця 5.2.4 – Перевірка головних вимикачів ВМГ-10

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						49
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Умова роботи	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_{ном}$	10 кВ	10 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	323 А	630 А
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	3,15 кА	45 кА
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	7 кА	120 кА
$I_{нт} \leq I_{ВиклНом}$	3,15 кА	45 кА
$I_{ат} \leq I_{а ном}$	0,8 кА	–
$B_K \leq I_T^2 t_r$	1,4 кА <sup>2</sup> ·с	4050 кА <sup>2</sup> ·с

Головні вимикачі на стороні 10кВ відповідають всім умовам безперебійної роботи, а отже нас задовольняють.

В якості секційного вимикача на низькій стороні встановлено вимикач ВМГ-10. Каталожні дані переносяться з таблиці 5.2.4.

Таблиця 5.2.5 – Перевірка секційного вимикача ВМГ-10

Умова роботи	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_{ном}$	10 кВ	10 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	162 А	630 А
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	3,15 кА	45 кА
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	7 кА	120 кА
$I_{нт} \leq I_{ВиклНом}$	3,15 кА	45 кА
$I_{ат} \leq I_{а ном}$	0,8 кА	–
$B_K \leq I_T^2 t_r$	1,4 кА <sup>2</sup> ·с	4050 кА <sup>2</sup> ·с

Вимикач ВМГ-10 задовольняє всі умови роботи і як головний і як секційний вимикач на стороні 10кВ.

Необхідно вибрати лінійний вимикач для проектованої лінії, що відходить з ПС-35/10 зі сторони 10кВ. Було вибрано вимикач ВВ/TEL-10-1000 У2. Перевірка умов, за якими вибирався вимикач, зведені в таблиці 5.2.6.

Таблиця 5.2.6 – Вибір лінійного вимикача ВВ/TEL-10-1000 У2

Умова роботи	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_{ном}$	10 кВ	10 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	80 А	1000 А
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	3,15 кА	30 кА
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	7 кА	12 кА
$I_{нт} \leq I_{ВиклНом}$	3,15 кА	30 кА
$I_{ат} \leq I_{а ном}$	0,8 кА	–
$B_K \leq I_T^2 t_r$	1,4 кА <sup>2</sup> ·с	4050 кА <sup>2</sup> ·с

Вимикач ВВ/TEL-10-1000 У2 повністю задовольняє всі умови, а отже може бути вибраний як лінійний вимикач для лінії 10кВ, що відходить з ПС-35/10.

Все обладнання на ПС-35 /10 витримає незначну додаткову потужність в 300кВт, так як всі значення параметрів вибрані із запасом.

## РОЗДІЛ 6. Розрахунок техніко-економічних показників

### 6.1 «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 6.1.1.

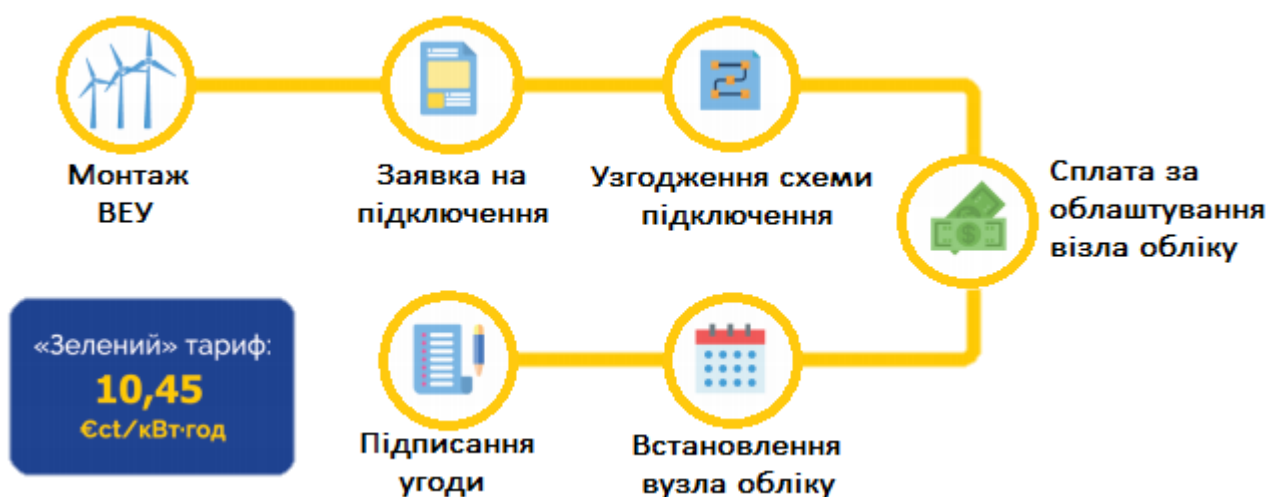


Рисунок 6.1.1 – Порядок отримання «зеленого» тарифу

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		52

## 6.2 Розрахунок капітальних витрат

Капітальними витратами є одноразові вкладення, за допомогою яких підприємство збільшує обсяг основних засобів. Капітальні витрати включають в себе вартість вітроустановки на заводі, витрати на транспортування обладнання, будівельні роботи, роботи та обладнання по приєднанню до мереж енергосистеми, плату за землю [4]

Загальні капіталовкладення можна розрахувати за формулою:

$$K = K_{уст} + K_{пр} + K_{вст} + K_{обл}, \text{ грн} \quad (6.2.1)$$

де  $K$  – загальні капіталовкладення, грн;

$K_{уст}$  – вартість вітрової установки, грн;

$K_{пр}$  – вартість проектних робіт по визначенні місця для встановлення вітрових установок, оформлення необхідної документації, грн;

$K_{вст}$  – вартість будівельних та монтажних робіт при встановленні вітрових установок, підключенні їх до електричної мережі та підприємства;

$K_{обл}$  – вартість додаткового обладнання для підключення ВЕУ.

Така складова формули (6.2.1), як вартість додаткового обладнання розрахована у таблиці 6.2.1. Ціни на обладнання наведені опосереднені по Україні з сайтів виробників, або ж онлайн – магазинів.

З сайту виробника компанії WESWEN маємо ціну від 344892 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 11559883грн за кожний. В сумі за три установки вийде 34679649 грн.

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						53
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.2.1 – Вартість додаткового обладнання

Обладнання	Кількість/довжина шт/м	Ціна за 1шт/1м, грн	Загальна вартість, грн
Кабелі :			
АВВГ 4x25	175	45,18	7907
АВВГ 4x35	75	54,99	4124
АВВГ 4x50	65	92,28	5998
АВВГ 4x120	1020	234,3	238986
АВВГ 4x150	30	92,28	2768
АВВГ 4x185	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
Разом К <sub>обл</sub> , грн	–	–	453 056

Вартість будівельних та монтажних робіт при встановленні вітрових установок, підключенні їх до електричної мережі та підприємства точно не відома.

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						54
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Тому приймемо середнє значення, а саме 15% від вартості самої установки. Вартість проектних робіт, вартість землевідведення, дозвільну і проектну документації за оцінкою вийде близько 5% від загальної вартості.

Підставивши всі відомі значення у формулу (6.2.1) маємо  $K = 42$  млн.грн. Це сума, що необхідна для придбання трьох вітрових установок, їх встановлення та підключення до мережі та до самого підприємства.

### 6.3 Розрахунок поточних витрат

Поточними називають короткочасні витрати у даний звітний період. Річні витрати йдуть на технічне обслуговування, ремонт вітряних установок, амортизаційних відрахувань, заробітну плату обслуговуючому персоналу і визначається за формулою:

$$B = B_{\text{ам}} + B_{\text{зп}}, \text{ грн} \quad (6.3.1)$$

де  $B$  – річні експлуатаційні витрати, грн;

$B_{\text{ам}}$  – амортизаційні витрати, грн;

$B_{\text{зп}}$  – витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу, грн.

Амортизаційні відкладення прийнято брати як 1% від вартості обладнання (тобто вітрової установки). Середні заробітні плати для обслуговуючого персоналу: майстер – 15тис.грн, електрик V категорії – 12тис.грн, електрик IV категорії – 10тис.грн, шофер-електрик III категорії – 11тис.грн.

Підставляючи значення у вираз (6.3.1), за рік у сумі отримаємо витрати у розмірі  $B = 922796$  грн. Це приблизна середня річна сума, яка необхідна для підтримання трьох установок в робочому стані.

### 6.4 Річна економія та термін окупності установки

Проведемо орієнтовний розрахунок економічної ефективності встановлення трьох вітрових установок WH20.8–100kW на 100кВт для забезпечення електроенергією підприємство «Галос».

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						55
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

До основних критеріїв економічної ефективності ВЕУ можна віднести відносні зведені річні витрати на 1 кВт встановленої потужності та вартість 1 кВт-год [13].

Розрахунок зведених річних витрат на кВт встановленої потужності проводиться за наступною формулою:

$$З = \frac{P_n \cdot K + B}{P}, \text{ грн} \quad (6.4.1)$$

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

$K$  – загальні капіталовкладення, знайдені за формулою (6.2.1), грн;

$B$  – річні експлуатаційні витрати, знайдені за формулою (6.3.1), грн;

$P$  – встановлена потужність об'єкту електропостачання, кВт;

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

$$P_n = \frac{1}{T} \quad (6.4.2)$$

де  $T$  – економічний термін служби обладнання, років.

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

Знайти собівартість 1 кВт-год можна за виразом:

$$C = \frac{P_n \cdot K + B}{W}, \text{ грн/кВт} \cdot \text{ год} \quad (6.4.3)$$

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:

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						56
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



$$K_{\text{ВВП}} = \frac{P_{\text{д}}}{P_{\text{пл}}} \quad (6.4.4)$$

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 (6.4.4) 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.

Щоб визначити термін окупності установки – необхідно вирахувати приблизний прибуток від продажі зайвої неспожитої підприємством електроенергії за «зеленим» тарифом. «Одними з найбільш перспективних чи економічно вигідних є проекти енергопостачання, впроваджені з використанням «зеленого» тарифу. В цих проектах електроенергія, вироблена електростанціями з використанням сонячних батарей, вітрогенераторів, гідроелектростанцій, приймається загальною мережею і оплачується оптовим ринком електроенергії за «зеленим» тарифом» [14]. Всі розрахунки зручно проводити у вигляді таблиці. Всі дані з попередніх розділів зведені у таблиці 6.4.1.

Таблиця 6.4.1 – Дохід від продажу електроенергії

Продуктивність трьох ВЕУ потужністю 100 кВт в рік, МВт-год	2023,56
Власне середнє енергоспоживання підприємства в рік, МВт-год	1454,09
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	3,5

кВт-год, тис. грн	
Сумарний дохід за рік, тис. грн	1993,2

Продуктивність визначена за умови, що ВЕУ працюватиме без довгих зупинок весь рік з середньою швидкістю по регіону її встановлення. Реальне значення показника буде меншим за розраховане.

Для приблизного терміну окупності приймається проста формула :

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{D - B + E} \quad (6.4.5)$$

де  $T_{\text{ок}}$  – 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 витрачало 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. Тоді в рік в середньому необхідно було б витрачати, а отже буде зекономлено  $E = 2442866$  грн.

Підставивши всі попередньо розраховані значення у формулу (6.4.5) дізналися, що термін окупності вітрових установок становить 12 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 витрачати на погашення капітальних вкладень, то гроші за ВЕУ повернуться за короткий час.

## РОЗДІЛ 7. Техніка охорони праці при експлуатації вітроенергетичної електростанції

Розглянемо потенційність виникнення професіональних захворювань та виробничого травматизму на вітроелектричні станції [16].

Виробничий травматизм – це наслідок впливу на організм працюючого різних зовнішніх небезпечних виробничих факторів.

Травматизм на ВЕУ можливий у разі:

- ураження електричним струмом – опіки, електричні удари й ін.;
- впливу високої або низької температури (опіки чи обмороження);
- падіння з висоти;
- сполучення декілька з перерахованих факторів;
- та ін.

Виділяють наступні причини виробничого травматизму [17]:

- технічні;
- санітарно-гігієнічні;
- організаційні;
- психофізіологічні.

Невиконання правил безпеки може призвести до нещасних випадків, які поділяють на:

- за кількістю потерпілих – на одиничні (потерпів один працюючий) та груповий (потерпіло два і більше працюючих);
- за тяжкістю – легкі, тяжкі, летальні (смертельний випадок);
- залежно від обставин – пов'язані з виробництвом, не зв'язані з виробництвом, але пов'язані з роботою і нещасний випадок в побуті.

При знаходженні працівників на робочому місці, вони знаходяться під впливом різних негативних факторів. Це можуть бути фактори виробничого походження, чи то психофізіологічний стан працівника. Невиконання правил безпеки може призвести до виробничого травматизму та професійних захворювань.

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						59
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## 7.1 Вимоги безпеки перед початком роботи на ВЕУ

На початку робочої зміни робоче місце та необхідне обладнання, передбачене для виконання робіт, повинно бути перевірено на предмет відсутності та усунення несправності. В разі виявлення несправності, які працівник не може усунути власними силами, він повинен доповісти про них безпосередньому керівнику.

Оперативно-виробничі працівники повинні ознайомитися з інформацією автоматизованої системи керування ВЕС (АСК ВЕС) та даними про несправності в роботі устаткування, які були зафіксовані в оперативному журналі попередньою зміною, а саме:

- про несправності в роботі обладнання:
  - найменування обладнання;
  - кількість годин у неробочому стані;
  - дата та час реєстрації виникнення несправності; 4)вжиті заходи;
  - дата та час обслуговування чи ремонту;
  - причина несправності;
  - замінені деталі;
- про аварійні ситуації та вжиті заходи щодо відновлення нормального режиму.

Виробничі працівники, у тому числі ремонтні служби, повинні перед початком робочої зміни отримати наряд-допуск чи розпорядження на проведення робіт з вказанням змісту робіт, місця їх проведення, дати та часу початку та закінчення робіт. Обов'язковим є цільовий інструктаж з правил безпеки під особистий розпис.

Виробничі працівники, що обслуговують електричну частину ВЕУ та ВЕС, повинні бути забезпечені всіма необхідними засобами захисту для безпечного виконання робіт.

Засоби захисту, прилади, пристрої та інструмент повинні оглядатися і випробуватися згідно з НАОП 1.1.10-1.07-82 «Правила применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках». Усі роботи на електрообладнанні, в контрольно-розподільчій шафі дозволяється викопувати

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						60
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

тільки після зупинення ВЕУ та вимкнення комутаційних апаратів, що з'єднують установку з електричною мережею.

За необхідності проведення робіт у гондолі слід зупинити ВЕУ, переконатися, що лопаті ротора переведені у флюгерне положення (якщо це передбачено конструкцією), ручні гальма затиснуті, механізм повороту гондоли застопорений.

Забороняється підніматися на ВЕУ або знаходитися в гондолі під час її роботи.

До початку роботи необхідно:

- вимкнути усі комутаційні апарати, через які можлива подача напруги на робоче місце;

- зняти напругу з електричних схем керування цими апаратами заборонити виконання будь-яких робіт у колах електричних схем керування ВЕУ;

- вивісити плакати «Не вмикати. Працюють люди»;

- перевірити відсутність напруги на робочому місці;

- за необхідності заземлити робоче місце. Якщо заземлювач переносний, то його треба спочатку приєднати до «землі», потім до знеструмленого обладнання.

Вивісити плакат «Заземлено»;

- обгородити за необхідності робочі місця або струмопровідні частини, що залишилися під напругою, і вивісити на огороження плакати безпеки;

- вжити заходів безпеки, що виключають можливість доступу сторонніх осіб у шафу керування, силову шафу.

Перед початком робіт особа, що видає завдання, повинна визначити можливі випадки виникнення небезпеки і захисні засоби, які необхідно встановити на робочому місці.

Працівники перед роботою повинні перевірити засоби індивідуального захисту, такі як пояс запобіжний монтажний, кігті, лази та інші на предмет відсутності пошкодження перед їх застосуванням. При цьому слід приділяти увагу таким пошкодженням:

- зарубки;

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						61
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- тріщини;
- стирання або розриви;
- граничний знос;
- окислення або інші види корозії тощо.

Забороняється користуватися обладнанням, в якому під час огляду були виявлені дефекти.

Методи страхівки працівників під час технічного обслуговування ВЕУ повинні відповідати вимогам інструкції з експлуатації з урахуванням конструктивних особливостей конкретних типів ВЕУ.

До початку роботи па обладнанні ВЕС керівник робіт повинен перевірити наявність зв'язку між робочим місцем і ЦПК.

## **7.2. Вимоги безпеки під час роботи**

Експлуатація ВЕУ проводиться оперативно-виробничими працівниками згідно з документами щодо експлуатації, наданих виробником ВЕУ, доповненими вимогами, що стосуються конкретних умов на площадці.

Під час експлуатації ВЕУ працівники повинні дотримуватися регламенту запуску та відключення, операцій щодо усунення аварійних ситуацій та їх запобігання.

Перед запуском ВЕУ, після незапланованого автоматичного відключення, слід з'ясувати причину цього відключення. Усі незаплановані відключення повинні реєструватися.

Під час проведення робіт у гондолі ВЕУ повинен бути встановлений зв'язок з працівником, який знаходиться нагорі.

Для передачі невеликих предметів працівникам, які знаходяться нагорі ВЕУ, слід використовувати нескінченний канат (мотузку, шнур), за необхідності – з кошиком. Забороняється використовувати для цього металевий канат. Кидати будь-які предмети нагору (вниз) забороняється.

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						62
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час виконання робіт на механічній та (або) електричній частині ВЕУ слід забезпечити цілісність захисного заземлення.

Для визначення технічного етапу заземлюючих пристроїв проводяться:

- зовнішній огляд їх видимої частини;
- огляд з перевіркою цілісності кіл електричної схеми між заземленням і елементами, які заземлюються.

Кількість працівників, які одночасно знаходяться на одній ВЕУ під час її технічного обслуговування, визначається інструкцією заводу-виробника, але не менше двох.

Виняток становлять ВЕУ малої потужності, у яких доступ до механізмів і апаратури, розташованих нагорі, здійснюється ззовні. У цьому випадку знизу має здійснюватися нагляд за працюючим на висоті.

Під час пересування по драбині башти уверх (вниз) на кожній секції драбини не повинно бути більше однієї особи.

У разі необхідності подачі напруги на ВЕУ (або її складову частину), для перевірки обладнання в процесі технічного обслуговування чи ремонту, слід діяти згідно з вимогами відповідної інструкції з експлуатації.

При штормовому попередженні з метеостанції, при сильній грозі або вітрі, який за швидкістю перевищує допустимі значення для безпечної роботи ВЕУ, установки зупиняються, а також припиняються будь-які роботи на ВЕУ. В цей час знаходження працівників на площадці ВЕС заборонено.

### **7.3 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях**

У тих випадках, коли існує загроза пожежі чи ризик руйнування ВЕУ або її складових частин, забороняється наближатися до ВЕУ, доки не буде з'ясовано потенційний ризик.

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						63
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час підготовки плану дій щодо ліквідації аварійної ситуації необхідно пам'ятати, що ризик руйнування конструкції посилюється за наявності таких ситуацій:

- перевищення швидкості вітру понад допустиму;
- обледеніння;
- грози;
- землетрусу;
- обриву проводів;
- відмови гальмів;
- незбалансованості ротору;
- ослаблення кріплень;
- дефекту змащення;
- піщаних бурь;
- пожежі, повені;
- виходу із ладу окремих вузлів чи деталей ВЕУ.

У разі потреби порушення цілісності заземлення, необхідно попередньо встановити перемички, які шунтуватимуть місця тимчасового розриву.

Основні дії працівників в разі виникнення аварійних ситуацій

В разі виникнення аварійної ситуації на ВЕС слід терміново попередити керівників ВЕС, а також керівників районних електричних мереж об'єднаної енергосистеми про ситуацію на ВЕС а причини збоїв у роботі.

В свою чергу керівництво ВЕС повинно також володіти ситуацією, яка склалася в об'єднаній енергосистемі при порушеннях режиму та виникненні нештатних ситуацій.

Зв'язок між ВЕС та об'єднаною енергосистемою здійснюється за допомогою телефону.

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						64
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		





## Висновок

Під час виконання даної бакалаврської роботи були описані та вирішені всі поставлені задачі по реалізації встановлення 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, які надають такі послуги як: передпроектні роботи (попередня оцінка вітропотенціалу, можливості підключення до електричних мереж, тощо, вибір місця для встановлення тощо); відведення земельних ділянок для будівництва; розробка техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) схеми видачі потужності; отримання технічних умов приєднання до зовнішніх електричних мереж; виконання повного комплексу проектних робіт; вибір та поставка основного обладнання; будівельно-монтажні та пусканалагоджувальні роботи; введення об'єкта в експлуатацію; тощо.

За попередніми розрахунками підприємства були вибрані три вітрогенератори WH20.8–100kW потужністю по 100кВт. Термін окупності склав 12 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 приноситиме лише додатковий прибуток для підприємства.

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						66
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

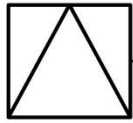
## Список літератури

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. Циленков ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.
5. Голубенко Н. С., Довгалюк 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. 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
8. Бубенчикова Т. В. ВЫБОР ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ВЭУ / Т. В. Бубенчикова, В. О. Молодых, А. И. Руденок и др. // Международный научно-

					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						67
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- исследовательский журнал. — 2017. — № 12 (54) Часть 3. — С. 43—50. — URL: <https://research-journal.org/technical/vybor-elektrogeneratorov-dlya-veu/> (дата обращения: 13.05.2021. ). doi: 10.18454/IRJ.2016.54.212
9. Сидельников Б.В. Современное состояние и сравнительный анализ конструктивных схем ветрогенераторов /Б. В. Сидельников // Вестник Щецинского технического университета, Польша, 2001.
  10. 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).
  11. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х: Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.
  12. Каталог продукции ТМ ПРЕМКО
  13. 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
  14. Интернет ресурс. Доступ за посиланням: <http://www.ecosvit.net/ua/zeleniy-tarif>
  15. Альтернативні джерела енергії. Енергія вітру : навч. посіб. / С. В. сиротюк, В. М. Боярчук, В. П. Гальчак. – Львів : «магнолія 2006», 2018. – 182 с
  16. УДК 349.24:620.97 О. М. Пархоменко, асп Харківська національна академія міського господарства.
  17. Серіков Я.О., Пархоменко О.М. Виробничий травматизм та професійні захворювання на вітроелектричній станції / Зб.тез «Охорона праці та соціальний захист працівників». - К.; 2008., с.4

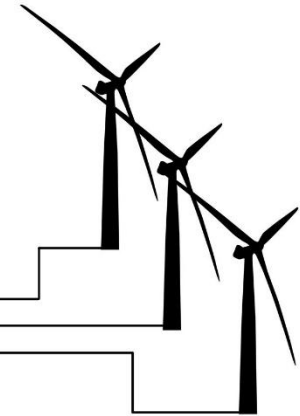
					БР 3.6.141.323 ПЗ	Лист
						68
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



ПС 35/10кВ  
"Опитна"

ПЛ-10кВ  
АС-50, L=2км

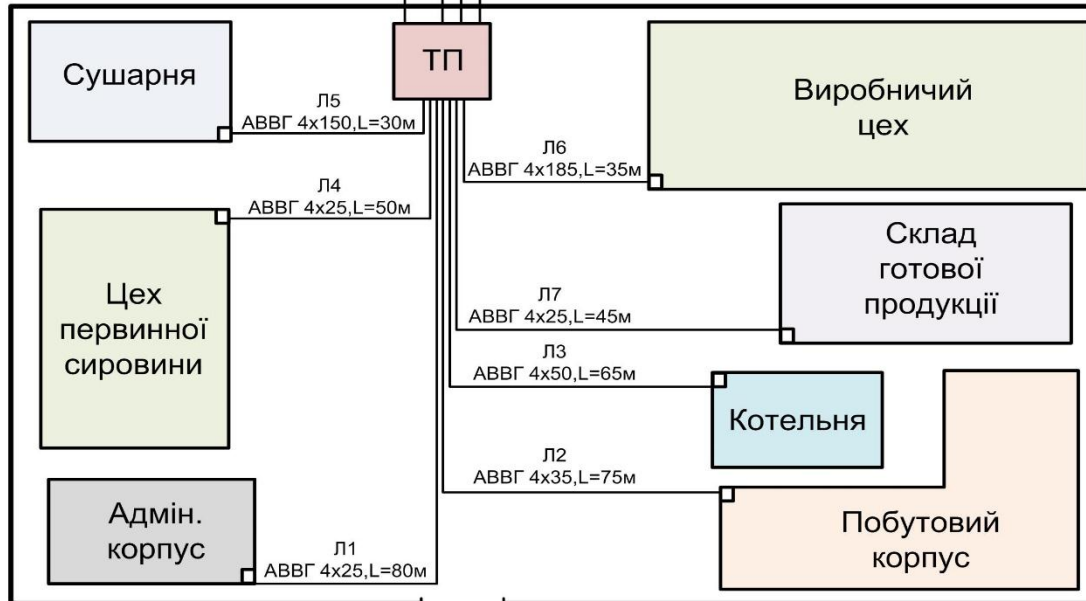
Пункт  
керування  
генераторами



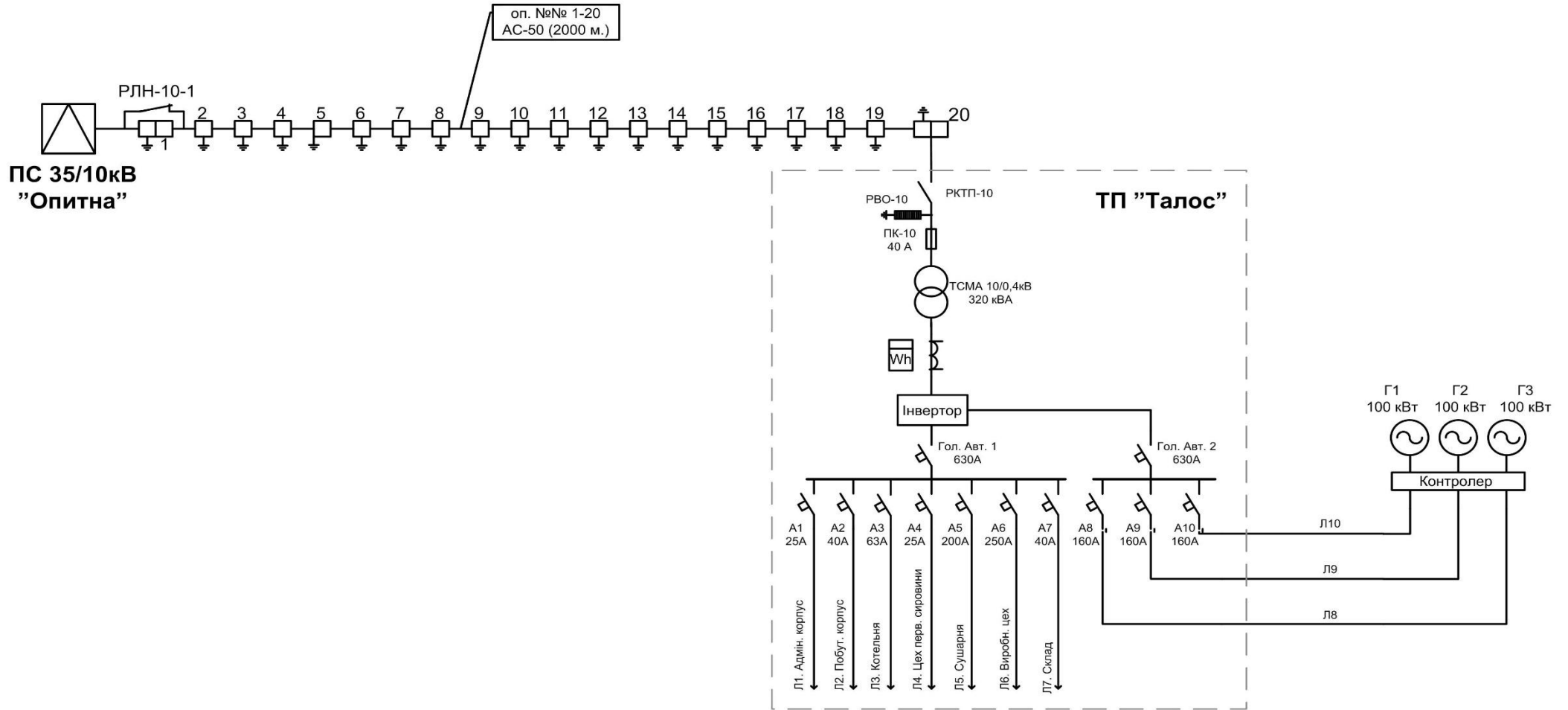
Л8  
АВВГ 4x120, L=340м

Л9  
АВВГ 4x120, L=340м

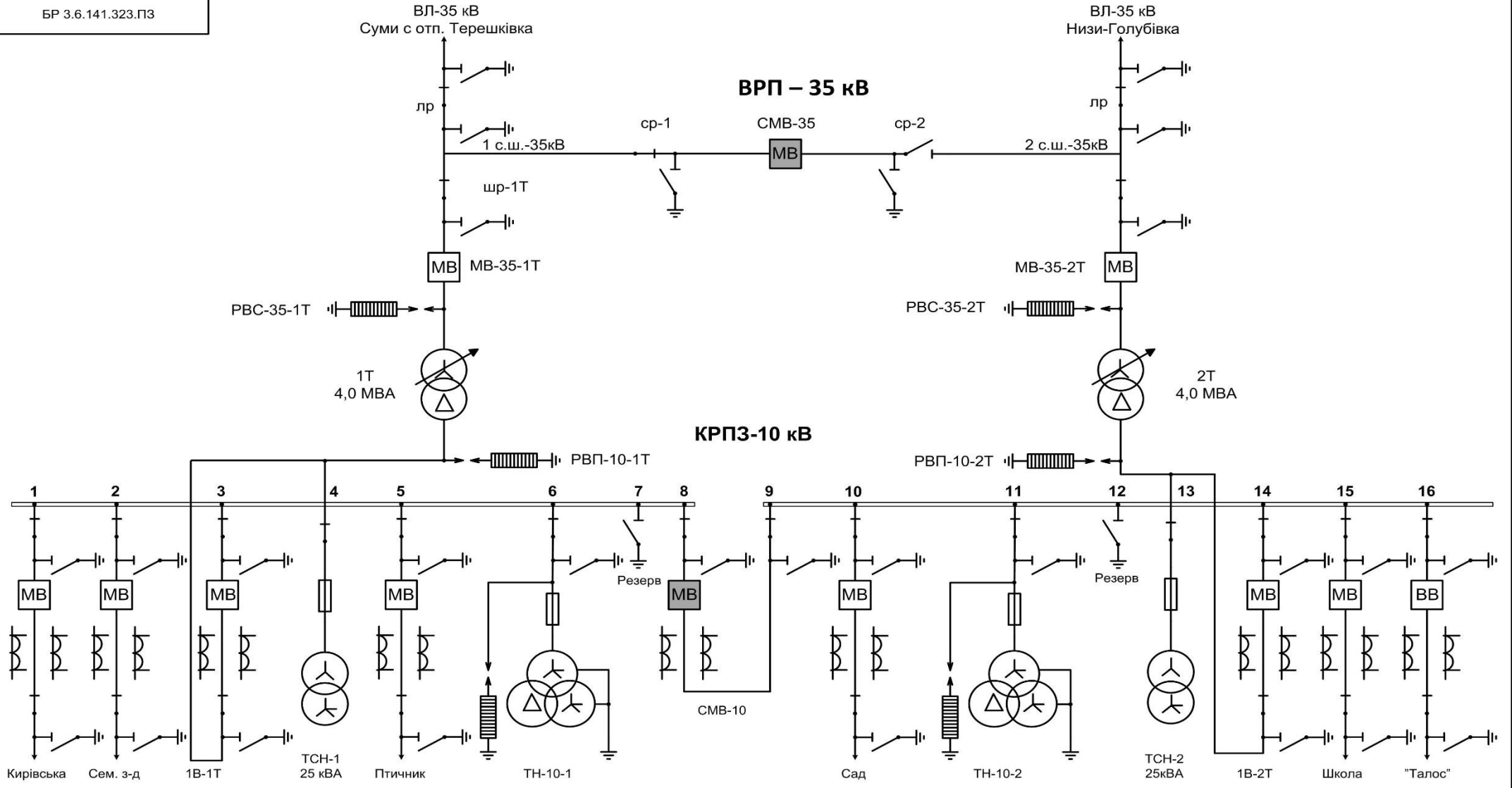
Л10  
АВВГ 4x120, L=340м



				БР 3.6.141.323.ПЗ				
Зм.	Арк.	№ док.	підпис	дата	План-схема розташування об'єктів живлення підприємства „Талос“	літера	маса	масштаб
Розроб.	Горбуль А.В.					Б		
Керівник	Дяговченко І.М.					арк.	1	аркушів 3
Зав. кафедри	Лебединський І.Л.				СумДУ каф.Електроенергетики			



				БР 3.6.141.323.ПЗ				
Зм.	Арк.	№ док.	підпис	дата	Однолінійна схема живлення підприємства "Талос"	літера	маса	масштаб
						Б		
						арк.	2	аркушів
кафедри		Лебединський І.Л.				СумДУ каф.Електроенергетики		



				БР 3.6.141.323.ПЗ			
				літера		маса	масштаб
Зм. Арк. № док. підпис дата				Б			
Розроб. Горбуль А.В.				арк. 3		аркушів 3	
Керівник Дяговченко І.М.							
Зав. кафедри Лебединський І.Г.				СумДУ каф.Електроенергетики			