

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА
ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ
ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»
КАФЕДРА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

Пояснювальна записка

до дипломного проекту
магістра

на тему : **Проектування вітрогенераторної установки для
Національного університету «Полтавська політехніка імені
Юрія Кондратюка»**

Виконав: студент 2
курсу, групи 601МНТ
спеціальності

_____ 144 Теплоенергетика _____

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

_____ Салашний В.М. _____

(прізвище та ініціали)

Керівник Кутний Б.А.

(прізвище та ініціали)

Зав.кафедрою Голік Ю.С.

(прізвище та ініціали)

Полтава – 2025 року

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Інститут, факультет, відділення Навчально-науковий інститут нафти і газу

Кафедра теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Спеціальність 144 - Теплоенергетика

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, голова
циклової комісії Голік Ю.С.

"__" _____ 2024 року

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ
СТУДЕНТА**

Салашний Володимир Миколайович

Тема проекту: Проектування вітрогенераторної установки для Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

1. Керівник проекту Кутний Б.А. д.т.н.проф. кафедри ТГВтаТ
затверджені наказом вищого навчального закладу № _____ року

					601-МНТ.105784 14.КМР			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<u>Салашний В.М</u>			Проектування вітрогенераторної установки для Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<u>Кутний Б.А.</u>					<u>2</u>	<u>78</u>
<i>Зав.кафедри</i>		<u>Голік Ю.С</u>				<u>НУПП ім Ю.Кондратюка</u>		
								4

1. Строк подання студентом проекту 20.01.2025 р.

2. Проектування вітрогенераторної установки для Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Провести аналіз з існуючих рішень при встановленні вітрогенератора та обрати актуальний під потреби університету.

3. Вступ. Актуальність встановлення вітрогенераторних турбін для освітнього процесу. Основні аспекти актуальності це практичне навчання та отримання практичних навичок у відновлювальній енергетиці. Види вітрогенераторів Наземні вітрогенератори, Офшорні вітрогенератори (морські) Малі та мікро вітрогенератори. Висновок з огляду літератури. Розробка технічного проекту. Додаткове обладнання для вітроелектростанцій. Аналіз та типи щогл для встановлення вітрогенераторів та порівняння конструкцій. Щогла із труб на розтяжках. Фундамент. Визначення основних параметрів. Визначення сили вітру та динамічного тиску. Розрахунок натягу в розтяжках щогли. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновок

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1 лист: Ілюстративні матеріали до дипломної роботи, 2 лист: Схема с кресленнями вузлів, 3 лист: Схема з кресленнями щогли, 4 лист: Аналіз вітрового потенціалу, 5 лист: Схема з встановлення щогли, 6 лист: Електрична схема об'єкта електроустановки, 7 лист: Схема роботи контролера, 8 лист: Конструкційні елементи, 9 лист: Монтажна площа щогли, 10 лист: Висновки.

4. Дата видачі завдання 01.09. 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розробка схеми енергетичної установки	02.09 – 16.09 2024 р.	
2	Аналіз енергетичних установок та її монтаж	16.09 – 31.09 2024 р.	
3	Концептуальний план щогли	01.10 – 30.10 2024 р.	
4	Розроблення креслень та розрахунків	02.11 – 29.11 2024 р.	
5	Розрахунок та висновки виходячи із даних	04.12 – 28.12 2024 р.	
6	Оформлення дипломної роботи	08.01 – 19.01 2025 р.	

Студент

_____ (підпис)

Салашний В.М

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник проекту

_____ (підпис)

Кутний Б.А.

_____ (прізвище та ініціали)

									Арк.
									3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	601-МНТ.10578414.КМР				

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра присвячена Проектування вітрогенераторної установки для Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Актуальність встановлення вітрогенераторних турбін для освітнього процесу

Основні аспекти актуальності це практичне навчання та отримання практичних навичок у відновлювальній енергетиці для потреб освітнього процесу. В даній магістерській роботі ми зробимо огляд видів вітрогенераторів та аспекти їх особливостей.

Для проектування та розробки концептуального та конструкційного рішення зробимо аналіз як кошторисі так і часі. Також після монтування вітрогенераторної установки потрібно мати ще додаткове обладнання яке потрібно встановити та мати ще на етапі створення проекту.

Визначення силу вітру та попередній аналіз генерації від вітро-електрогенератора.

Ключові слова: вітрогенератор, щогла, вітер, сила вітру, електрогенерація.

ABSTRACT

The master's qualification work is devoted to the Design of a wind turbine installation for the National University "Poltava Polytechnic named after Yuriy Kondratyuk"

The relevance of installing wind turbines for the educational process

The main aspects of relevance are practical training and obtaining practical skills in renewable energy for the needs of the educational process. In this master's work, we will review the types of wind turbines and aspects of their features.

To design and develop a conceptual and structural solution, we will analyze both the cost and time. Also, after installing the wind turbine, you need to have additional equipment that needs to be installed and have it at the stage of creating the project.

Determination of wind force and preliminary analysis of generation from a wind power generator.

Keywords: wind turbine, mast, wind, wind power, electricity generation.

					<i>601-МНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

- 1.1. Актуальність встановлення вітрогенераторних турбін для освітнього процесу
- 1.2. Основні аспекти актуальності це практичне навчання та отримання практичних навичок у відновлювальній енергетиці.
- 1.3. Види вітрогенераторів
- 1.4. Наземні вітрогенератори
- 1.5. Офшорні вітрогенератори (морські)
- 1.6. Малі та мікро вітрогенератори
- 1.7. Висновок з огляду літератури

2. ОСОБЛИВОСТІ ХАРАКТЕРИСТИК ВІТРОГЕНЕРУЮЧИХ УСТАНОВОК ТА ПАРАМЕТРИ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ

- 2.1. Розробка технічного проекту
- 2.2. Додаткове обладнання для вітроелектростанцій
- 2.3. Аналіз та типи щогл для встановлення вітрогенераторів та порівняння конструкцій.
- 2.4. Щогла із труб на розтяжках

3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЙНИХ РІШЕНЬ

- 3.1. Фундамент
- 3.2. Визначення основних параметрів
- 3.3. Визначення сили вітру та динамічного тиску
- 3.4. Розрахунок натягу в розтяжках щогли

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5. ВИСНОВОК

6. СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

					<i>601-МНТ.105784.14.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Актуальність встановлення вітрогенераторних турбін для освітнього процесу

Сучасна освіта вимагає інтеграції теоретичних знань з практичними навичками, особливо у сферах інженерії, енергетики та екології. Встановлення вітрогенераторних турбін у навчальних закладах має безпосереднє відношення до цих вимог і є важливим етапом у формуванні професійно підготовлених кадрів для енергетичного сектору та для розвитку як лабораторної бази університету для вивчення відновлювальних джерел енергії так і для здебільшого професійних навичок.

2 серпня 2019 року за наказом Міністра освіти і науки України Лілії Гриневич Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка перейменовано на Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Зміна торкнулася не лише назви, а й змісту діяльності закладу: університет із потужного технічного вишу став багатoproфільним європейським університетом класичного типу. Сьогодні студенти мають можливість мати мистецтво, філологію, право, фінанси, економіку, технічні дисципліни, займатися спортом, інтелектуально та духовно.

2020 рік став першим етапом в історії університету: заклад відзначив своє 90-річчя. Це стало підсумком розвитку, де вдало разом із новими ідеями, пов'язано освітні традиції, багаторічні досягнення та сучасні технології. Кампус університету відповідає стандартам європейського рівня, пропонуючи комфортне середовище для навчання і створює всі можливі умови для опанування студентами закладу вищих технічних наук.

Університет отримав сучасну матеріально-технічну базу завдяки залученню інвестицій від міжнародних компаній. Молодь має змогу працювати з 3D-моделюванням, робототехнікою, проводити наукові дослідження, займатися спортом, створювати стартапи та навіть починати власний бізнес.

					<i>601-МНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Основні аспекти актуальності це практичне навчання та отримання практичних навичок у відновлювальній енергетиці.

Що в свою чергу підіймає ентузіазм як у викладачам так і студентам

Отримати практичний досвід у проектуванні, монтажі та експлуатації енергетичних установок.

Вивчати роботу систем управління вітроенергетичних установок у реальному часі таких як генерація електроенергії вплив різних факторів, типи та види вітрогенераторів для різних потреб.

Проводити експерименти та аналізувати вплив різних факторів (швидкість вітру, конструктивні особливості турбін тощо) на ефективність роботи обладнання.

1. Інноваційність освітнього процесу

Впровадження відновлюваних джерел енергії в навчальний процес відображає світові тренди в галузі «зеленої» енергетики. Це підвищує конкурентоспроможність навчального закладу та його випускників.

2. Мотивація до досліджень

Наявність вітрогенераторів сприяє:

Стимулюванню студентів і викладачів до розробки нових технологій у галузі відновлюваної енергетики.

11

Проведенню досліджень, які можуть отримати фінансування від екологічних і наукових фондів.

3. Формування екологічної свідомості

Демонстрація ефективності відновлюваних джерел енергії сприяє розвитку екологічної культури серед студентів, викладачів і громади. Молодь усвідомлює важливість збереження довкілля та впровадження сталих технологій.

Арк.

601-МНТ.10578414.КМР

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

4. Економічна вигода

Вироблена турбінами електроенергія може використовуватися для потреб навчального закладу, знижуючи витрати на енергоспоживання. Зекономлені кошти можна спрямувати на розвиток навчальних і дослідницьких програм.

5. Підготовка до професійної діяльності

Зростання потреби у фахівцях із відновлюваної енергетики робить цей напрям навчання стратегічно важливим. Практика на реальних об'єктах дає випускникам необхідний старт у професії.

Приклади успішного використання

Світова практика демонструє численні приклади використання вітрогенераторів у навчальних закладах:

Університети Європи, такі як Технічний університет Данії, активно впроваджують вітроенергетику в освітні програми, поєднуючи теоретичні заняття з практичною роботою на реальних турбінах.

У США вітрогенераторні турбіни встановлюються на територіях університетів для навчальних і дослідницьких цілей.

Висновок з вступу

Встановлення вітрогенераторних турбін у рамках освітнього процесу має важливе значення для¹² формування майбутніх фахівців із відновлюваної енергетики, сприяє популяризації екологічних технологій і забезпечує освітні установи інструментами для інтеграції інновацій у навчальний процес. Такий підхід підвищує якість освіти та робить внесок у сталий розвиток суспільства. Проект встановлення вітрогенератора сприятиме популяризації відновлюваних джерел енергії серед студентів і викладачів. Окрім того, проект має важливу освітню складову, адже студенти матимуть змогу безпосередньо вивчати роботу вітроенергетичного обладнання та отримувати практичні навички.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	601-МНТ.10578414.КМР				

Цілі проекту

1. **Виробництво екологічно чистої енергії** для популяризації нової генеруючої лабораторної установки університету.
2. **Навчальна та наукова складова:** створення бази для проведення досліджень і практичних занять.
3. **Формування екологічної свідомості** серед студентів і співробітників.

Етапи реалізації

1. Дослідження території:

- Вибір найбільш сприятливого місця для встановлення вітрогенератора з урахуванням рельєфу, рівня вітру та відсутності перешкод.
- Проведення аналізу вітрового потенціалу на території університету. Дослідження території для встановлення вітрогенераторів та їх види.

Вибір місця для встановлення вітрогенераторів є ключовим етапом реалізації проекту, адже від правильної оцінки території залежить ефективність роботи установки. Дослідження території включає аналіз природних умов, інфраструктури та типу установки, що найкраще відповідає потребам проекту.

1.3. ВИДИ ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ

1.4. Наземні вітрогенератори¹³

Характеристика: встановлюються на відкритих територіях із хорошим вітровим потенціалом.

Особливості:

Як безкоштовне джерело енергії вітер доступний у необмежених кількостях. Енергія вітру відноситься до відновлюваних джерел енергії і, отже, є екологічно чистою та регенеративною, тобто самовідновлюваною формою

					601-МНТ.10578414.КМР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробництва енергії. Іншими формами відновлюваних джерел енергії є виробництво електроенергії з води, сонця чи біомаси.

Які типи вітрогенераторів є?

В даний час існують різні типи вітряних турбін, дуже груба різниця проводиться між вітряними турбінами з горизонтальною або вертикальною віссю.

Вітрогенератори з горизонтальною віссю

Тип вітряних турбін, що найбільш широко використовується, сьогодні встановлюється в усьому світі, від невеликих домашніх електростанцій до величезних вітряних електростанцій промислового виконання.

Вітрогенератори з горизонтальною віссю використовують для своєї роботи принцип плавучості, те саме фізичне явище, яке утримує в повітрі сучасні літаки.

У вітроенергетичній установці з горизонтальною віссю кінетична енергія обтічних повітряних мас перетворюється на механічну енергію лопатей ротора, що обертаються.

У разі тихохідних роторів останній з'єднаний через редуктор з електричним генератором, в якому механічна енергія перетворюється на електричну на основі електромагнітної індукції.

					<i>601-мНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

швидкості 15 м/с, а при швидкості вітру вище 25 м/с вітрогенератори зупиняються для запобігання пошкодженням.



Малюнок 2. Поле ВЕС встановлених в океані.

Вітряні турбіни з горизонтальною віссю становлять більшу частину промислового обладнання. Діаметр ротора найбільшого їх досягає 160 метрів, ККД приблизно 45%.

Вони складаються з дволопатевого, але частіше трилопатевого гребного гвинта, валу, редуктора та електрогенератора. Все це обладнання знаходиться в гондолі, що обертається на вершині сталевій або залізобетонній вежі.

Для невеликих турбін поворот проти вітру здійснюється за допомогою невеликої лопаті, більші та потужніші турбіни повертаються проти вітру за допомогою серводвигунів, керованих керуючою електронікою відповідно до датчиків напрямку вітру.

Більшість вітряних турбін з горизонтальною віссю спрямовано проти вітру по відношенню до вежі, тому що сама вежа викликає небажану турбулентність, коли її повітря обтікає. Незважаючи на цей недолік, будувалися і турбіни з робочими лопатями за опорною вежею, оскільки вони не потребували системи

					601-МНТ.10578414.КМР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Малюнок 4. ВЕС з вертикальною віссю.

Одним з варіантів турбіни Дар'ї є вітряк з Н-подібним ротором, він простіше у виготовленні, оскільки використовує прямі вертикальні лопаті, але їхнє кріплення має бути міцнішим для значних відцентрових сил.

Щоб уникнути неприємних пульсацій, турбіни Дар'ї іноді будують із лопатями ротора, нахиленими по спіралі. Це створює рівномірний крутний момент. Її робота заснована на принципі плавучості. Профілі рухаються в повітрі, що обтікає, навколо осі несучого гвинта по круговій траєкторії з нульовим кутом атаки.

18

Швидкість повітря щодо обертання крила векторно додається до швидкості вітру так, що результуючий повітряний потік створює невеликий позитивний кут атаки на крило.

					601-мНТ.10578414.КМР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Малюнок 5. ВЕС в приватному домогосподарстві з вертикальною віссю.

Перевагою вертикальних турбін Дар'ї є простота обслуговування, оскільки всі механізми розташовані низько до землі. Йому також не потрібен механізм повороту на напрямок вітру, він практично не залежить від напрямку вітру. Однак, з іншого боку, для первинного обертання ротора потрібне зовнішнє джерело.

До недоліків цього вітроподвигуна можна віднести гіршу керованість, пульсуючий цикл потужності, що призводить до резонансів, і великі відцентрові сили, що діють на ротор. Через це вони набагато динамічніше навантажені, ніж турбіни з горизонтальною віссю, що в кінцевому підсумку скорочує термін їхньої служби. Ще один варіант — вітряні турбіни з ротором Савоніуса, які можуть використовуватися тільки як повітряні насоси через їх низьку швидкість і малу потужність.

Вітряна турбіна Савоніуса найчастіше складається з двох напівциліндрів, що взаємно обертаються, поздовжньо прикріплених до вертикальної осі, що утворюють у поперечному перерізі букву S.

					<i>601-МНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Малюнок 6. Вітряна турбіна Савоніуса.

Виходячи з різного коефіцієнта опору увігнутої та опуклої поверхні напівциліндрів, вітер робить значно більший тиск на опуклу лопатку (напівциліндр) і таким чином розкручує ротор турбіни.

Вісь обертання перпендикулярна до напрямку повітряного потоку. Внутрішні краї лопатей злегка перекиваються у центрі обертання, дозволяючи повітрю проходити з-поміж них.²⁰

Ротор турбіни Савоніуса обертається відносно повільно, але забезпечує високий момент, що крутить. Ці властивості визначають його в першу чергу для перекачування води та помелу зерна, а не для виробництва електроенергії.

В історичній машині "вітряному насосі опору" вітер упирається в поверхню відповідним чином повернутих лопат робочого колеса, і аеродинамічний опір обертає вал машини. Потім обертальний рух валу перетворюється на вертикальний рух поршня насоса. Ці турбіни не такі ефективні, як турбіни, засновані на принципі плавучості, але їх виробництво не так складно і дорого.

					<i>601-МНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Малюнок 9. ВЕС офшорного типу.

Досить перспективним рішенням є офшорні вітряні електростанції, які будують у морі приблизно за 10 кілометрів від берега.

Таке розміщення втерогенераторів не вимагає використання значних земельних ресурсів та забезпечує високий ККД за рахунок регулярних та сильних морських вітрів. Дані електростанції будують на шельфових ділянках моря, що мають малу глибину.

Вітрогенератори монтують на пальових фундаментах. Природно, що подібна конструкція коштує значно дорожче, ніж традиційна наземна.

Плаваючі вітряні електростанції відкривають нову сторінку в історії альтернативної енергетики. Перший великий проект такого роду було реалізовано у Норвегії влітку 2009 року.

Норвезька компанія StatoilHydro сконструювала вітрогенератори для великої глибини. Демонстраційну версію потужністю 2,3 МВт було представлено у вересні 2009 року. Турбіна під назвою Nuwind з вагою 5300 тонн та висотою 65 метрів знаходиться за 10 кілометрів від південно-західного берега Норвегії.

Висота вежі вітрогенератора становить 65 метрів, яке підводна частина йде на глибину в 100 метрів. Для стійкості вежі вітрогенератора та його занурення на потрібну глибину застосовується баласт. З метою запобігання вільному дрейфу вся конструкція заякорена трьома тросами.

					<i>601-мНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Яке місце ідеально підходить для вітрових турбін?

Нефахівцеві здається, що там, де дме сильний вітер, оптимально розташувати вітряк. Однак часто доводиться брати до уваги широкий спектр факторів: інфраструктура електромережі та доріг чи несприятливі кліматичні умови, такі як екстремальні температури, можуть знецінити вітряне місце.

Визначення оптимального місця для однієї або декількох вітряних турбін спочатку включає точне обстеження майданчика.

Для рівнинної місцевості та прибережних районів такі звіти можуть бути розраховані за усередненими даними, які часто доступні. Основою для цього є дані звичайних вимірювань вітру районних метеослужб.

Атласи вітру можна також використовувати для планування вітряної турбіни або вітряної електростанції. Під час розрахунку необхідно враховувати будинки, дерева, насипи землі чи інші місцеві перешкоди. Вони можуть вплинути на швидкість і напрям вітру і, отже, на кількість зеленої електроенергії, що виробляється.

Як правило, відстань від вітряної турбіни має бути як мінімум у 15-20 разів більшою, ніж висота існуючої перешкоди. В якості альтернативи можливо, що вітряк знаходиться вище за перешкоду.

Для внутрішніх районів чисто математичне визначення швидкості вітру зазвичай занадто неточно, оскільки цей метод майже враховує вплив пагорбів і пересіченої місцевості.

Після того, як значення вітру визначено, дані про погоду з найближчих вимірювальних станцій або дані з вітрів атласів порівнюються і перетворюються на типовий рік вітру.

Оскільки нерівна місцевість сповільнює вітер, то вище над землею вимірюється швидкість вітру. Щоб правильно записати вітер, ефективний для використання енергії, важливо виміряти висоту маточини запланованого вітряного двигуна.

					601-МНТ.10578414.КМР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вирішальний внесок у орієнтоване на майбутнє, стійке виробництво енергії та скорочення викидів CO₂. Тож це можливість зупинити зміну клімату.

Оскільки постійно встановлені вітряні електростанції явно заважають забудованій морській території, в цьому контексті також обговорюються питання захисту навколишнього середовища. Побоювання, наприклад, що ці вітряки серед моря можуть становити загрозу життю птахів, поки не виправдалися. Тварини адаптують свою поведінку.

В даний час проводяться подальші дослідження, такі як порушення рибних запасів, точніше їх почуття напряду та інших можливих наслідків навколишнього середовища.

Будь-які результати мають бути враховані у майбутніх планах щодо офшорних вітряних турбін. Крім того, лунають голоси, особливо з боку асоціацій, про те, що наземні вітряні турбіни, тобто наземні, можуть бути побудовані з меншими витратами. В даний час це найдешевший спосіб отримання електроенергії з відновлюваних джерел енергії.

Офшорна вітроенергетика має величезний потенціал, який, однак, поки що не може бути повністю використаний у всьому світі, оскільки в даний час морські вітряні електростанції можуть бути встановлені лише на морському дні на максимальній глибині води 50 метрів за економічно виправданих витрат. Це обмежує кількість відповідних морських районів.

Висота башти зазвичай від 50 до 150 метрів.

27

Потребують великих площ для забезпечення достатніх відстаней між турбінами в разі створення вітропарку.

Застосування:

Використовуються для виробництва електроенергії на великих фермах, промислових і навчальних об'єктах.

					601-МНТ.10578414.КМР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.5. Офшорні вітрогенератори (морські)

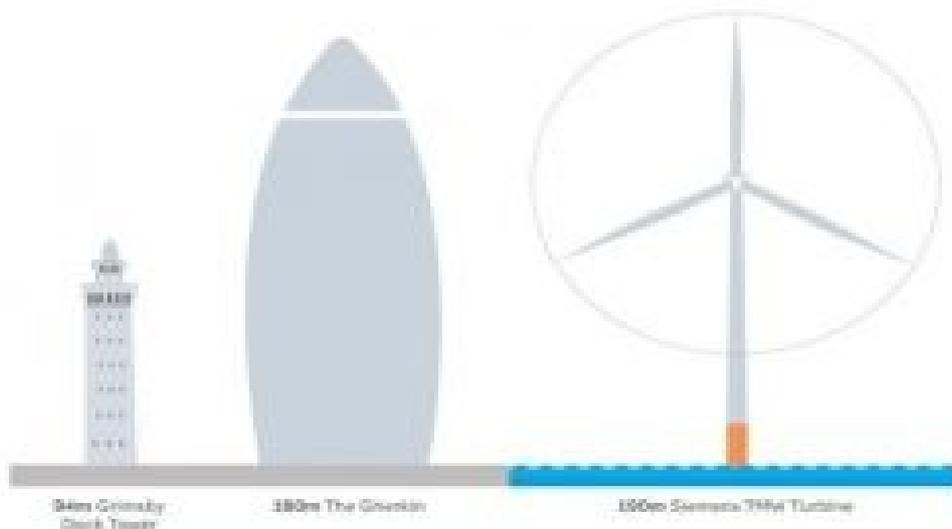
Термін "офшорна енергетика" давно втратив свій нафтовий запах. Нині під ним маються на увазі альтернативні джерела енергії: вітряні, хвильові, приливні електростанції. Технологічний розвиток сприяє активному розвитку офшорної вітроенергетики; у той час як потреба в екологічно чистій та рентабельній електроенергії актуальна як ніколи.

За даними World Forum Offshore Wind, 2018 став рекордним для галузі. Протягом року додалося майже 5 ГВт потужності, внаслідок чого загальна світова потужність офшорних Вітряних Електростанцій досягла 22 ГВт; і це не переділ. Організація World Forum Offshore (WFO) проголосила місію «500 у 50», спрямовану на встановлення морських станцій, здатних виробляти 500 ГВт енергії по всьому світу до 2050 року.

Отже, що ми знаємо про сучасну офшорну вітроенергетику? Як судноплавна галузь уживається з такою кількістю морських електроустановок? Чи стануть вітряки джерелом роздратування для морських фахівців, змушених постійно оминати прибережні електростанції, або вони створять нові можливості.

Цікаві факти про морські вітряні електростанції:

У світі налічується 5556 офшорних вітряних установок (ВЕУ).



Малюнок 11. Порівняння масштабів ВЕС з іншими мегабудівлями

					601-МНТ.10578414.КМР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільша у світі морська ВЕУ розпочала роботу 15 лютого 2019 року. Установка заввишки 190 м – перша із 174 вітряків, які будуть збудовані на території станції Hornsea One, розташованої за 120 км від узбережжя Йоркширу. Після завершення 2020 року вона вироблятиме електрику для мільйона будинків.

Більшість офшорних вітряних електростанцій розташовані в Німеччині, Данії, Великій Британії, Іспанії та інших європейських державах.

Проте Китай, Тайвань, Південна Корея та США активно включилися до програми будівництва морських ВЕС.

На даний момент морська вітряна електростанція на 90% дорожча, ніж спалювання викопного палива, і на 50% дорожча за атомну енергетику. Однак кожен вітряк працює 40 років і не виробляє токсичних відходів.

Морські вітряні установки виробляють на 50% більше енергії, ніж берегові вітряні ферми, завдяки вищій швидкості вітру в морі.

Соціологічні дослідження показали, що при виборі між двома проектами міська спільнота з більшою ймовірністю віддасть перевагу офшорній ВЕС з естетичних міркувань (принцип «з очей геть»).



Малюнок 12. Тральщик для встановлення ВЕС

					601-МНТ.10578414.КМР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільше та технічно досконале судно для встановлення ВЕУ буде спущене на воду у 2019 році. DP3 DEME Orion матиме довжину 216,5 метрів. Крім того, на ньому буде встановлений кран вантажопідйомністю 3000 тонн із вильотом стріли 170 метрів.

Перспективи офшорної вітроенергетики

Незважаючи на деякі технологічні та економічні труднощі при розробці проектів в індустрії офшорних вітрових електростанцій, спостерігається експоненційне зростання. Сьогодні, коли більші та досконаліші офшорні установки виробляють велику потужність, а технологію прокладання кабелів відпрацьовано, залучення інвесторів йде ще активніше. Більше того, уряди субсидують чи надають привілеї ВЕС у багатьох країнах.

Навіть якщо не брати до уваги оптимістичну місію WFO, нещодавно було опубліковано новий звіт Navigant Research, в якому стверджується, що в період між 2018 і 2027 роками. буде встановлено понад 69 ГВт нових офшорних вітрових потужностей, а до 2030 року. морськими ВЕС вироблятиметься 100 ГВт екологічно чистої енергії.



Малюнок 13. Процес встановлення ВЕС у океані.

					601-мНТ.10578414.КМР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Такий темп розвитку означає, що для досягнення своїх цілей галузь офшорної вітроенергетики поглинатиме багато робочої сили, що є чудовою новиною для професіоналів у всьому світі. Експерти вважають, що до 2030 року в ЄС у вітроенергетиці буде зайнято 479 000 осіб, з яких 294 000 – 61% від загальної кількості – припадатиме на офшорну вітроенергетику. У глобальному масштабі Global Wind Energy Council (GWEC) очікує, що до 2030 року у вітроенергетиці буде зайнято від 800 000 до 3 мільйонів осіб залежно від сценарію розвитку, що розглядається. Наприклад, до команди спеціальних суден, які беруть участь у будівництві морських вітряних електростанцій, входять приблизно 130 осіб; та таких судів на кожному проекті щонайменше три. Потім є фахівці, які споруджують та обслуговують ВЕУ. В даний час це ринок праці з безліччю вакансій.

Як офшорні ВЕС заважають судноплавству

Незважаючи на привабливі перспективи кар'єрного зростання, офшорна вітроенергетика – це не універсальний вибір. Більше того, для професійних моряків вітряки, що захаращують і без того перевантажені морські шляхи, швидше стануть на заваді.

Поки що не так багато нещасних випадків, пов'язаних із офшорними ВЕС. Найвідомішим із них є зіткнення допоміжного судна OMS Pollux із встановленням біля узбережжя Англії у серпні 2014 року. Жоден з 18 членів екіпажу не постраждав, але на судні стався витік палива. Тим не менш, експерти визнають, що невеликий відсоток аварій пояснюється тільки помірною кількістю морських вітряних електростанцій. зіткнення кожні 10 років. що вони не включили до своїх розрахунків людський фактор, який, безумовно, збільшить ймовірність аварії.

Навіть така статистика потребує корекції, адже у разі аварії танкера чи пасажирського судна наслідки одного зіткнення можуть бути катастрофічними. Тому зараз кожен проект офшорної ВЕС проходить процес Оцінки

					<i>601-МНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Навігаційного Ризику (Navigational Risk Assessment), а також Оцінку Впливу на Навколишнє Середовище (Environmental Impact Assessment). Однак лише Нідерланди виробляють NRA на урядовому рівні. Інші країни залишають оцінку ризиків розробникам проекту.



NRA – комплексне дослідження, яке визначає співіснування морської вітряної електростанції з місцевою судноплавною та рибальською промисловостями. Часто воно набуває форми офіційної оцінки безпеки, розробленої ІМО (FSA). Нещодавнє дослідження показало цікавий результат. Тільки 16% моряків знають про оцінки навігаційного ризику (Navigational Risk Assessment) для офшорних ВЕС, і серед цих 16% лише половина згодна з їхніми результатами.

Тим часом кожен NRA є досить цікавим документом, що містить карти AIS, можливі сценарії та розрахунки зіткнень між установками та суднами в найбільш завантажених навігаційних зонах. Наприклад, для вітряної електростанції Omø Syd у Данії прогноз такий: наявність ВЕС збільшила ймовірність посадити судно на мілину до 1 інциденту в 40 років, а ймовірність зіткнення між суднами тепер існує кожні 18 років.

					<i>601-МНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Навігаційна безпека

Нині триває активна дискусія у тому, як забезпечити навігаційну безпеку у районах морських вітряних електростанцій. Деякі моряки зазначають, що проблема перебільшена. ВЕС мають чітку світлову індикацію в нічний час і вибудовані чіткими рядами, тому прокладання курсу не складає труднощів. Але всі розрахунки показують, що зіткнення відбуватимуться іноді. Вчені підраховали, що якщо для порятунку дрейфуючих суден використовувати флот службових буксирних суден, то в деяких районах ймовірність зіткнення може бути знижена до 1 в 100 років, але ці розрахунки, як і раніше, не включають фактор людської помилки.

Тому інженери висунули ідею захисних оболонок із гуми чи сталі, які б захищали як самі установки, так і судна. Інші ідеї дизайну припускають використання гумового буфера, подушок із алюмінієвої піни та надувні конструкції із труб, які мають витримати зіткнення з кораблем. Однак деякі експерти, наприклад Louis Coulomb, голландський інженер-проектувальник, який спеціалізується на розробці вітряних установок, дотримуються протилежної точки зору. Він стверджує, що така захисна броня може важити до 130 тонн і коштуватиме як третину основи та турбіни. Таким чином, більш розумно заощадити на захисних заходах і дозволити установці впасти, не зашкодивши або пошкодивши судно у разі зіткнення.

Однак цей метод не підходить для ВЕУ останнього покоління, побудованих далеко від узбережжя, де море глибоке та бурхливе. Такі установки вищі (до 190 м) і підтримуються підводними триногами, а не крихкими одноопорними основами як на мілководді. Якщо судно вріжеться в одну з діагональних стійок триноги під невдалим кутом, у корпусі може утворитися серйозна пробоїна, навіть якщо вона подвійна. Наразі ведеться пошук вирішення цієї проблеми.

Розвиток офшорної вітроенергетики відбувається на наших очах. Технології досі удосконалюються, до будівництва підключаються нові країни, всі зацікавлені

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	601-МНТ.10578414.КМР				

сторони продовжують накопичувати досвід. Наприклад, кілька місяців тому вітряне співтовариство виявило, що досі не існує міжнародних стандартів стійкості проти циклонів та землетрусів для вітрових установок. Необхідність у такому документі стала очевидною, коли до будівництва офшорних ВЕС приєдналися азіатські країни. Так, наприклад, у провінції Гуандун у Китаї, яка протягом найближчих кількох років отримає 500 морських вітряних установок, протягом 2018 року було 18 тайфунів. Тепер DNV GL закликає зацікавлені сторони взяти участь у розробці такого стандарту.

Цей приклад демонструє, що індустрія альтернативної офшорної енергетики ще дуже молода, але за нею стоїть багато ресурсів та ініціатив. Технічні послуги.

Особливості:

Встановлюються у водах на певній відстані від узбережжя. Забезпечують стабільніший потік вітру.

Вимагають дорогих фундаментів і спеціальних технологій монтажу.

Застосування: здебільшого промислове, для великих енергетичних проектів.

1.6. Малі та мікровітрогенератори

Вироблення електричної енергії з використанням відновлюваних джерел – актуальна тенденція у розвитку енергетики. Добре відомі гігантські поля вітряків, де виробляється електроенергія великих міст. Тим не менш, останнім часом все більшу популярність завойовують вітряки, за допомогою яких виробляється електроенергія для індивідуальних споживачів, окремих будинків, ферма або навіть вуличний світильник. Особливо актуальними є такі вітрогенератори для Росії, на більшій частині території використання сонячних батарей для вироблення електроенергії дуже важко через короткий світловий день.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	601-МНТ.10578414.КМР				

Застосування енергії вітру історично було однією з перших спроб людства приборкати сили природи у своїх інтересах. Згадаймо хоча б знамениті вітряки, відомі з давнини. з низин. Власне, переважна більшість знаменитих голландських вітряних. млинів», які є одним із символів країни, насправді не мелють борошно, а є гігантськими насосами.

Вітряки з горизонтальною віссю

Вітряк, а також набули великого поширення вітрогенератори з трьома лопатями, відносяться до класу вітряків з горизонтальною віссю. У цих вітряках вітрове колесо (пристрій, призначений для перетворення кінетичної енергії поступального руху вітру на механічну енергію обертання) має вісь, що знаходиться в горизонтальній площині. Перевагою таких вітряків є можливість їх запуску без будь-якої додаткової дії, тільки від подиху вітру. Недоліком є необхідність орієнтувати вітряк у напрямку повітряного потоку. Ця проблема в індивідуальних генераторах вирішується за рахунок вільного обертання основи вітряка горизонтальною площиною і додавання «хвоста» до пристрою.

В результаті вітряк сам орієнтується у потрібному напрямку. Вітряки з горизонтальною віссю дуже громіздкі, до того ж, лопаті, що обертаються, здатні створити перешкоди засобам зв'язку і прийому аналогового телебачення. Зовнішній вигляд подібних вітряків, як то кажуть, «на любителя». Мало того, відомі випадки фобій у людей стосовно таких вітряків. Тим не менш, саме вітряки з горизонтальною віссю набули найбільшого поширення через високу ефективність і простоту конструкції. До того ж, малі вітрогенератори із горизонтальною коштують недорого. Вартість вітрогенератора такого типу приблизно дорівнює чисельному значенню потужності, вираженої у кВт, помноженій на 1200 дол. США. Це у 3-5 разів дешевше, ніж вартість сонячних батарей у перерахунку на одиницю потужності.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	601-МНТ.10578414.КМР					



Малюнок 14. Приклад вітряка із горизонтальною віссю малої потужності

Основна проблема вітрових станцій виникає в їх низькій ефективності при невеликих швидкостях вітру. Якщо важливо відобразити графік залежності потужності від швидкості вітру, то можна побачити, що стартова швидкість стандартних сучасних вітрових електроустановок (ВЕУ) зазвичай становить 3-4 м/с. Однак, щоб автоматика дозволила запуск ВЕУ, потік вітру має тривати на цьому рівні щонайменше 10 хвилин. При цьому значна генерація енергії починається лише за швидкістю 7 м/с, а ВЕУ, яка працює при середній швидкості 6 м/с, виробляє на 44% більше енергії, ніж за швидкість 5 м/с.

Деякто прагне зменшити мінімальну швидкість запуску турбіни до 1-2 м/с, аргументуючи це тим, що слабкий вітер буває завжди, і хоча б щось "капне" до акумуляторів. Проте, при такій швидкості вітер має вкрай мало енергії. Якщо генератор та вся система розрахована на 3-5 кВт, то 5-10 Вт від слабого вітру.

Тепер перейдемо до методів розрахунку системи із вітровими електростанціями. Купуючи обладнання, ви отримаєте інформацію про його номінальну потужність, а також знайдете в інструкції графік залежності вироблено

					<i>601-мНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З формули:

$$P = (\eta * K_{EB} * \rho * V^3 * \pi * D^2) / 8$$

впливає, що потужність вітрового потоку пропорційна кубу швидкості вітру і квадрату діаметра колеса турбіни. Це означає, що при подвоєнні швидкості вітру потужність потоку зростає у 8 разів, а при подвоєнні тривалості лопатей потужність вітрогенератора зростає у 4 рази.

Таблиця 1. Залежність виробленої електроенергії від швидкості вітру.

V м/с	3	4	5	6	7	8	9	10	11
P Вт d = 1м	3	8	15	27	42	63	90	122	143
P Вт d = 2м	13	31	61	107	168	250	357	490	650
P Вт d = 3м	30	71	137	236	376	564	804	1102	1467
P Вт d = 4м	53	128	245	423	672	1000	1423	1960	2600
P Вт d = 5м	83	196	383	662	1050	1570	2233	3063	4076
P Вт d = 6м	120	283	551	953	1513	2258	3215	4410	5866
P Вт d = 7м	162	384	750	1300	2060	3070	4310	6000	8000
P Вт d = 8м	212	502	980	1693	2689	4014	5715	7840	10435
P Вт d = 9м	268	635	1240	2140	3403	5080	7230	9923	13207
P Вт d = 10м	331	784	1531	2646	4200	6270	8930	12250	16300

Важливим моментом є те, що в режимі, що встановився, потужність вітряка не залежить ні від ширини лопатей, ні від їх кількості. Тим не менш, від ширини лопатей та їх кількості залежить пуск вітряка. Чим ці показники більші, тим менший подих вітру необхідно, щоб вітряк почав крутитися. Насправді,

					<i>601-МНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кількість і ширина лопат визначається компромісом між необхідністю зменшити навантаження на вісь вітряка і необхідністю забезпечити запуск вітрогенератора від невеликих поривів вітру.

Площа ометання пропорційна квадрату від розмаху лопатей, інакше називається діаметром вітрового колеса. Тому залежність потужності від діаметра вітрового колеса також має квадратичний характер. В індивідуальних вітрогенераторах з горизонтальною віссю розмах лопатей зазвичай лежить в межах від 1,2 до 7 м, що обмежує потужність, що генерується. Максимальне значення потужності сучасних малих вітрогенераторів становить 15 квт. Слід зазначити, що формула [1] дає потужність, яку виробляє вітрогенератор в заданий момент часу. Для обчислення середньої потужності, що виробляється вітрогенератором, потрібно знати статистику розподілу швидкостей вітру за часом доби для тих чи інших пір року.

Вітряки з вертикальною віссю

У таких генераторах вітрове колесо має вісь, що розташована у вертикальній площині. Головною перевагою вітряків із вертикальною віссю є те, що вони не вимагають орієнтації у напрямку повітряного потоку. Крім цього, вони, як правило, виглядають значно красивішими, ніж вітряки з горизонтальною віссю, що вкрай важливо для індивідуальних вітрогенераторів, які можуть розташовуватися в різних місцях. В якомусь сенсі вітряки з вертикальною віссю є окрасою пейзажу.

					<i>601-мНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Малюнок 14. Сучасна конструкція вітрового колеса з вертикальною віссю, здатна стартувати від вітру

Оскільки існує безліч різноманітних конструкцій вертикальних вітрогенераторів, їх потужність розраховується за складнішими формулами, ніж ці формули залежать від конкретної конструкції. Тим не менш, залежність, за якою потужність пропорційна кубу від швидкості вітру, тут також є.

Донедавна вітряки з вертикальною віссю вимагали додаткової дії для пуску. При цьому електрогенератор переводився в режим електродвигуна і запускав вітряк від енергії, накопиченої раніше в акумуляторі. Наразі створено конструкції вітряків, які самостійно запускаються від вітру.

Іншою проблемою є значно менший ККД вітряка з вертикальною віссю порівняно зі звичайним пропелером. Стосовно індивідуальних вітрогенераторів цей недолік компенсується тим, що ветроколесо практично не обмежується в розмірах з естетичних міркувань. Наприклад, при розміщенні на даху будівлі його можна зробити у вигляді високого циліндра і воно не псуватиме вигляд будівлі.

					<i>601-МНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У ряді європейських країн вітрогенератори з вертикальною віссю встановлюють на дахах житлових та адміністративних будівель та включають їх паралельно до електричних мереж. Вітрогенератори дозволяють зменшити рахунки за електрику.

Мультиплікатор

Найшвидше вітроколесо здатне дати швидкість обертання не більше 400 об/хв. У той же час найбільший ККД електричного генератора, як правило, досягається при частоті обертання близько 1000 об/хв. Тому на вітроелектростанціях, які обслуговують кількох споживачів, використовують так звані мультиплікатори — механізми, що передають обертання від вітроколеса до електричного генератора з підвищуючим коефіцієнтом. В індивідуальних вітрогенераторах мультиплікатори часто не використовуються. При цьому миряться зі зниженням ККД електричного генератора задля здешевлення конструкції.

Накопичення енергії

Потужність, що дає вітрогенератор, вкрай нестабільна, оскільки швидкість вітру постійно змінюється. Тому обов'язково використання акумулятора, в якому накопичується та поступово віддається у навантаження.

Для накопичення енергії зазвичай використовуються гелеві акумулятори (від слова «гель» - за принципом дії вони аналогічні кислотним, але електроліт знаходиться у вигляді желе) напругою 12 В. Іноді акумулятори послідовно з'єднують в батареї напругою до 120 В. Вітряк підключається до акумулятора через спеціальний контролер, керуючий процесом заряджання. Напруга 220 В з частотою 50 Гц, що подається споживачеві, виробляється за допомогою інвертора.

Захист від руйнування вітроколеса

При великій швидкості вітру може статися перевищення швидкості обертання вітроколеса понад допустиму норму, що призводить до його руйнування. Щоб

					<i>601-МНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

цього не відбувалося, генератор повинен перебувати під навантаженням. Якщо акумулятор повністю заряджений і немає навантаження, то до генератора підключається баластний резистор.

При штормовому вітрі у генераторів з діаметром вітроколеса до 2 м просто зупиняють лопаті, щоб уникнути їхньої поломки. При більшому розмірі лопатей вітроколесо повертається у горизонтальну площину. На великих вітроелектростанціях лопаті складаються.

Гібридна генерація

Великі вітроелектростанції розміщуються там, де вітер дме постійно, наприклад у прибережних зонах. На відміну від них, індивідуальні вітрогенератори розміщують поблизу споживача. І тут може виникнути ситуація, коли протягом кількох днів немає вітру із достатньою для нормальної роботи генератора швидкістю. Тому для забезпечення надійного безперебійного постачання електроенергії використовуються так звані гібридні системи, що поєднують кілька джерел енергії. Як правило, це комбінація з вітряка та сонячних батарей.



Малюнок 15. Контролер для гібридного електроживлення від вітряка та сонячної батареї китайської компанії Sunteams

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	601-МНТ.10578414.КМР				

Коли вітру немає, зазвичай немає хмар на небі, і можна використовувати енергію сонця.

Енергія від сонячних батарей та обох джерел накопичується в одному акумуляторі (або батареї акумуляторів) і віддається споживачеві за необхідності. Для управління процесами заряджання застосовується спеціальний двоканальний контролер. Більшість сучасних моделей контролерів для сонячних батарей є двоканальними та передбачають можливість використання у гібридних системах.

Застосування малої вітроенергетики

В даний час індивідуальні вітрогенератори широко використовуються в нашій країні для вироблення електрики у сільській місцевості. Мотиви для переходу на альтернативні джерела енергопостачання можуть бути різними — від зниження поточних витрат на електроенергію до прагнення уникнути величезних витрат на підключення нової будівлі. Причому вітрогенератори заводять не лише жителі небагатих сіл, які змушені заощаджувати на електроенергії, а й мешканці шикарних котеджних селищ, яким монопольні постачальники електроенергії виставляють величезні рахунки. Зрештою, є місця, де електрики немає, а прокласти лінії електропередач економічно не вигідно.

На деяких фермах вітрогенератори використовуються з метою зниження витрат, отже, зниження собівартості продукції. Необхідність безперебійного електропостачання диктує використання у таких місцях гібридних систем, що поєднують вітряк, бензогенератор і, якщо дозволяють засоби, сонячні батареї.

					<i>601-МНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Малюнок 16. Освітлювальна установка з гібридним живленням

Гібридні системи, що складаються із вітрогенератора з діаметром вітряного колеса близько 1,5 м та сонячних батарей площею 1-2 кв. м, можна використовувати для живлення світлодіодних світильників. Це дозволяє висвітлювати складні ділянки дороги та пішохідні переходи там, куди не вигідно чи просто неможливо підвести електроживлення. В умовах середньої смуги Росії така установка здатна забезпечити безперебійну цілорічну роботу світильника із споживаною потужністю 20-30 Вт у темний час доби.

Перспективи розвитку

Основним напрямом удосконалення малої вітроенергетики є розвиток вітрогенераторів із вертикальною віссю. Постійне вдосконалення вітряків дозволяє підвищити ККД, наблизивши його до значення цього параметра для вітряків з горизонтальною віссю.

					<i>601-мНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Малюнок 17. Серійно гібридна установка світлодіодного освітлення китайської компанії TIMAR, що випускається, оснащена вітряком з вертикальною віссю

Крім цього, великі переваги обіцяє використання для накопичення енергії конденсаторів великої ємності замість акумуляторів. Це дозволить підвищити ефективність систем харчування та знизити витрати на їх обслуговування.



Особливості

Компактні системи для автономного або локального використання також дуже підходять для навчально практичної бази з вивчення процесів генерації електроенергії утворення та особливостей.

Мають невелику потужність (до 10 кВт).

44

Встановлюються на дахах будівель або на невисоких щоглах.

Застосування

Для приватних будинків, освітніх закладів, де є обмеження щодо території.

Вибір типу вітрогенератора залежно від умов

					601-мНТ.10578414.КМР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Університетська територія

Для навчальних закладів, таких як Полтавський національний політехнічний університет, доцільним вибором є наземні малі вітрогенератори або мінітурбіни, які можуть бути встановлені на відкритих просторах чи на будівлях. Врахування доступного простору, якщо є обмеження щодо території, перевага надається компактним установкам, які легко інтегруються в міське середовище.

1.7. Висновок з огляду літератури

Правильно проведене дослідження території є запорукою ефективної роботи вітрогенератора. Вибір між наземними, офшорними чи малими турбінами залежить від наявних умов і потреб. Для освітнього процесу оптимальними є компактні рішення, які дозволяють поєднати навчальну функцію з демонстрацією сучасних технологій. Саме для наших потреб з огляду вищезаявлених вітрогенеруючих установок хочеться виділити малі вітрогенератори з горизонтальною віссю. Що нам буде дозволяти генерувати електроенергію саме цієї лабораторної установки при невеликих витратах площин або територій. Так як в свою чергу інші різновиди вітрогенераторів мають характеристики які нам навіть не дозволять встановити вітрогенеруючу установку в межах міста із за своїх колосальних розмірів та і логістики в межах міста таких комплектуючих взагалі неможливе.

2. ОСОБЛИВОСТІ ⁴⁵ ХАРАКТЕРИСТИК ВІТРОГЕНЕРУЮЧИХ УСТАНОВОК ТА ПАРАМЕТРИ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ

Що до особливостей видів вітрогенеруючих установок в контексті саме генерації електроенергії від них. Вітер за допомогою якого обертається ротор турбіни в місті Полтава має теж свої особливості такі як пориви вітру. Якщо нам для малого вітрогенератора комфортний вітер від 4 до 12 м/сек то навесні та в осінній період пориви вітру можуть складати навіть 30 метрів за секунду що в свою чергу може призвести до аварійної ситуації в роботі установки. Для великих вітрогенераторів та офшорних дещо була розроблена стабілізуючий механізм

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	601-МНТ.10578414.КМР					

Споживання електроенергії на місяць(кв/год) - всі в квартирі або будинку платять за електроенергію протягом місяця, і ця цифра маже Вам допомогти оцінити Ваші потреби. Ви можете приблизно порахувати цю цифру самостійно. наприклад:

1) лампочка (варто замінити на енергозберігаючу або світлодіодну) - 20Вт -100-ватний еквівалент звичайної лампочки накалу (1кВт - це 1000Вт, тобто 20 Вт - це 0,02кВт) горить 5 годин на день, тепер помножте потужність в кВт на кількість годин роботи в місяці- $0,02 * 5 * 30$ (днів у місяці) = 3кВт*годин роботи на місяць;

2) Для холодильник апотужністю 300Вт години роботи складають близько 30% дня, тобто 8 годин;

3) Електрочайник потужністю 1,5 кВт , який використовується 0,5 години на день - $1,5 * 0,5 * 30 = 22,5$ кВт-год/місяць.

Разом це становить $3 + 72 + 22,5 = 97,5$ кВт-год/місяць.

Це і є місячне споживання, яке в даному прикладі становитиме приблизно100кВт-год/міс.

2) Середня швидкість вітру в передбачуваному місці установки -можна дізнатися за допомогою ДСТУ (будівельна кліматологія). Для вибору інвертора необхідно своєчасно дізнатися максимальну (пікову) потужність споживання електрообладнання. Маючи такий показник, можна швидко і точно підібрати необхідне обладнання, звернувшись в організацію, що займається продажем вітрових електростанцій. Потужність вітрогенераторів сильно залежить від швидкості вітру. Тільки бензинові генератори можуть впоратися зі швидкістю вітру, зазначеною в паспорті. При слабкому вітрі (3-4м/с) вітрогенератор потужністю 5 кВт згенерує лише 0,1-0,2 кВт. Дуже часто покупці орієнтуються на максимальне (пікове) енергоспоживання і вимагають постійну потужність (наприклад, 5кВт, як у бензинових генераторів)- починаємо розбиратися і читати -а 0,5кВт постійної потужності виявляється достатньо для лампочок, холодильників, телевізорів і насосів, а це дві великі різниці. Споживання електроенергії потрібно оцінювати в кіловат-годинах на місяць. Однак середня

					<i>601-МНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потужність вітрогенератора не повинна визначатися середньорічною швидкістю вітру. В Україні атлас швидкості вітру, що містить дані про швидкість вітру яка часто використовується спостерігачами на цю тему, включає в себе “because-post”. Це статистика про напрямок вітру; вітрогенераторам байдуже, з якого напрямку і як часто дме вітер. Однак, вирішуючи, де розмістити вітрові турбіни, бажано враховувати відсутність перешкод, таких як високі будівлі або дерева, в основному напрямку вітру.

Для ефективної роботи вітрогенератор рекомендується встановлювати у регіонах із середньорічною швидкістю вітру від 4 м/с.

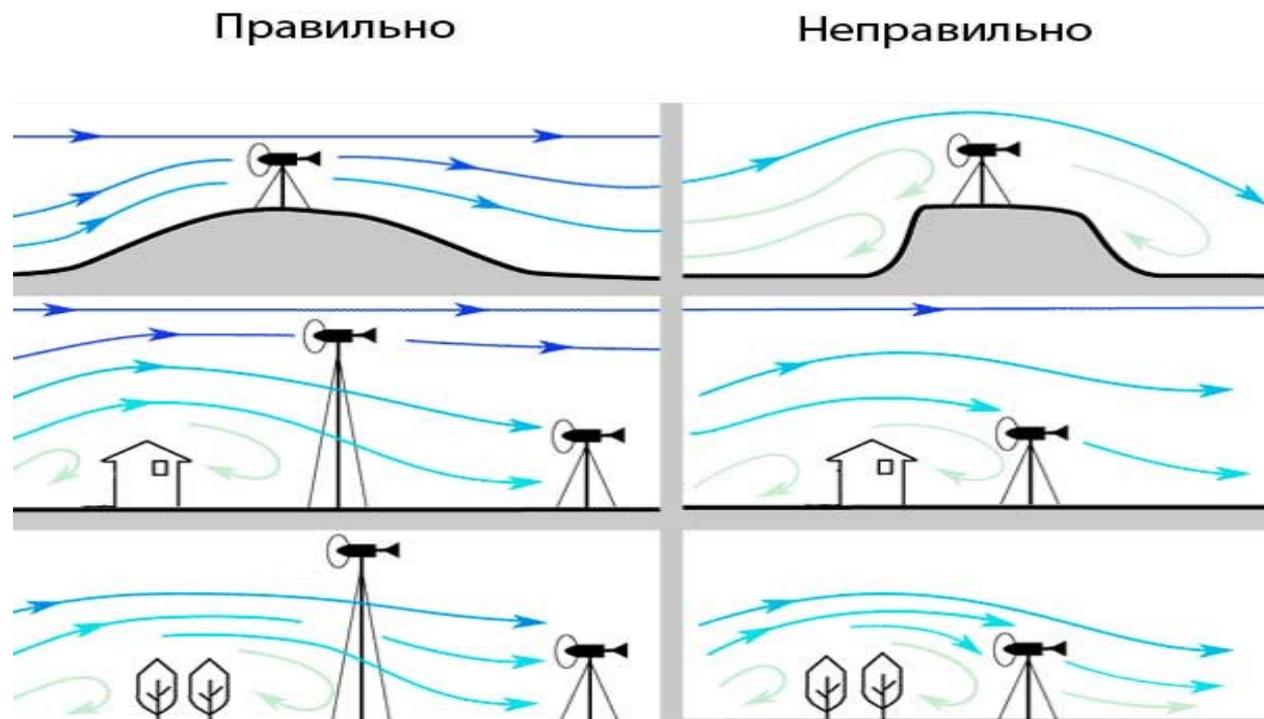
Переважно встановлювати щоглу на відкритій місцевості.

Відстань від щогли до найближчих будівель та високих дерев має бути не менше 15 метрів. Відстань від нижнього краю вітроколеса до найближчих об'єктів (гілки дерев, будови) не менше 2 метрів.

Також потрібно передбачити місце під завалювання щогли для обслуговування та ремонтних робіт вітрогенератора.

Висоту щогли потрібно розраховувати індивідуально, висота залежить від місцевих природних умов, зокрема від середньорічної швидкості вітру, наявності перешкод (будівлі, високі дерева).

					<i>601-мНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



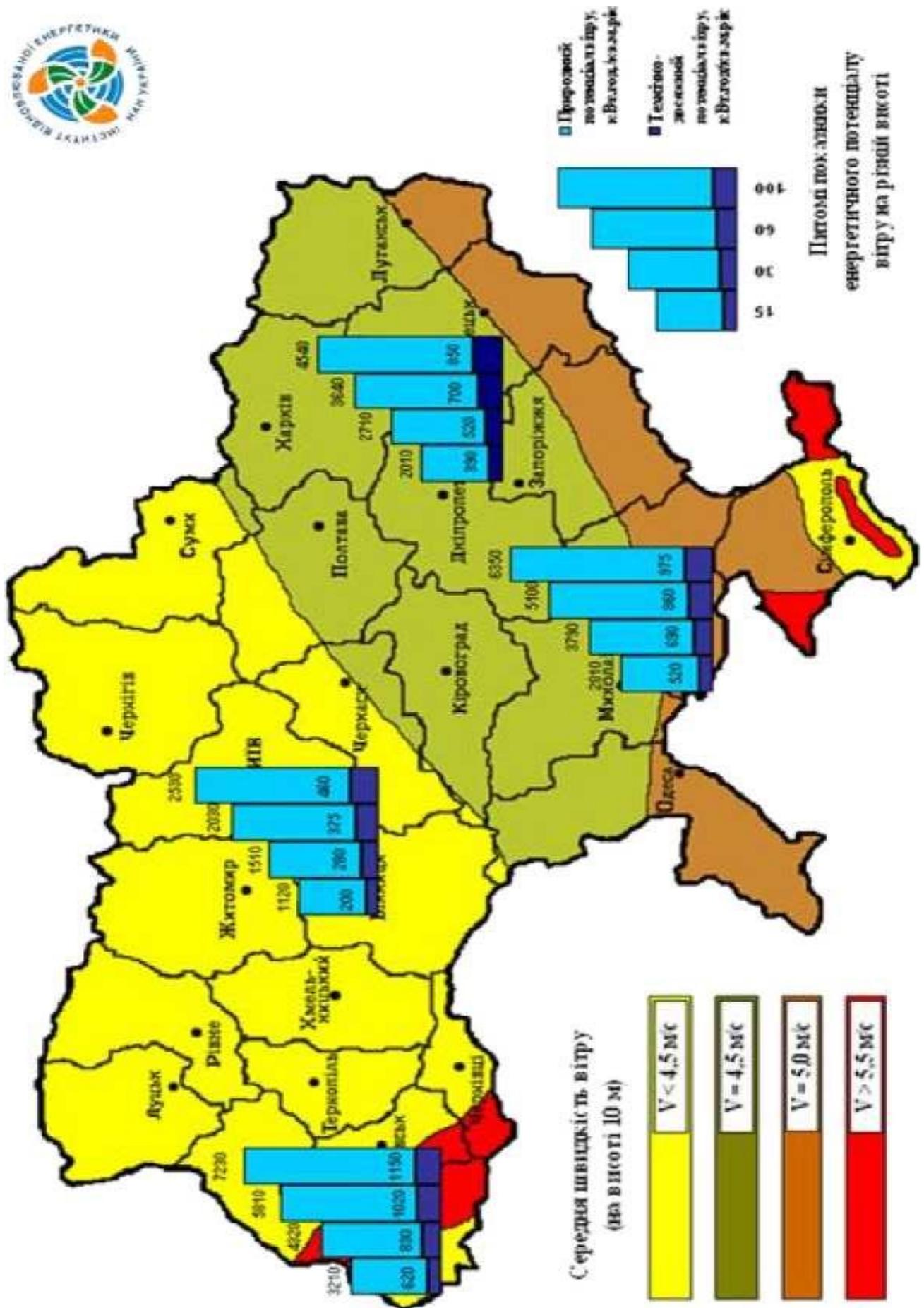
Малюнок 19. Ілюстрація з наглядними рекомендаціями до встановлення вітрогенератора.

Розробка технічного проекту

Однак перед проектуванням вежі (мачти) для вітрогенератора та встановленням самого вітрогенератора на вежу. Треба усвідомлювати всі навантаження і не тільки в періоді коли вітер та пориви вітру не можуть зашкодити обладнання та і оточуючим. А і тоді коли вітер дійно дуже агресивний який може зірвати і дах будинку.

Перед початком проектування ми зверномось до ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія, а саме до характеристик території, району встановлення вітроелектростанції.

					601-мНТ.10578414.КМР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Малюнок 20. Показники вітрового потенціалу на території України.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

601-МНТ.10578414.КМР

Арк.

Продовження таблиці 6

Область, місто	Повторюваність напрямку вітру, % Середня швидкість вітру, м/с								Повторю- ваність штилю, %
	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ	
Івано-Франківська область									
Івано-Франківськ	$\frac{8,4}{3,5}$	$\frac{4,1}{2,8}$	$\frac{9,7}{3,1}$	$\frac{7,6}{3,3}$	$\frac{4,0}{2,9}$	$\frac{10,5}{3,0}$	$\frac{29,1}{3,8}$	$\frac{26,6}{4,3}$	29,7
Пожежевська	$\frac{2,7}{2,7}$	$\frac{5,1}{2,3}$	$\frac{6,3}{3,3}$	$\frac{5,0}{3,5}$	$\frac{4,0}{4,3}$	$\frac{54,8}{5,7}$	$\frac{13,0}{5,1}$	$\frac{9,1}{4,0}$	40,3
Кіровоградська область									
Кіровоград	$\frac{20,2}{3,9}$	$\frac{9,4}{3,8}$	$\frac{8,6}{3,7}$	$\frac{7,3}{3,4}$	$\frac{9,1}{3,9}$	$\frac{5,0}{4,0}$	$\frac{15,7}{3,8}$	$\frac{24,7}{3,6}$	15,4
Київська область									
Київ	$\frac{18,0}{2,7}$	$\frac{9,1}{2,1}$	$\frac{4,8}{1,6}$	$\frac{8,0}{1,8}$	$\frac{11,3}{2,1}$	$\frac{10,4}{2,3}$	$\frac{20,4}{2,1}$	$\frac{18,0}{2,4}$	9,2
Луганська область									
Дар'ївка	$\frac{23,6}{1,9}$	$\frac{16,6}{2,1}$	$\frac{11,0}{3,0}$	$\frac{7,7}{3,5}$	$\frac{9,6}{3,4}$	$\frac{11,3}{2,8}$	$\frac{8,0}{2,2}$	$\frac{12,2}{2,2}$	20,8
Луганськ	$\frac{7,9}{2,1}$	$\frac{9,9}{2,3}$	$\frac{20,3}{2,6}$	$\frac{7,2}{2,3}$	$\frac{7,5}{2,4}$	$\frac{8,6}{2,3}$	$\frac{23,9}{2,1}$	$\frac{14,7}{2,2}$	20,8
Львівська область									
Львів	$\frac{13,8}{3,8}$	$\frac{7,8}{3,2}$	$\frac{6,9}{3,7}$	$\frac{10,6}{3,4}$	$\frac{6,6}{3,6}$	$\frac{8,8}{3,4}$	$\frac{28,9}{4,2}$	$\frac{16,6}{4,2}$	27,1
Миколаївська область									
Миколаїв	$\frac{26,4}{3,4}$	$\frac{12,8}{3,3}$	$\frac{7,1}{3,2}$	$\frac{3,9}{3,1}$	$\frac{11,5}{3,8}$	$\frac{8,9}{3,5}$	$\frac{10,9}{3,4}$	$\frac{18,5}{3,2}$	9,1
Одеська область									
Одеса	$\frac{17,6}{3,2}$	$\frac{8,8}{2,8}$	$\frac{5,3}{2,5}$	$\frac{6,1}{2,6}$	$\frac{15,8}{3,1}$	$\frac{8,8}{2,3}$	$\frac{15,2}{2,1}$	$\frac{22,4}{2,5}$	2,0
Сарата	$\frac{28,0}{4,1}$	$\frac{5,6}{3,9}$	$\frac{4,6}{3,4}$	$\frac{10,7}{3,5}$	$\frac{13,2}{2,1}$	$\frac{5,0}{2,0}$	$\frac{8,6}{3,8}$	$\frac{24,3}{4,4}$	23,0
Полтавська область									
Полтава	$\frac{19,5}{2,4}$	$\frac{12,3}{2,3}$	$\frac{11,0}{2,2}$	$\frac{5,3}{2,0}$	$\frac{7,5}{2,1}$	$\frac{8,3}{2,5}$	$\frac{20,4}{2,7}$	$\frac{15,7}{2,5}$	7,4
Рівненська область									
Рівне	$\frac{11,4}{3,8}$	$\frac{6,3}{3,0}$	$\frac{8,9}{3,1}$	$\frac{9,3}{3,1}$	$\frac{8,0}{3,2}$	$\frac{11,4}{3,1}$	$\frac{29,1}{3,7}$	$\frac{15,6}{4,5}$	8,9
Сумська область									
Суми	$\frac{14,4}{3,0}$	$\frac{10,6}{3,2}$	$\frac{11,4}{3,2}$	$\frac{10,0}{3,3}$	$\frac{10,2}{3,2}$	$\frac{7,6}{3,4}$	$\frac{18,4}{3,7}$	$\frac{17,4}{3,5}$	13,4

Таблиця 2. Напрямків та швидкості вітру

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	601-МНТ.10578414.КМР					

За цією таблицею ми бачимо показники вітрового потенціалу по регіонах. Але слід розуміти що в цих таблицях та малюнку є напрям вітру його середня швидкість та таке інше. Однак нам для проєкту цих даних недостатньо, тому що середні показники це середні показники за таблицею ми бачимо що середній вітер не перевищує навіть 20 м/с а так як ми самі живемо в місті Полтава та за прогнозами синоптиків інколи швидкість може сягати і 30 м/с а це кардинально змінює наші розрахунки. Ще хотілось би доповнити перед початком розрахунків звернути дуже ретельно і на імпульс тому що вітер не дме постійно з однією швидкістю а імпульс може сягати від 0,1 до 5 секунд що в свою чергу додасть до нашої опори на якій буде встановлено вітрогенератор додатково динамічне навантаження.

2.2. Додаткове обладнання для вітроелектростанцій

У базовій комплектації не передбачено ніякого додаткового обладнання, враховуючи, що на вітроелектростанції одного типу можуть бути встановлені різні інвертори і різна кількість акумуляторів, залежно від вітрових умов і електричного навантаження. Вибір такого обладнання повинен здійснюватися з урахуванням особливостей конкретного об'єкта.

До додаткового обладнання відносяться акумулятори, стабілізатори напруги, системи управління, автоматичні резервні вимикачі, випрямлячі та інвертори. Розглянемо докладніше характеристики цих компонентів.

Акумулятори служать для зберігання електричної енергії і використовуються в помірних погодних умовах. Акумулятори використовуються для вирівнювання і стабілізації вихідної напруги генератора, яка залишається безперебійною і стабільною навіть при сильному вітрі. За відсутності вітру живлення електроприймача зазвичай забезпечується від акумулятора.

На ринку електроенергії доступні різні типи акумуляторів, які можуть гарантувати стабільну і надійну роботу вітрогенераторів. Деякі з них включають в себе.

Автомобільні стартерні акумулятори - найпростіший тип акумуляторів, їх можна

					<i>601-МНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розділити на герметичні та необслуговувані. Перший тип акумуляторів витримує до 200 циклів розрядки і утилізується в кінці терміну служби; другий тип акумуляторів розрахований на приблизно 100 циклів розрядки і вимагає регулярної перевірки рівня електроліту і щорічного заповнення дистильованою водою і щорічного заповнення дистильованою водою відповідно до вимог державних стандартів.

Гелеві акумулятори - це хімічні джерела живлення, що не потребують обслуговування. Характеризуються наявністю спеціального згущувача у вигляді силікагелю, який входить до складу кислотного електроліту і дуже чутливий до перезарядження. Пластини виготовляються звичайним штампуванням або ламінуванням. Порівняно з іншими типами акумуляторів, гелеві батареї потребують меншої кількості циклів розрядки (до 350) завдяки низькій напрузі на клемах.

Стабілізатори напруги використовуються для забезпечення вихідної напруги генератора 220 В або 380 В і можуть використовуватися в складі різних систем. Пристрої керування використовуються для одночасного поєднання потужної системи збудження асинхронного генератора з потужним зарядним пристроєм з широтно-імпульсним керуванням.

Основна перевага цих пристроїв полягає в тому, що вони можуть збуджувати асинхронний генератор вже з трьох обертів вітрогенератора. На таких низьких швидкостях може генеруватися достатній струм для стабільного заряду батареї.

Для автоматичного підключення резервного джерела живлення використовується автоматичний перемикач резервного живлення. Принцип роботи цього пристрою полягає в автоматичному перемиканні між двома або більше джерелами живлення за частки секунди в разі збою напруги в мережі. Автоматичні перемикачі можуть автоматично підключати вітрові турбіни, електромережі, дизель-генератори та інші джерела живлення до загальної автоматичної системи. Автоматичне перемикання не дозволяє одній установці працювати від двох різних джерел одночасно.

Випрямлячі використовуються для випрямлення вихідної напруги генератора

					<i>601-мНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

змінного струму і передачі її на акумуляторну батарею або інвертор. Інвертори використовуються для перетворення постійної напруги, що надходить від акумулятора або випрямляча, в змінну напругу. Освітлення в лабораторіях та аудиторіях кафедри на поверсі живиться від змінного струму, тому інвертори необхідні для вітроелектростанції.

В даний час в енергетиці використовуються різні типи інверторів. Оскільки електротехнічні навантаження є однофазними, слід обирати інвертори з однофазною системою вихідної напруги. Варто відзначити, що в даний час найбільш поширеним типом інвертора є автономний інвертор напруги, в якому в якості ключа перемикаччя використовуються біполярні транзистори з ізолюваним затвором, також відомі як IGBT-транзистори.

Принцип роботи цих інверторів полягає в наступному. Кожен електронний ключ час від часу підключається до постійної напруги на виході некерованого випрямляча через систему керування. Це означає, що за допомогою широтно-імпульсної модуляції генерується трифазна змінна напруга з першою гармонікою амплітуди і частоти, подібна до напруги мережі. Ми вважаємо, що вибрані вітроелектростанції повинні включати інвертори цього типу.

2.3. Аналіз та типи щогл для встановлення вітрогенераторів та порівняння конструкцій.

Технічний проект є ключовим документом, який регламентує всі етапи встановлення вітрогенератора⁵⁴: від вибору обладнання до інтеграції в енергетичну мережу. Цей процес потребує ретельного аналізу, проектування та врахування технічних, екологічних і юридичних вимог.

Обладнання в нашому випадку це вітрогенератор китайського виробництва марки M-4

Що до характеристик діаметр лопетей вітрогенератора 2 метра

Вага вітрогенератора 30 кг

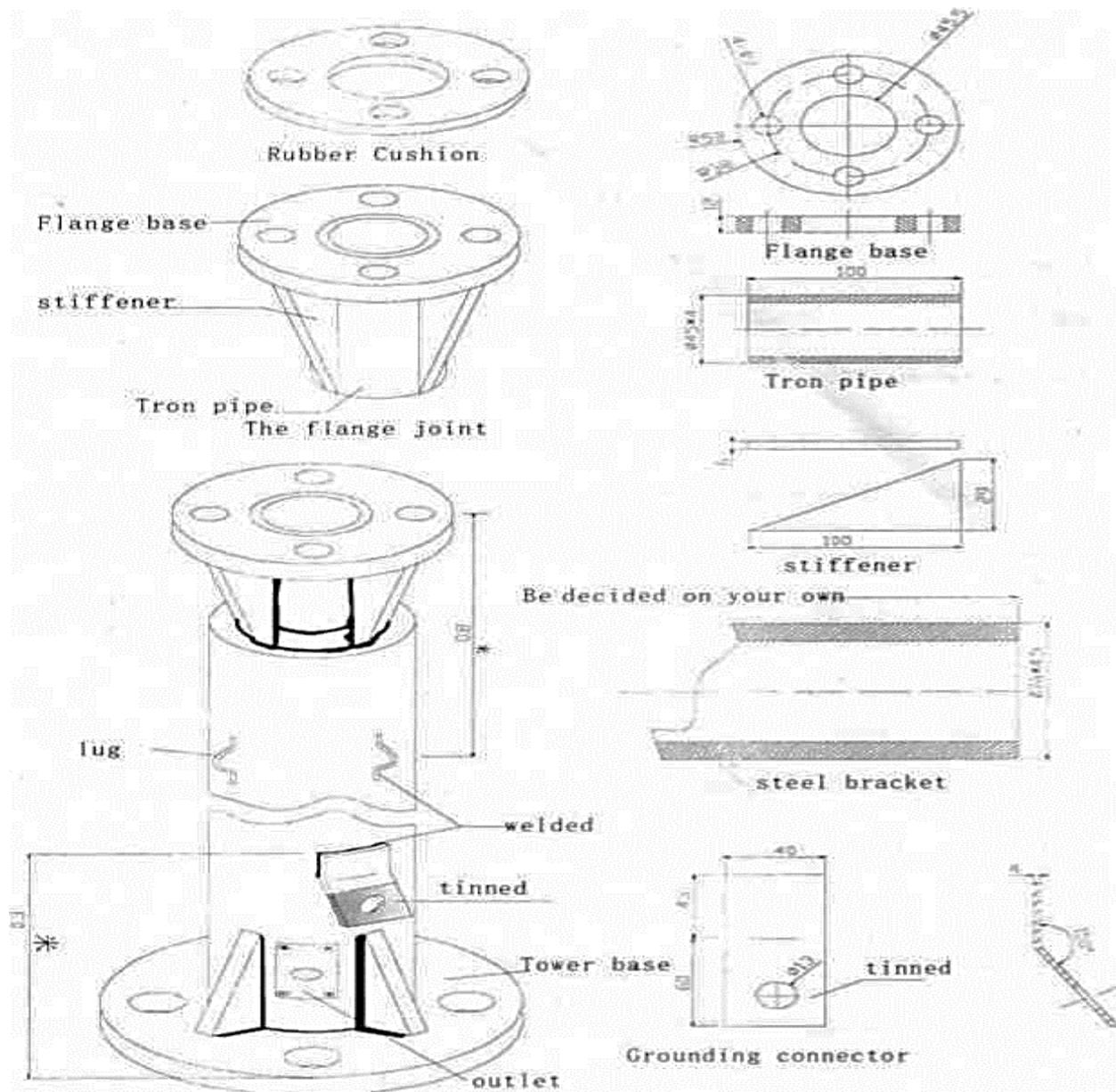
					<i>601-мНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальна потужність до 1000 Вт

Що до рекомендацій виробника з встановлення вітрогенератора.

Вітрогенератор монтується на вежу до якої заздалегідь приварений електродуговою сваркою фланець, відповідного розміру і саме за допомогою фланцевого з'єднання кріпиться вітрогенератор до вежі (мачти).

Малюнок 21. Вузли з'єднання взятій з інструкції цього саме вітрогенератора.



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

601-МНТ.10578414.КМР

Арк.

дуже не влаштовує так як вітрогенераторна установка буде монтуватися безпосередньо на території учбового закладу.

Як відомо доцільність кожного проекту визначається ще й кошторисом. Окрім фанарного стовпа для опори вітрогенератора розглядався іще один варіант в крнцепції якого для мачти під вітрогенератор моглаби бути тринога ферма.

Для мачти висотою 12 м в різних умовах швидкості вітру розраховуємо навантаження. Площадь поперечного сечення ферми залежить від її форми. Припустимо, що ферма має трикутну форму, і її максимальний горизонтальний розмір (основний діаметр) становить близько 0,3 м.

$$A=0,3 \cdot 0,3=0,09\text{м}^2$$

Розраховуємо навантаження для різних швидкостей вітру

Для вітру 5 м/с:

$$F=1,2 \cdot 0,09 \cdot 1,225 \cdot (5)^2=1,65\text{Н}$$

Для вітру 30 м/с:

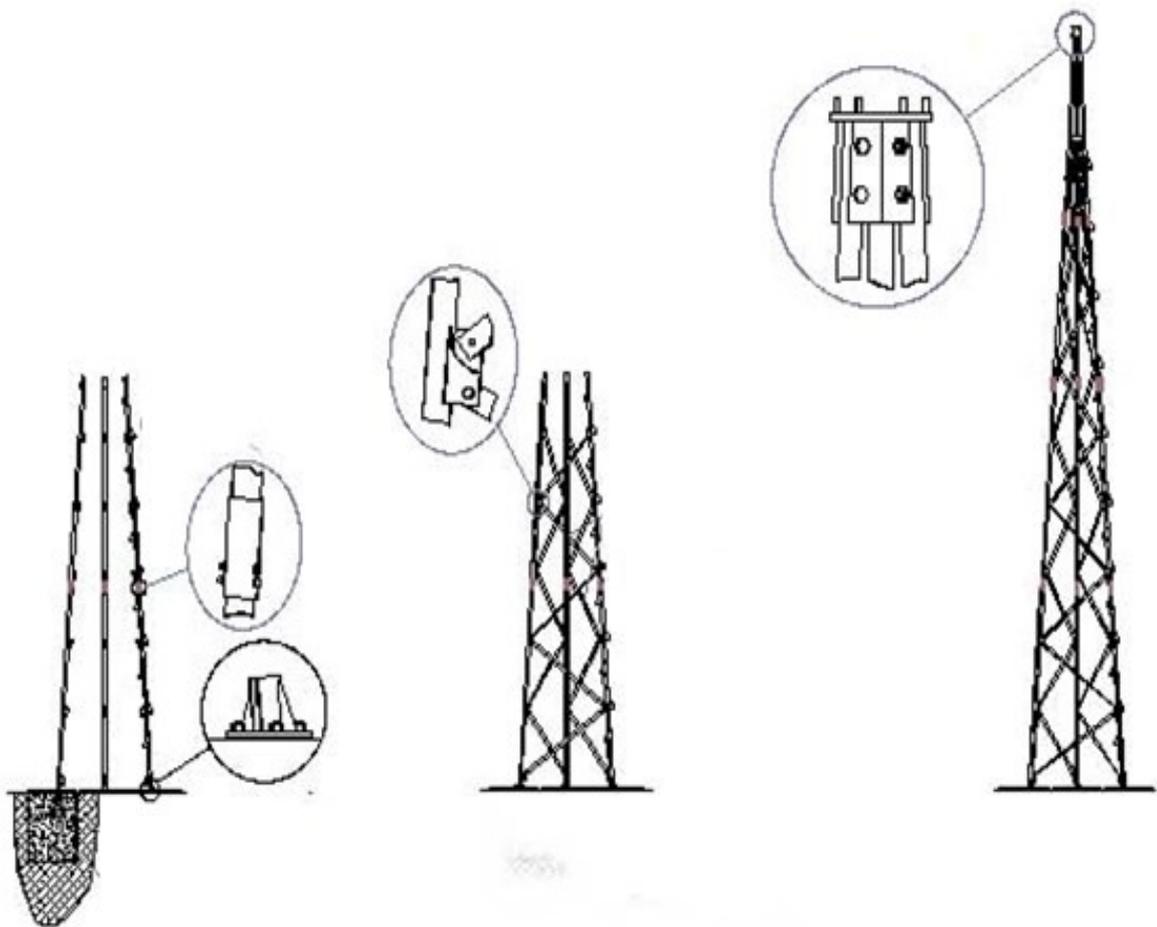
$$F=1,2 \cdot 0,09 \cdot 1,225 \cdot (30)^2=89,4\text{Н}$$

При цьому максимальне навантаження на мачту буде порядку 89,4 Н при швидкості вітру 30 м/с. Конструкція трьох ферми Трехногая ферма буде складатися з трьох вертикальних стоків (опору), з'єднаних горизонтальними і діагональними елементами. Ця конструкція забезпечує хорошу стійкість і жорсткість. Нижня частина ферми (на підставі) буде з'єднана з бетонним фундаментом, який буде рівномірно розподіляти навантаження від вітру і вітрогенератора. Верхня частина ферми (на рівні мачти) буде зміцнюватися до вітрогенератора, а ферма матиме діагональні з'єднання для передвернення бокових коливань. Розрахунок міцності і матеріалу Для трьох ферм з урахуванням можливих максимальних навантажень важливо вибрати правильний діаметр труб і профіль для горизонтальних і вертикальних елементів. Наприклад, можна використовувати сталеві труби з діаметром

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	601-МНТ.10578414.КМР				

близько 50 мм для вертикальних стоек і 30 мм для горизонтальних. Матеріал: сталь (наприклад, сталь марки 20 або аналогічний сплав, що забезпечує високу міцність і корозійну стійкість). Крепежные элементы: болтовые соединения для удобства сборки и обслуживания. Основна увага варто видалити узлам сполук та їх посилення, щоб уникнути поломок під дією вітру.

Але від цієї концепції ми теж відмовились так як вартість такої конструкції як на сукупний матеріал, так і на роботу на виготовлення дуже великі як за кошторисом так і в часі.



Малюнок 24. Візуалізована концепція триногої ферми для встановлення вітрогенератора.

					601-МНТ.10578414.КМР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4. Щогла із труб на розтяжках.

Щогла виготовляється з металевих труб, підтримується за допомогою розтяжок, використовується для встановлення вітрогенератів потужністю до 5 кВт.

Щоглу можна виготовити з металевих водопровідних труб діаметром не менше 120 мм. Якщо використовувати трубу меншого діаметра, то щогла під впливом вітру розгойдуватиметься. Для з'єднання труб використовуються болтові з'єднання, для цього на кінцях труб приварюються фланці.

Не рекомендується зміцнювати складові елементи зварювальним методом, болтові з'єднання будуть надійнішими.

Живильний кабель повинен проходити всередині труби, для виходу кабелю в нижній частині щогли робиться отвір у трубі. Підйом щогли здійснюється за допомогою лебідки.

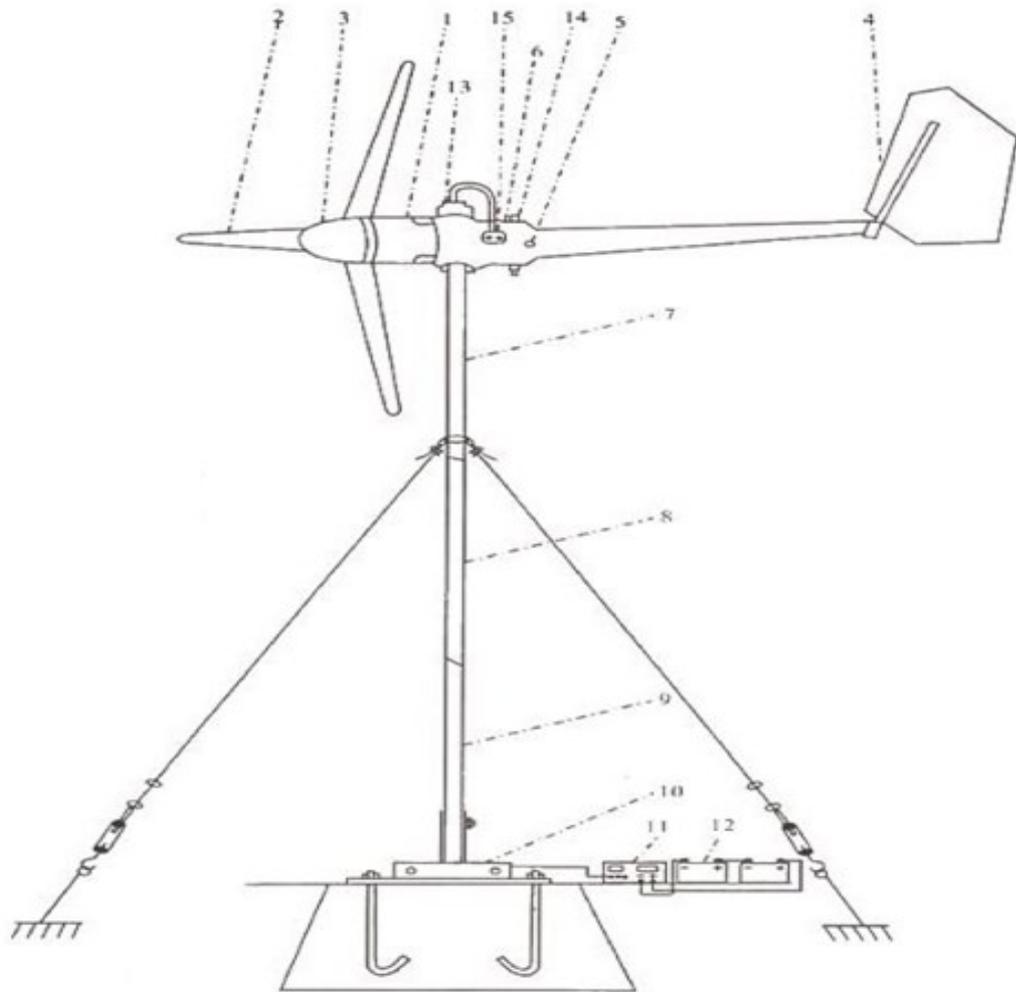
Для стійкості щогли необхідно встановити додаткові розтяжки з тросу, рекомендується використовувати оцинкований трос діаметром не менше 6 мм.

Щогла для вітрогенератора повинна встановлюватися на фундамент, Щогла кріпиться до фундаменту на анкерні болти. Для кріплень під розтяжки також потрібно зробити 4 фундаменти.

Перед тим як встановлювати щоглу, фундамент повинен вистояти місяць, це необхідно, щоб бетон набрав міцність.

Переваги порівняно невелика вартість. До недоліків такої конструкції можна віднести складність підйому та обслуговування вітрогенератора, до того ж встановлені розтяжки займають велику площу поверхні та під таку конструкцію треба мати певну площу вільної ділянки.

					601-МНТ.10578414.КМР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Малюнок 25. Концептуальний ескіз

1. Електрогенератор
2. Лопать
3. Омивач
4. Хвостовик
5. Болт регулювання хвостовика
6. Поворотний механізм
7. Нижня частина мачти
8. Верхня частина мачти
9. Середня частина мачти
10. Основа
11. Контроллер
12. Акумулятор

60

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

601-мНТ.10578414.КМР

Арк.

13.Верх мачти

14.Ось хвостовика

15.Місце з'єднання кабелю

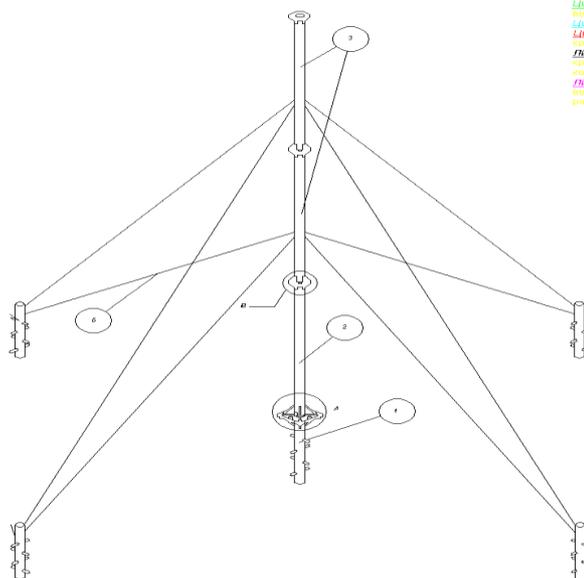
3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЙНИХ РІШЕНЬ

3.1. Фундамент

Розраховується залежно від ваги турбіни, висоти башти та типу ґрунту.

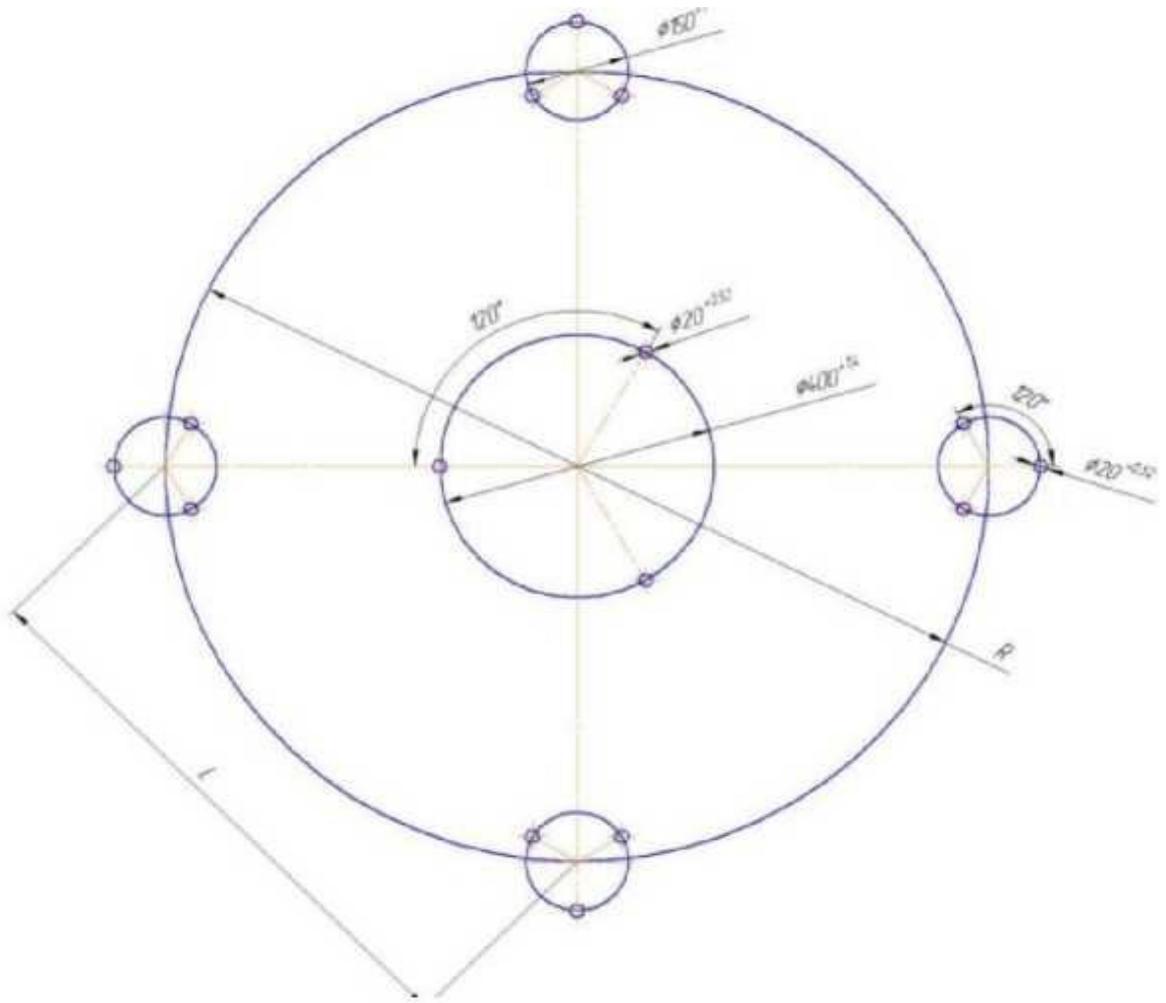
Наприклад, для бетонного фундаменту потрібно врахувати міцність на стиск і стійкість до вібрацій.

Для даної вітрогенераторної установки ми вибрали найбільш вигідніший варіант який би нас влаштував. Це одноопорна щогла 12 метрів в висоту яка в свою чергу буде складитися з трьох частин які між собою будуть з'єднуватися болтовим з'єднанням через фланці на обох кінцях труби. Для основи щогли ми вибрали сталеву трубу марки С3 з певним запасом міцності. У ТОВ «МЕТІНВЕСТ-СМЦ» завжди є труба кругла 159х6 ст1-3пс/сп L=12000мм і купити її в Україні можна з доставкою по всій країні оптом і в роздріб. Прокат сертифікований, зберігається за дотриманням ДСТУ 9129:2021.



Цифра 1 на кресленні позначає основу щогли або закладний елемент, який забезпечує стійкість конструкції.
Цифра 2 позначає місце з'єднання або кріплення нижнього лану щогли.
Цифра 3 вказує на верхній елемент щогли.
Цифри 4, 5, 6 позначають різні лану щогли, їх кількість і товщину визначає до проекту.
Цифра 7 Позначає основу щогли. Це може бути елемент, що кріпиться до землі або фундаменту, забезпечуючи стійкість конструкції.
Цифра 8 вказує на місце з'єднання або вузол, де кріпиться лану щогли окремого лану до щогли. Це критичний елемент для рівномірного розподілу навантаження.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	601-МНТ.10578414.КМР				



Малюнок 26. Схема розташування щогли та контрважів для тросів

62

Сфери застосування

Найбільш універсальним конструкційним та будівельним матеріалом є труба кругла 159x6 ст1-3пс/сп L=12000мм та ціна в Україні на цей вид прокату завжди була доступною. Це визначило її широке застосування в: цивільне, військово-промислове будівництво; автобудування, верстатобудування, суднобудування; виробничо-технологічної галузі; господарсько-побутових цілях.

					601-МНТ.10578414.КМР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З даною схемою ми бачимо що в центр кола де в нас буде безпосередньо встановлена щогла висотою 12000 мм а також в чотирьох сторонах будуть встановлені фундаменти для натягуючих тросів відстань від центру щогли до центру фундаменту 6000 мм тому в сумі в нас діаметр дорівнює 12000 мм

$$S = \frac{\pi \times d^2}{4} = 113 \text{ м}^2$$

3.2. Визначення основних параметрів

Діаметр лопатей: $D=2\text{м}$

Висота щогли: $H=12\text{ м метрів}$

Діаметр труби щогли: $d=0.159\text{ м}$

3.3. Визначення швидкості вітру та динамічного тиску

Вітрове навантаження визначається за формулою:

$$F=Cd \cdot q \cdot A$$

Де:

- Cd – коефіцієнт аеродинамічного опору (залежить від форми об'єкта);
- $q = 0.5 \cdot \rho \cdot v^2$ динамічний тиск вітру;
- $\rho \approx 1.225 \text{ кг/м}^3$ – густина повітря;
- v^2 – швидкість вітру (м/с);
- A – площа проєкції об'єкта.

3.4. Розрахунок площі проєкції

- Для щогли: $A_{\text{щогли}} = H \cdot d$
- Для лопатей (максимальна площа вітрового опору):

$$A_{\text{лопатей}} = \pi \cdot D^2 / 4$$

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	601-МНТ.10578414.КМР				

Пульсуюче динамічне навантаження

Ця складова враховує коливання швидкості вітру через турбулентність.

Пульсація залежить від коефіцієнта турбулентності I , який визначається як:

$$I = \frac{\sigma v}{v}$$

де:

- σv — середньоквадратичне відхилення швидкості (зазвичай приймається $0.1v$ для відкритих територій);
- v — середня швидкість вітру.

Пульсуюча складова навантаження:

$$F_{\text{пульс}} = I \cdot F_{\text{пост}}$$

Розрахунок загального навантаження

Повне навантаження визначається як сума:

$$F_{\text{заг}} = F_{\text{пост}} + F_{\text{пульс}}$$

Розрахунок

Проведемо обчислення для кожної швидкості вітру (v) від 4 до 30 м/с.

64

Ось детальний розрахунок вітрового навантаження з урахуванням постійної та пульсуючої складових для швидкостей вітру від 4 до 30 м/с.

					<i>601-МНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3. Залежність зростання навантаження при зміні швидкості вітру.

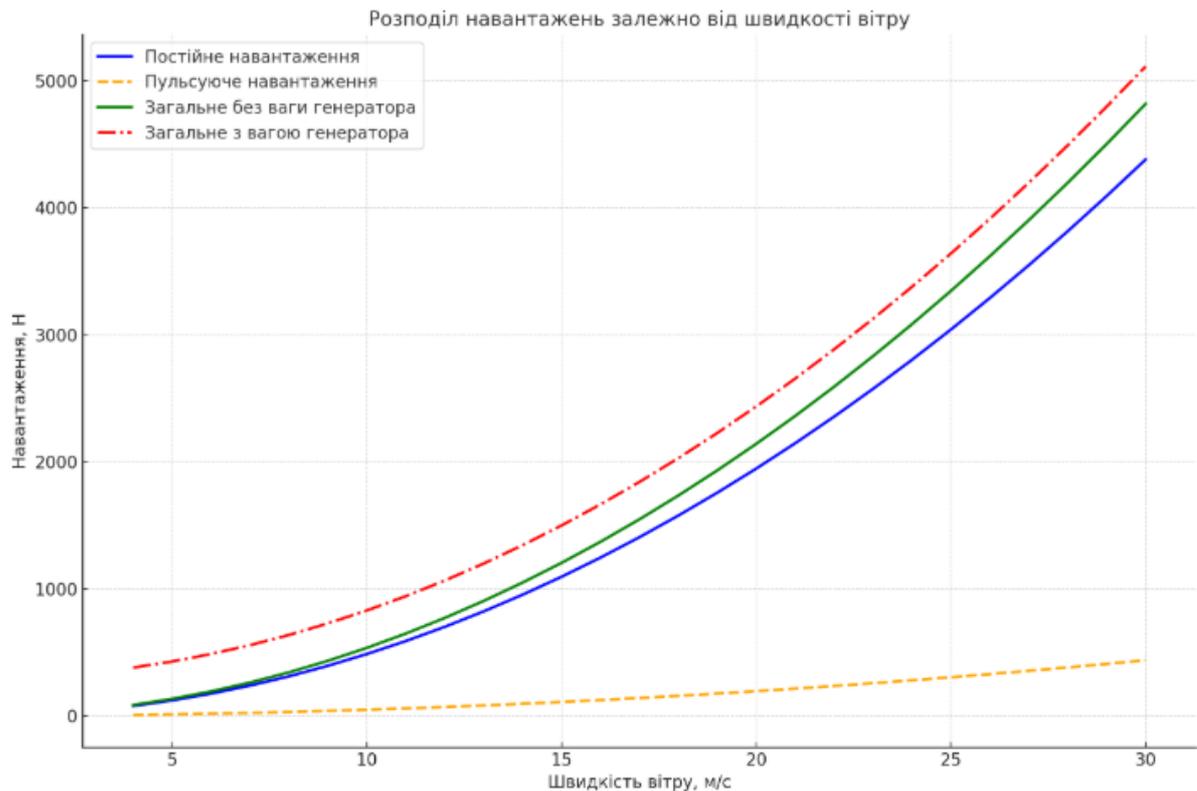
Швидкість V м/с	F _{постН}	F _{пульсН}	F _{загН}
4	77.86	7.79	85.64
5	121.65	12.16	133.81
6	175.18	17.52	192.69
7	238.43	23.84	262.28
8	311.42	31.14	342.57
9	394.14	39.41	433.56
10	486.60	48.66	535.26
15	1094.85	109.48	1204.33
20	1946.39	194.64	2141.03
30	4379.39	437.94	4817.33

З цієї таблиці видно що постійне навантаження є основною складовою й зростає пропорційно до квадрата швидкості вітру.

Пульсуюче навантаження додає додатковий ефект турбулентності, який варіюється у межах 10% від постійного навантаження.

Загальне навантаження стрімко зростає із збільшенням швидкості, особливо при значеннях швидкості вітру більше ніж 15 м/с, що необхідно врахувати при проектуванні щогли.

					<i>601-МНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Малюнок 27. Графічне моделювання таблиці № 3

Постійне навантаження (синя лінія): Основна частина вітрового навантаження, що зростає квадратично зі збільшенням швидкості вітру.

Пульсуюче навантаження (помаранчева лінія): Додається через турбулентність і становить 10% від постійного.

Загальне навантаження без ваги генератора (зелена лінія): Сумарний вплив постійного і пульсуючого навантаження.

66

Загальне навантаження з вагою генератора (червона лінія): Враховує додаткове статичне навантаження від маси генератора. На малих швидкостях домінує вплив ваги генератора, тоді як на високих швидкостях його частка зменшується порівняно із вітровим навантаженням.

Швидкість (v), м/с	Постійне ($F_{\text{пост}}$), Н	Ппульсуюче ($F_{\text{пульс}}$), Н	Загальне без ваги ($F_{\text{заг}}$), Н	Загальне з вагою ($F_{\text{заг+вага}}$), Н
4	77.86	7.79	85.64	379.94
5	121.65	12.16	133.81	428.11
6	175.18	17.52	192.69	486.99
7	238.43	23.84	262.28	556.58
8	311.42	31.14	342.57	636.87
10	486.60	48.66	535.26	829.56
20	1946.39	194.64	2141.03	2435.33
30	4379.39	437.94	4817.33	5111.63

Таблиця 4. Таблиця зміни навантаження з урахуванням маси вітрогенератора.

Основні параметри проекту

Тип вітрогенератора

Потужність: 1 кВт.

Висота башти: 12 метрів (оптимально для міських умов).

Тип установки: наземний малий вітрогенератор.

Прогноз швидкості вітру для Полтави

Середня річна швидкість вітру: 4 м/с на висоті 10 м, 5–6 м/с на висоті 20 м.

Джерело даних: Українська метеорологічна служба.

Коефіцієнт використання потужності (КВП):

Для таких установок: 25–30% (залежно від вітрового потенціалу).

					<i>601-МНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Енерговиробництво

Формула розрахунку річного виробництва:

$$E = P \times T \times \text{КВПЕ} = P \text{ \час } T \text{ \час } \text{КВПЕ} = P \times T \times \text{КВП}$$

Де:

- **P** — номінальна потужність генератора, 1 кВт.
- **T** — кількість годин у році (8760).
- **КВП** — коефіцієнт використання потужності, 0,3.

Розрахунок:

$$E = 1 \text{ кВт} \times 8760 \text{ год/рік} \times 0,3 = 2628 \text{ кВт\год/рік.}$$

$$E = 3 \text{ кВт \години } 8760 \text{ \год/рік \ } 0,3 = 7 \ 884$$

Річне виробництво енергії: **2628 кВт·год/рік.**

Висновок з розділу

Вітрогенератор на 1 кВт у Полтаві може виробляти близько **2628 кВт·год електроенергії на рік**, що дозволяє покрити частину потреб університету. Система економічно доцільна, з терміном окупності приблизно 12 років. Проект також має освітню та екологічну цінність, що сприяє формуванню екологічної культури серед студентів.

Розрахунок вітрового навантаження на стовп з урахуванням розмірів вітрогенератора і даних кліматології Полтави

Для розрахунку вітрового навантаження враховуємо аеродинамічні параметри лопатей генератора, швидкість вітру в Полтаві та властивості повітря.

					<i>601-МНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вимоги до фундаменту

Для забезпечення стійкості фундамент має витримувати згинальні моменти в межах 27 100 Н·м і розподіляти тиск рівномірно. Зазвичай це потребує армованого бетонного фундаменту з розмірами:

- Глибина: 1,5 м.
- Ширина: 1,5 м.
- **Середнє вітрове навантаження: 57,8 Н.**
- **Максимальне вітрове навантаження при поривах: 5111,3 Н.**
- **Загальне навантаження на стовп: 5 111,3 Нм**
- **Момент навантаження на стовп: 27 100 Нм.**

Такі параметри вимагають надійного фундаменту й міцного стовпа з додатковим захистом від корозії та вібрацій. Це забезпечить стабільність конструкції навіть під час екстремальних погодних умов.

Розрахунок необхідності встановлення розтяжок для 12-метрового стовпа

Розтяжки забезпечують додаткову стійкість стовпа під дією вітрових навантажень, особливо під час сильних поривів вітру. Їх встановлення знижує згинальні моменти та рівномірно розподіляє навантаження між фундаментом і ґрунтом.

69

Основні вхідні дані

Висота стовпа: 12 метрів.

Максимальне навантаження на стовп

Вітрове: 2 258,4 Н.

Загальне: 2 552,7 Н.

					<i>601-мНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кут нахилу троса: 45° (рекомендований для ефективного балансу).

Матеріал тросів: сталеві канати (розривна міцність для троса діаметром 6 мм — до 3 500 Н).

Місця кріплення:

До стовпа: на висоті від фундаменту щогли.

$h_1=3,3$ метрів

$h_2=6,0$ метрів

$h_3=10,0$ метрів.

До ґрунту: анкери з контрвантажем масою не менш як 110 кг

3.4. Розрахунок натягу в розтяжках

Для рівномірного розподілу встановлюються три троси, розташовані на рівновіддалених кутах 90° один від одного.

Формула розрахунку натягу в кожному тросі:

$$T = Fn \cdot \sin(\theta) F$$

Де:

70

- $F=2258,4$ Н максимальне горизонтальне вітрове навантаження.
- $n=4$ — кількість розтяжок.
- $\theta=45^\circ$ — кут нахилу троса.

Розрахунок:

$$T = 2258,43 \cdot \sin_{[f_0]}(45^\circ) = 2258,43 \cdot 0,707 \approx 1067,1 \text{ Н}$$

Кожна розтяжка повинна витримувати натяг до **1 067,1 Н**.

					<i>601-мНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір тросів

Для натягу $T=1067,1$ Н підходять сталеві троси з наступними характеристиками:

- Діаметр: 6 мм.
- Міцність на розрив: до 3 500 Н (із запасом міцності в понад 3 рази).

3. Розрахунок контрвантажів

Контрвантаж на кінці кожної розтяжки має протидіяти натягу троса. Розрахунок ваги контрвантажу:

$$W_c = Tg$$

Де:

$$T = 1067,1 \text{ Н.}$$

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2 \quad g = 9,81$$

Розрахунок:

$$W_c = 1067,1 / 9,81 \approx 108,8 \text{ кг.}$$

Кожен контрвантаж повинен мати масу не менше **110 кг**.

Об'єм бетонного контрвантажу (для бетону щільністю $\rho = 2400$ кг/м³)

$$V = W_{cp} / \rho = 110 / 2400 \approx 0,046 \text{ м}^3.$$

Для кожної розтяжки потрібно контрвантаж об'ємом близько **0,05 м³ бетону**.

5. Рекомендована кількість та схема розтяжок

- **Кількість:** 4 розтяжки.
- **Розташування:** рівномірно під кутами 90° один до одного.
- **Матеріал троса:** сталевий діаметром 6 мм.
- **Контрвантаж:** 4 бетонних блоки по 0,05 м³ кожен (вага 110 кг).

					<i>601-мНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Заходи з охорони праці під час експлуатації вітрових турбін

Обслуговування вітроенергетичних установок повинно проводитися відповідно до ГКД 41.003.003.007 силами бригади з не менш ніж трьох осіб. Склад бригади визначається залежно від кількості та потужності вітрогенераторів. Вона повинна бути забезпечена спеціальним транспортом, набором необхідних інструментів і запчастинами для обладнання серійного виробництва. Роботи з технічного обслуговування виконуються вдень. Організація роботи вітрових турбін має гарантувати їх безперебійну функціональність, дотримання допустимих режимів, надійну роботу систем управління, захисту та автоматики, включаючи збудження синхронних генераторів. Експлуатація повинна відповідати інструкціям виробника та вимогам пункту 5.8.11 ГКД 341.003.003.007.

Умови експлуатації вітрових турбін

- Дотримання заходів безпеки для конкретного типу турбін.
- Обслуговування проводять тільки спеціально підготовлені працівники.
- Ведення протоколів та форм профілактичних оглядів.
- Зняття пломб допускається лише за згодою виробника і в його присутності.
- В гарантійний період несправні елементи направляються виробнику.

Умови запуску⁷² та зупинки вітрових турбін:

Запуск дозволяється тільки за відповідності встановленим режимам та параметрам. Турбіни до 20 кВт підключаються через трансформатор або безпосередньо до мережі споживача відповідно до інструкцій виробника. Автоматична система управління повинна забезпечувати запуск, діагностику, аварійну зупинку, стабілізацію роботи та передачу інформації на верхні рівні управління. Перевірка систем управління обов'язкова після ремонту чи модернізації.

					<i>601-МНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Причини екстреної зупинки:

- Перевищення вібрації чи температури вузлів.
- Перевантаження генератора, коротке замикання.
- Пожежа або виникнення небезпечних для персоналу умов.

Технічне обслуговування

Регулярні перевірки конструкцій, лопатей, електричних систем та захисту від блискавок. Особлива увага приділяється обледенінню, правильному встановленню фундаменту, використанню морозостійких матеріалів та рідин, що не замерзають.

Техніка безпеки при монтажі та експлуатації системи стабілізації

Передбачено:

- Ізоляцію струмопровідних частин і металевих елементів.
 - Захист від дотику до струмоведучих та нагрівальних частин.
 - Оглядові вікна, люки, засоби освітлення.
- Персонал повинен мати відповідну підготовку, проходити медичні огляди та знати методи надання першої допомоги.

Пожежна безпека і мікроклімат на вітроелектростанціях

73

Основними причинами пожеж є електричні та механічні несправності. Для гасіння обладнання під напругою використовуються порошкові вогнегасники. Важливо контролювати мікроклімат приміщень, зокрема температуру, вологість, рівень шуму та вібрацій.

Рекомендації від виробника вітроелектро-генератора

					601-мНТ.10578414.КМР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мм, потім замкніть відкриті мідні дроти (з'єднані між собою гвинтами).

2-3. після встановлення фланцевого болта (9) з плоскою шайбою (10) вставте його у відповідні отвори фланця вітрогенератора головкою догори, а потім через отвори фланця вежі. Встановіть болт на плоску шайбу, пружинну шайбу, а потім за допомогою гайкового ключа затягніть гайку з фланцевими болтами. Аналогічно вставте інші болти, плоскі шайби, пружинні шайби та гайки у відповідні отвори. Закрутіть усі гайки; будь ласка, зверніться до таблиці 2, щоб дізнатися, з яким зусиллям їх затягувати.

4. Вирівняйте 2 отвори в лезі (6) з 2 отворами в пазу маточини (5), точно вирівняйте,

потім вставте болт з нержавіючої сталі (13) від леза до паза через отвори, потім закрутіть контргайку (14) (Увага: контргайка одноразового використання, закрутіть щільно, не закручуйте занадто сильно, інакше вона вийде з ладу), установка інших лез виконується аналогічно, будь ласка, зверніться до таблиці 2 для визначення зусилля установки

5. Спочатку помістіть більший кінець контргайки в шестигранний отвір по центру маточини, потім на різьбовий вал генератора, натисніть на гайку лівою рукою, одночасно обертаючи колесо за годинниковою стрілкою правою рукою, проштовхніть гайку, потім використовуйте подовжений шестигранний ключ, щоб допомогти правому обертанню колеса, нарешті, зафіксуйте гайку (Увага: гайка може просуватися тільки вперед, відведення заборонено.) Будь ласка, зверніться до таблиці 2 для визначення зусилля при установці.

6. З'єднайте обтічник (8) з маточиною колеса (5), сумістіть три виїмки з лопатями, притисніть конус обтічника так, щоб виїмки потрапили на шов маточини колеса.

7. Підйом вітрових турбін і вежі повинен здійснюватися в присутності кваліфікованих стропальників, при цьому повинна бути забезпечена безпека. Положення вежі повинно бути виконано на основі відповідних вимог до постійної конструкції.

					601-МНТ.10578414.КМР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після завершення монтажу вежі та блискавкозахисту, використовуйте 500В мегомметр для вимірювання опору ізоляції між лініями електропередач та землею (заземлюючий дріт може виступати в якості землі) у випадку, якщо ви не втрачаєте короткозамкнені проводи ліній електропередач, вимірювання не повинно бути менше 5MQ, інакше ізоляційний шар може бути роздавлений, пошкоджений або зволожений слід усунути негайно

Зв'язок між лінією електропередачі та контроллером

Уникайте днів із сильними дощами під час першого введення в експлуатацію. Пріоритет слід віддавати дням з легким вітерцем а не сильним вітром (швидкість вітру: 5-13 м/с).

1. правильно підключіть позитивний і негативний полюс акумулятора до позитивного і негативного полюса інвертора керування (інвертор керування спеціально для вітро- сонячного гібрида) (сонячна клема - для запасного використання)
2. Ланцюг навантаження підключається до розетки на задній панелі інвертора керування за допомогою запобіжників, вимикачів, штепсельних вилок.
3. Підключіть три лінії передачі струму вітрогенератора до трьох клем на задній панелі інвертора керування. Будь ласка, зверніться до інструкції до інвертора керування для отримання детальних інструкцій.
4. Вибір акумулятора, як правило, перевага надається свинцево-кислотним акумуляторам, вітрогенератор потужністю 100 Вт -300 Вт, вітрогенератор потужністю 100 Ач -200 Ач, вітрогенератор потужністю 300 Вт - 600 Вт, вітрогенератор потужністю 200 ~ 400 Ач, верхня і нижня межі зарядної напруги контролюються інвертором. Вітрогенератор використовує плаваючий заряд акумулятора, на плаваючий струм впливає стан акумулятора.
5. Контролер слід розміщувати в сухому, добре провітрюваному місці, захищеному від вологи та пилу, корпус інвертора повинен бути заземлений і знаходитися на відстані більше 1,5 метрів від акумуляторів, щоб уникнути забруднення кислотними газами.

					<i>601-МНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. ВИСНОВОК

На початку праці над цією темою магістерської роботи припоглибленні в тему почав стикатися з такими питаннями за які навіть і не усвідомлював. Маркетологи та продавці ВЕС малих потужностей розповідають за «чудо ефект» та безкоштовне отримання електроенергії від ВЕС.

Зібравши всі фактори для попередніх розрахунків та порахувавши кошторис тер я усвідомлюю те що все набагато складніше і не зовсім так як нам розповідають.

Однак так як моя магістерська робота направлена саме на проектування щогли для вітрогенератора яка буде розташовуватись на території університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» для освітнього процесу це скарб саме для студентів які будуть вивчати це питання це нова лабораторна база для нової кафедри з «відновлювальної енергетиці».

Одним з маркетингових ходів продавців є прайс аркуші, що показують розрахунки економії покупців, створеної за рахунок придбання їхньої продукції. Чи варто їм вірити?

Я пропоную вам самостійно оцінити економічний зиск від встановлення вітряної електростанції на вашій ділянці. Для цього потрібно врахувати мінімум витрати грошей на:

1. зведення фундаменту під щоглу, на який піде чимало бетону та металеві арматури;
2. створення висотної опори для встановлення вітроколеса у зоні сприятливого тиску вітру. Сюди увійдуть не лише металеві куточки, труби та кріпильні деталі із зварюванням, а й витрати на весь монтаж;
3. ціну придбання готового вітрогенератора.

					601-МНТ.10578414.КМР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. купівлю інвертора, контролера, акумуляторів, захисних модулів, кабелів та проводів. Врахуйте, що років за 10-12 комплект АКБ доведеться змінити кілька разів;
5. експлуатаційні витрати на профілактичне обслуговування та ремонт;
6. вирішення низки організаційних питань.

Практика використання вітрових станцій показала, що тихо вони не працюють, а постійні вібрації та шуми вітрогенератора дратують найближчих сусідів. Іноді доведеться вирішувати питання через суд.

До того ж в область колеса, що обертається, іноді потрапляють птахи: пластикові лопаті ламаються, металеві гнуться. Потрібен надійний захист та резервний комплект запасних частин.

Візьмемо за основу час, за який плануєте окупити свої витрати, наприклад, 15 років експлуатації. Оплату 3 кВт на годину треба помножити на цей термін, виражений у годиннику, та порівняти з вартістю витрат на створення та експлуатацію ВЕС за цей же період.

Вважаю, що вітрогенератор для приватного будинку своїми руками створити можна. Прикладів його багато. Проте треба добре продумати доцільність його використання, обґрунтувати економічну користь.

Також хочу зазначити що ця щогла для встановлення вітрогенератора може мати і універсальне застосування для встановлення на ній анімометрів тощо а також інших приладів що дозволить на території університету створити свою власну метеостанцію, що позитивно сприятиме розвитку освітнього процесу та свідомості студентів.

					<i>601-МНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Висновки з огляду та аналізу кошторису та економічної доцільності
(окупності проекту)**

Специфікація з проекту встановлення вітроелектрогенератора.

№ з\п	Матеріали та послуги	Кількість	Вартість грн/шт	Загалом грн
1	Труба круглая 159х6 с3	12 м.п.	954	11448
2	Лист 18х1500х6000 ст3	1 шт	49970	49970
3	Фланець Ду 150 (159) Ру 16 ДСТУ 12820-80	6 шт	939	5634
4	Роботи зварювальника	комплект	60000	60000
5	Трос сталевий 8 мм оцинкований	150 м.п.	52	7800
6	Бетон марки м 250	4 М ³	3000	12000
7	Аренда екскаватора	3 часа	1800	5400
8	Аренда вишки 12 метрів	4500 смена	1	4500
9	Аренда автокрана 15 метрів	2035 час	3	6105
10	Вітрогелектрогенератор	30000	1	30000
11	Контролер для вітрогенератора 3 кВт	15000	1	15000
12	Кабельно провідна продукція	10000	комплект	10000
	Всього:			217857 грн

Специфікація складена без вартості акумуляторів та без вартості монтажних робіт.

Виходячи з цього ми маємо собівартість без врахування робіт з монтажу **217857 гривень** та орієнтовну генерацію за рік **2628 кВт** на рік з вартістю 10 грн за кВт визодячи з цього це **26280 грн на рік** / тому окупність тільки на цьому етапі складає **8,3 роки** без врахування щорічного обслуговування вітротурбіни та інших затрат, з цього висновок що доцільність встановлення

					601-МНТ.10578414.КМР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вітроелектроненератора з метою отримання економічної вигоди не є доцільним.

Тому як за такою ж схемою розрахувати СЕС є більш доцільним

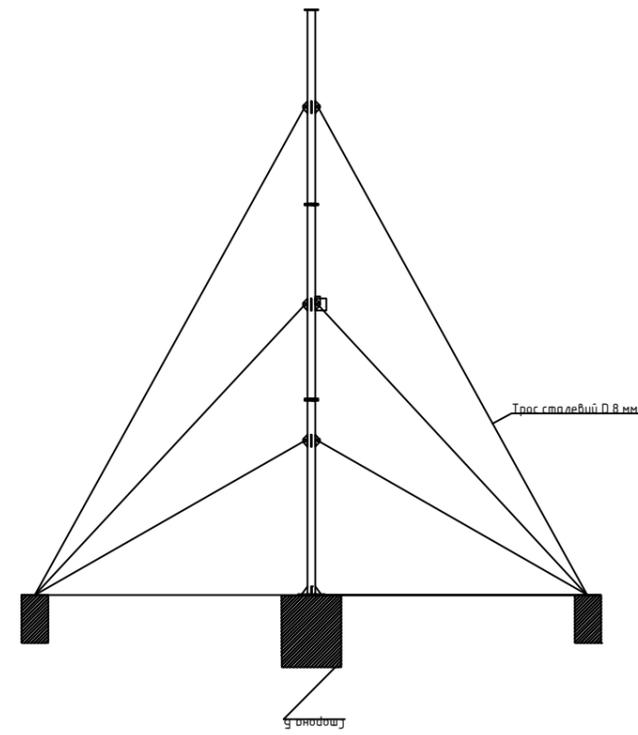
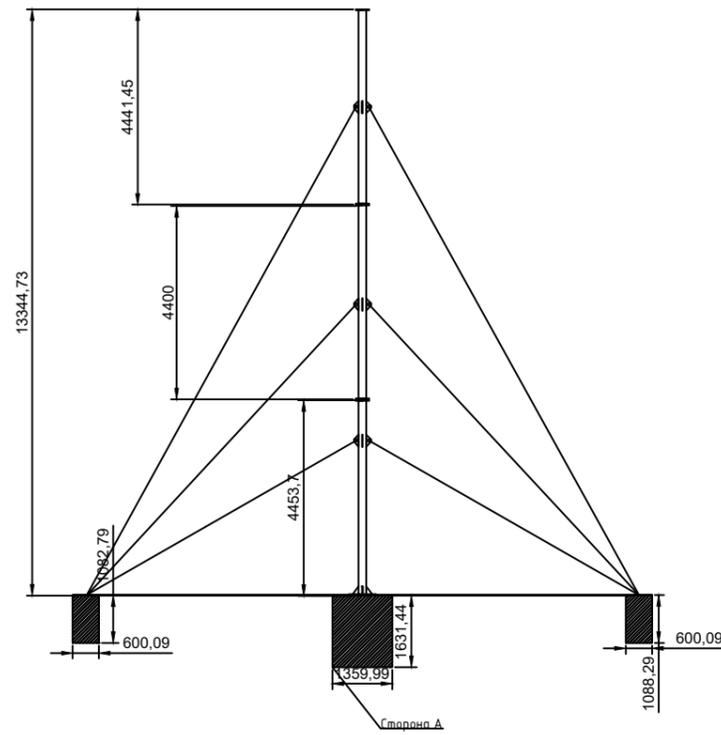
№ з\п	Матеріали та послуги	Кількість	Вартість грн/шт	Загалом грн
1	Інвертор гібридний 6 КВА	1 шт	49140	49140
2	Фотомодуль 465 Вт	6 шт	3200	19200
3	Кріплення для фотомодулів	6 компл	1134	6804
4	Кабельно провідна продукція	10000	комплект	10000
	Всього:		85144 грн	

Ця станція зможе згенерувати за рік приблизно **6696 кВт/ годин** на рік це більше ніж в двічі від вітроелектростанції, та вартість виробленої електроенергії буде складати **66960 гривень** і термін її окупності **1,2 роки** при щей вищій вихідних та нищих кошторисних параметрах.

					<i>601-МНТ.10578414.КМР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Погоджено:

Інв. № ор. Підпис і дата Зам. інв. №

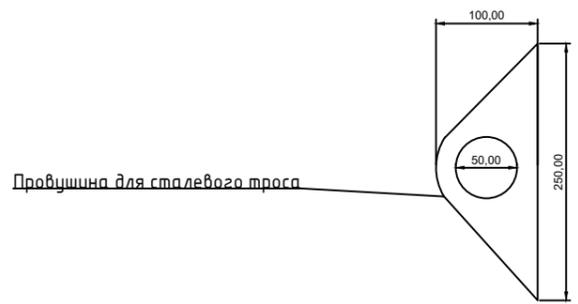


						2025	601НТ-10700835-ДР		
						Проектування вітрогенераторної установки для Національного університету "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"			
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата				
						Р	1	10	
Розробив	Салашний В				19.01				
Перевірив	Кутний Б.А				19.01				
Н.контроль	Кутний Б.А				19.01				
Зав.кафед.	Голік Ю.С.				19.01				
						Стадія Р			
						Аркуш 1			
						Аркушів 10			
						Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"			

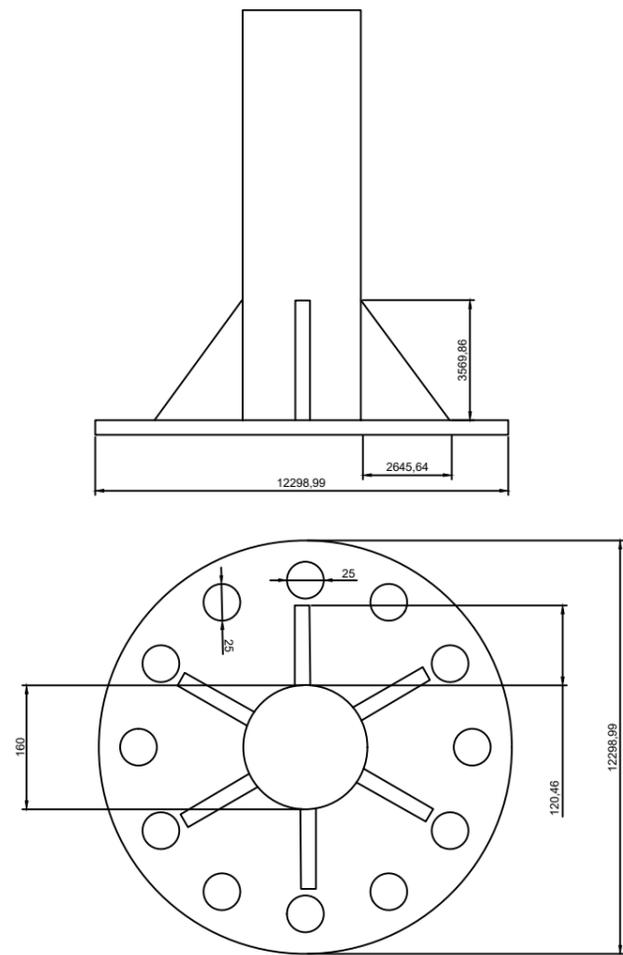
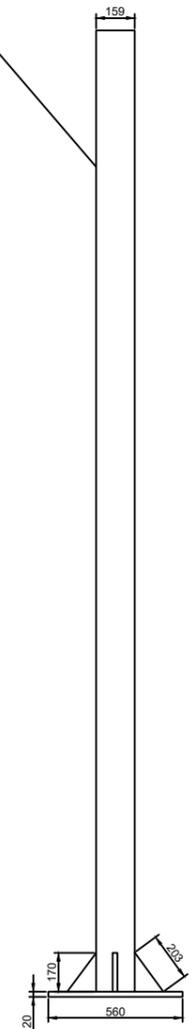
Схема з кресленнями щогли



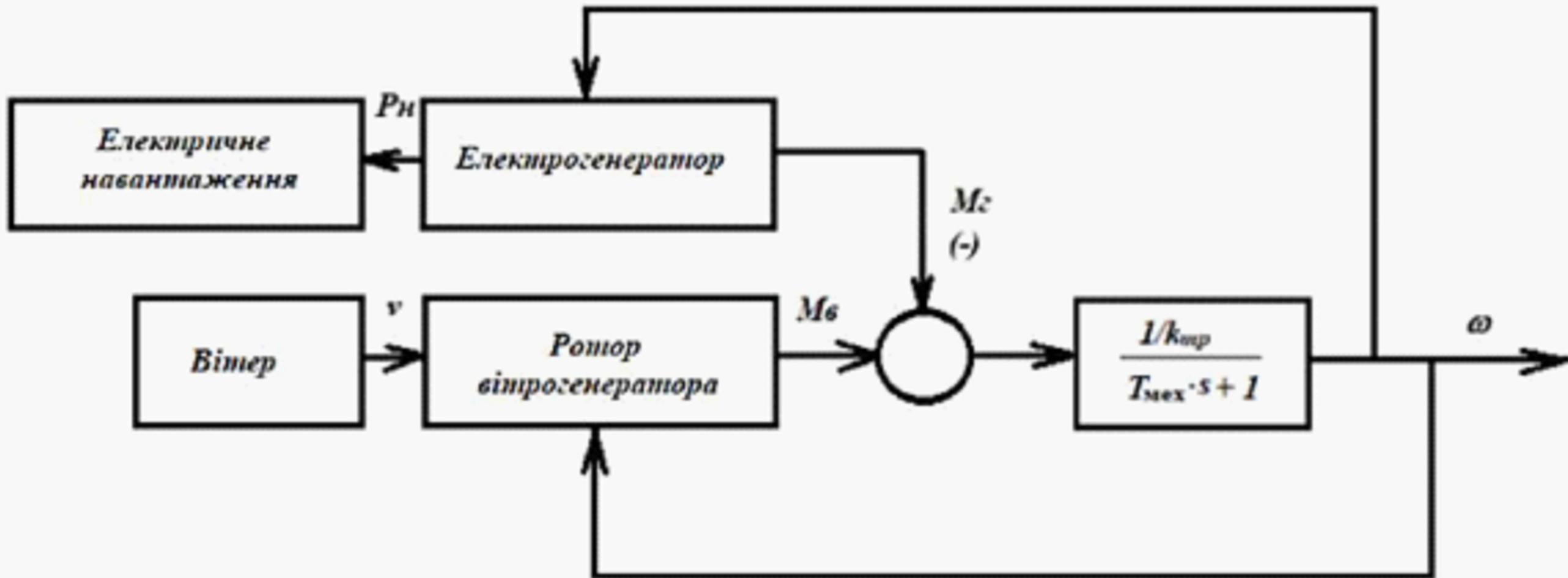
Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Погоджено:	



Труба стальна D159 товщина стінки 6 мм

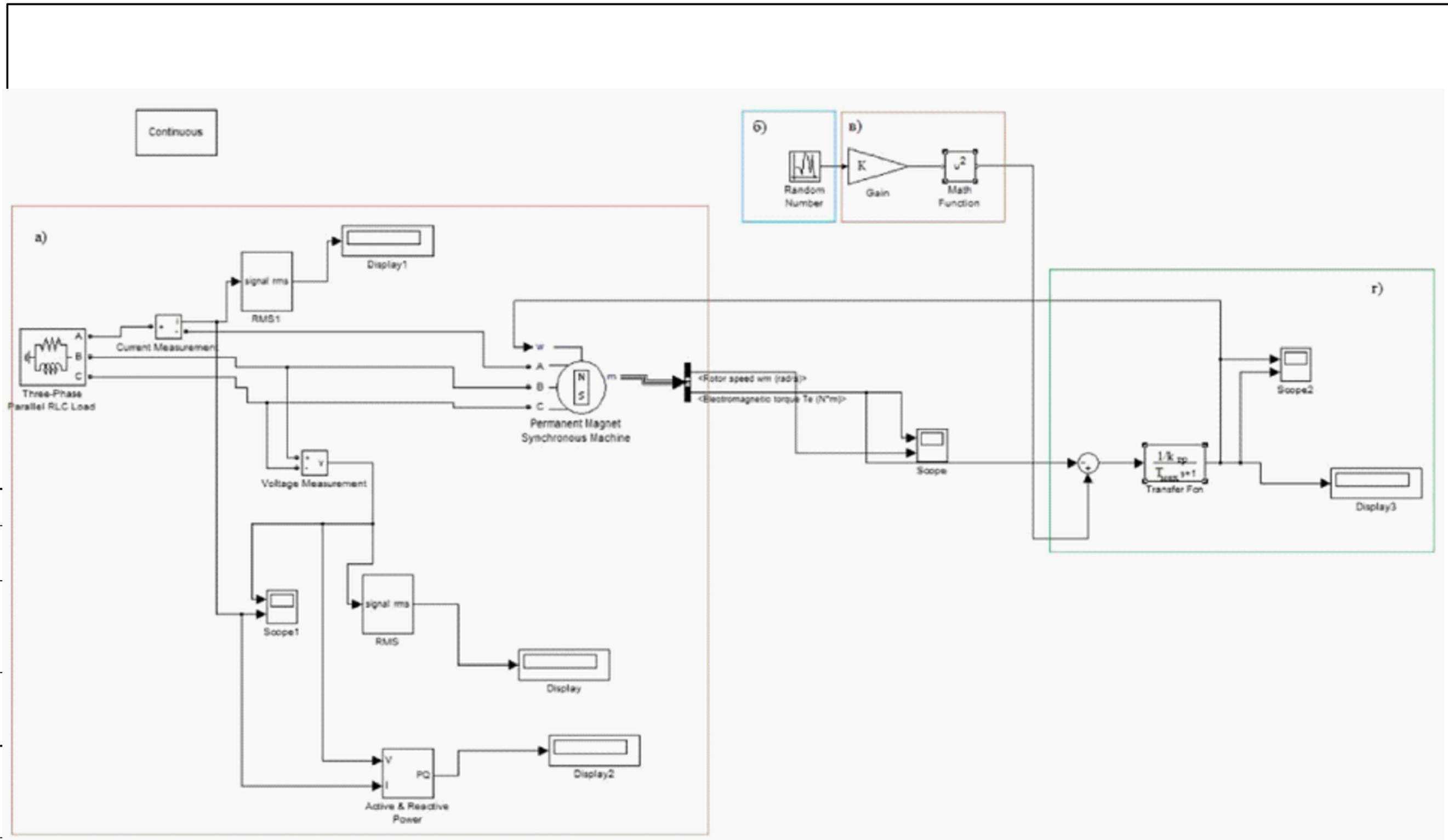


					2025	601НТ-10700835-ДР		
						Конструкційні елементи щогли		
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив		Салашний	В		19.01	Р	2	10
Перевірив		Кутний	Б.А		19.01			
Н.контроль		Кутний	Б.А		19.01			
Зав.кафед.		Голік	Ю.С.		19.01	 Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"		



Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Погоджено:	

					2025	601НТ-10700835-ДР		
						Проектування вітрогенераторної установки для Національного університету "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"		
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Стадія	Аркуш	Аркушів
	Розробив	Салашний В.			19.01	Р	9	10
	Перевірив	Кутний Б.А.			19.01			
	Н.контроль	Кутний Б.А.			19.01			
	Зав.кафед.	Голік Ю.С.			19.01	Схеми роботи електрогенератора  Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"		



Погоджено:

Зам. інв. №

Підпис і дата

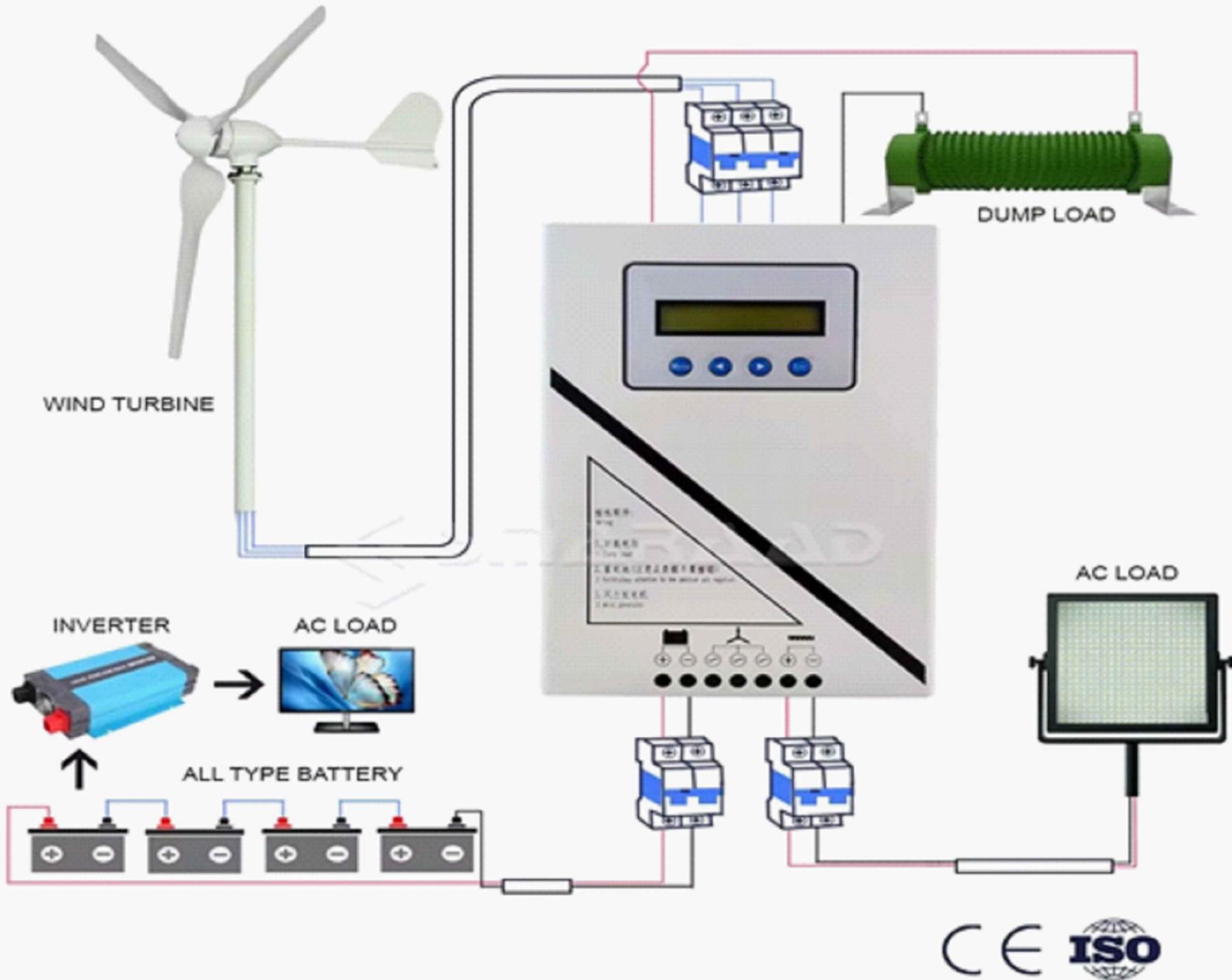
Інв. № ор.

					2025	601HT-10700835-ДР		
Проектуювання вітрогенераторної установки для Національного університету "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"						Стадія	Аркуш	Аркушів
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Р	10	10
Розробив		Салашний В.			19.01			
Перевірив		Кутний Б.А			19.01			
Н.контроль		Кутний Б.А			19.01			
Зав.кафед.		Голік Ю.С.			19.01			
Схема роботи системи						 Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"		

Погоджено:		
Зам. інв. №		
Підпис і дата		
Інв. № ор.		

$V_{m/c}$	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$P_{BT d = 1M}$	3	8	15	27	42	63	90	122	143
$P_{BT d = 2M}$	13	31	61	107	168	250	357	490	650
$P_{BT d = 3M}$	30	71	137	236	376	564	804	1102	1467
$P_{BT d = 4M}$	53	128	245	423	672	1000	1423	1960	2600
$P_{BT d = 5M}$	83	196	383	662	1050	1570	2233	3063	4076
$P_{BT d = 6M}$	120	283	551	953	1513	2258	3215	4410	5866
$P_{BT d = 7M}$	162	384	750	1300	2060	3070	4310	6000	8000
$P_{BT d = 8M}$	212	502	980	1693	2689	4014	5715	7840	10435
$P_{BT d = 9M}$	268	635	1240	2140	3403	5080	7230	9923	13207
$P_{BT d = 10M}$	331	784	1531	2646	4200	6270	8930	12250	16300

					2025	601НТ-10700835-ДР			
Проектування вітрогенераторної установки для Національного університету "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"									
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив		Салашний В.			19.01		Р	4	10
Перевірив		Кутний Б.А.			19.01				
Н.контроль		Кутний Б.А.			19.01				
Зав.кафед.		Голік Ю.С.			19.01				
Таблиця з залежністю генерації електроенергії від швидкості вітру							Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"		



Погоджено:	
Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. № ор.	

					2025	601HT-10700835-ДР
						Проектування вітрогенераторної установки для Національного університету "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	
Розробив		Салашний В.			19.01	Стадія
Перевірив		Кутний Б.А.			19.01	Р
Н.контроль		Кутний Б.А.			19.01	Аркуш
Зав.кафед.		Голік Ю.С.			19.01	Аркушів
Електрична схема підєднання вітроелектрогенератора						 Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"

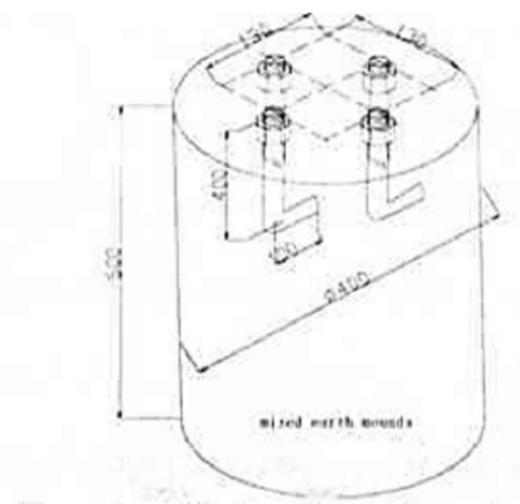
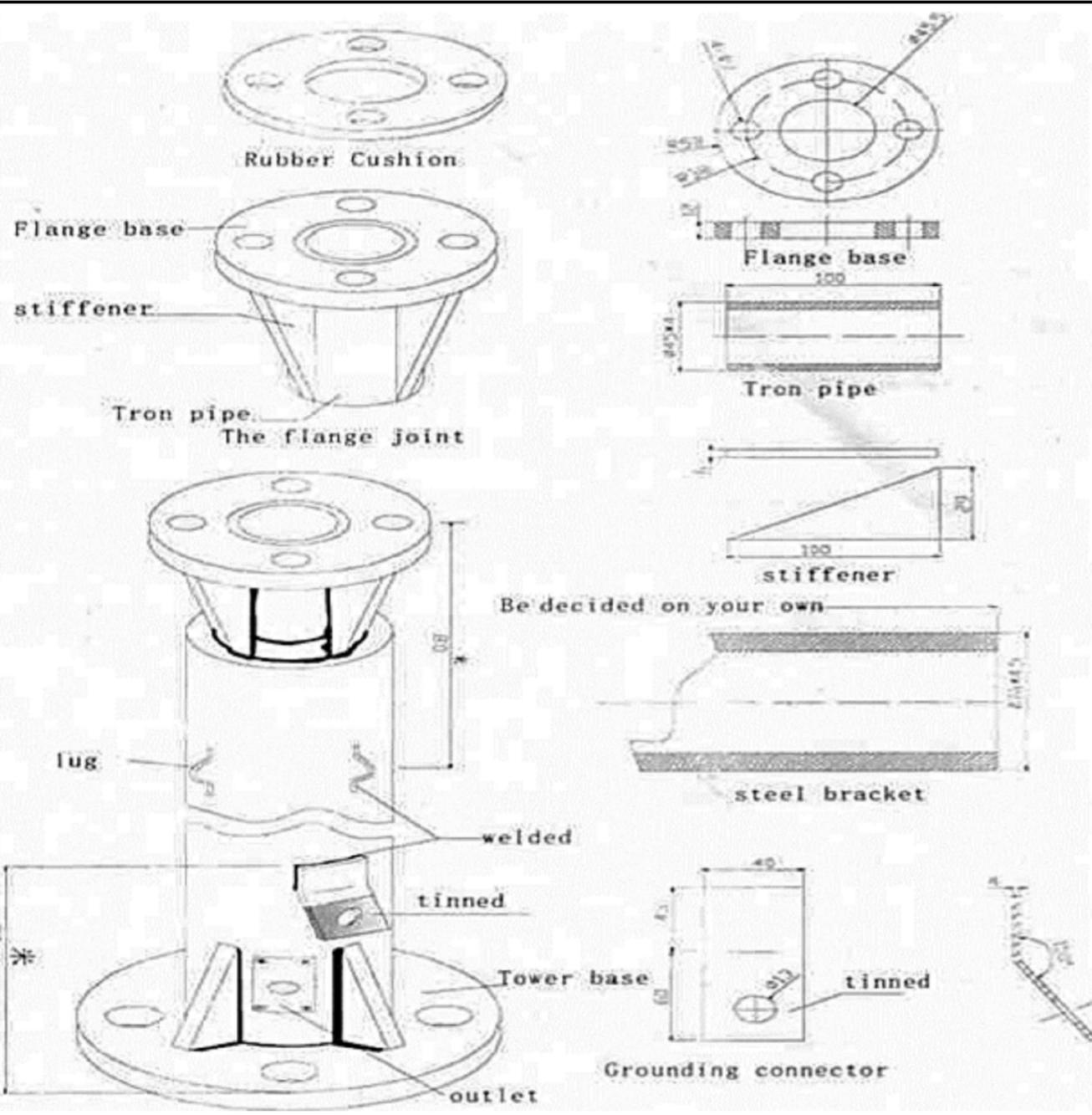


Figure1: manufacture of mixed earth mound

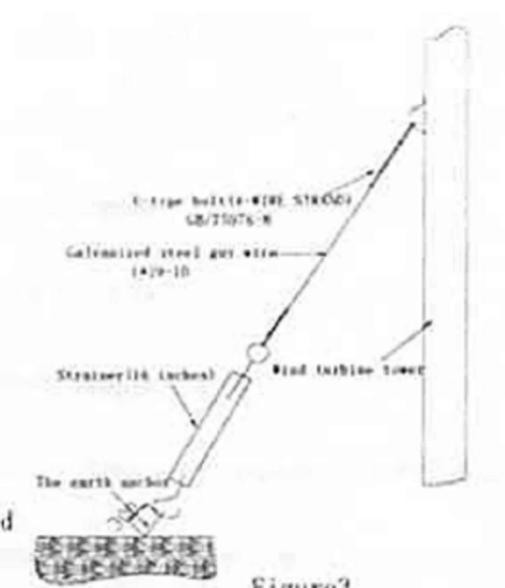
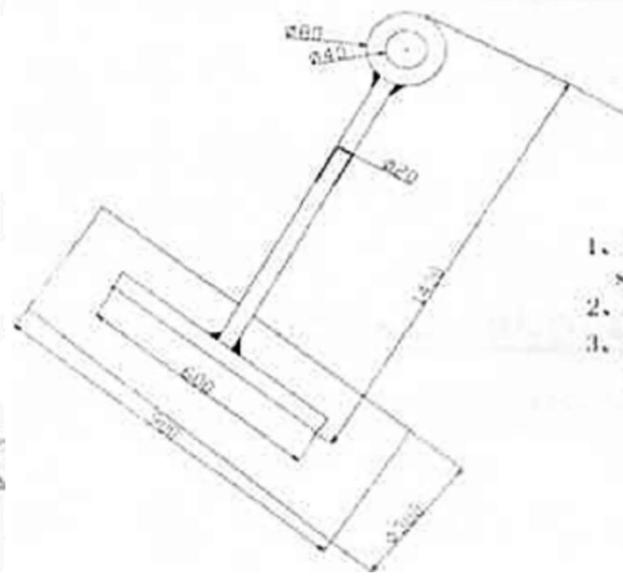


Figure3 The manufacture of guy cable

Technical requirement

1. L-type bolts for four galvanized wire strands; screws should be 60 higher from the mixed earth.
2. C25 mortar can be used for mixed earth.
3. The metal parts should be under the threatment anticorrosion and rust proofing.

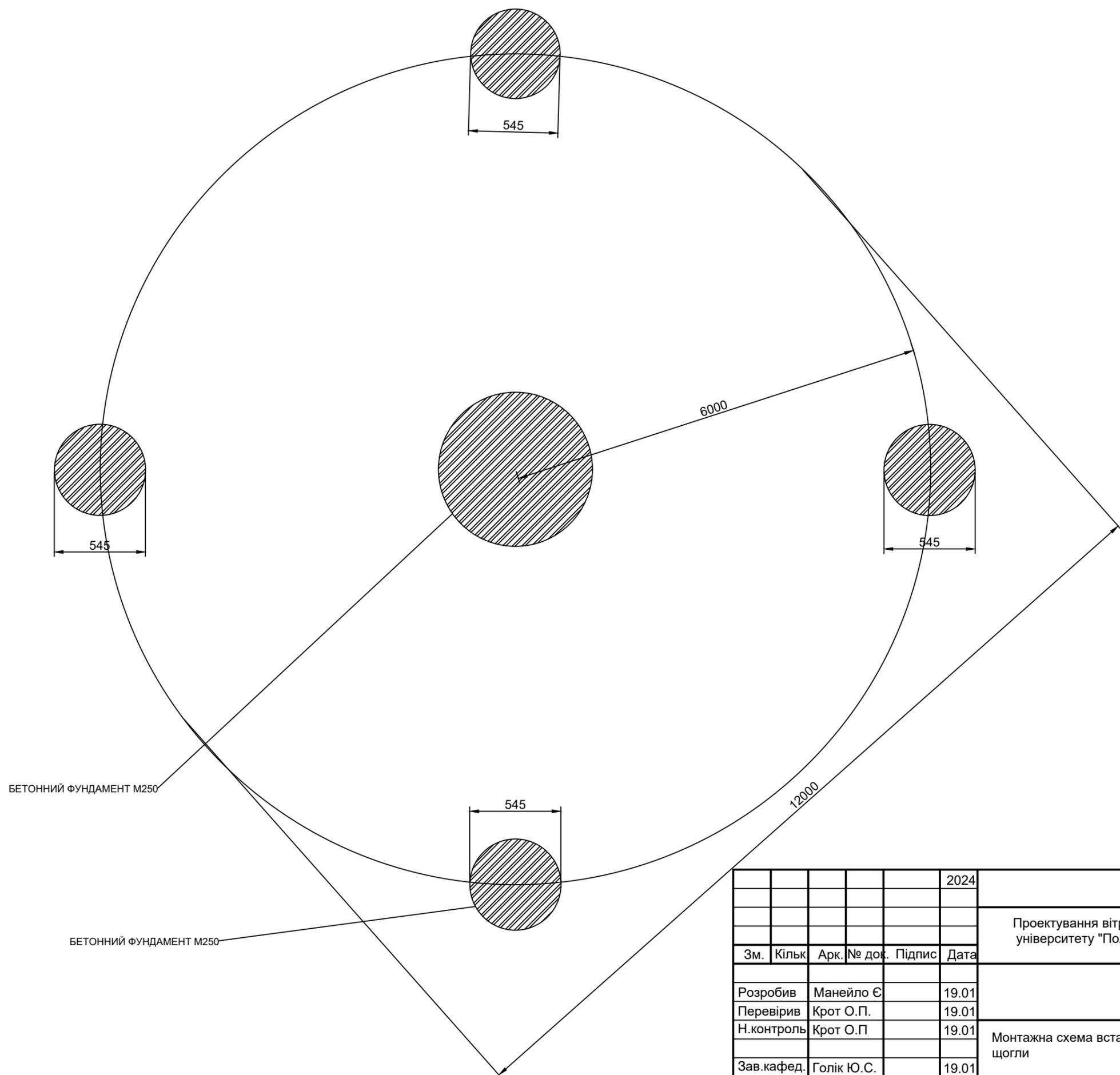


Погоджено:	
Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. № ор.	

					2025	601HT-10700835-ДР		
Проектування вітрогенераторної установки для Національного університету "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"								
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Стадія	Аркуш	Аркушів
						Р	7	10
Розробив		Салашний В.			19.01	 Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"		
Перевірив		Кутний Б.А.			19.01			
Н.контроль		Кутний Б.А.			19.01			
Зав.кафед.		Голік Ю.С.			19.01			
Елементи з'єднання щогли								

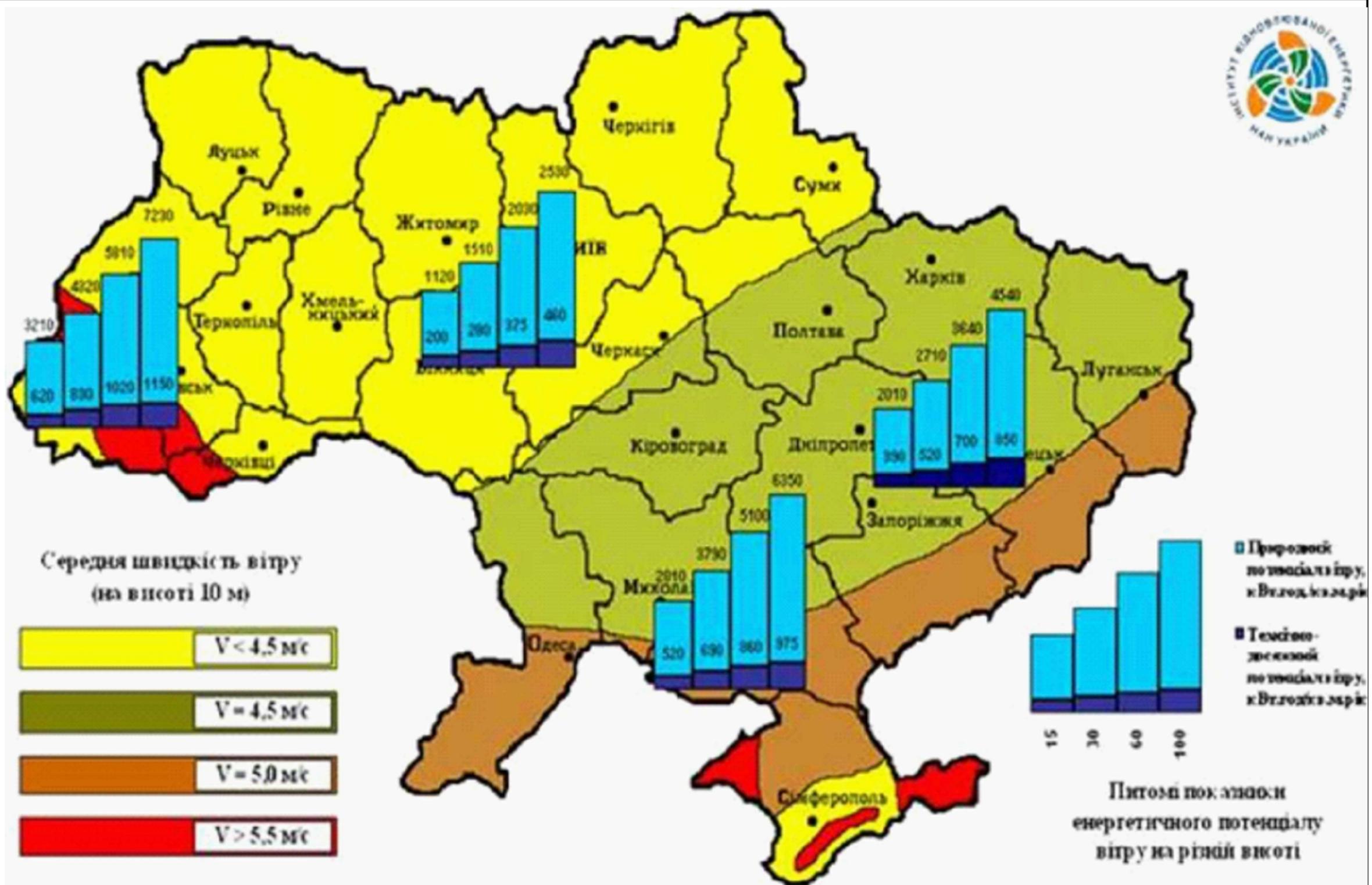
Погоджено:	

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. № ор.	



					2024
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата
Розробив	Манейло Є				19.01
Перевірів	Крот О.П.				19.01
Н.контроль	Крот О.П.				19.01
Зав.кафед.	Голік Ю.С.				19.01

601НТ-10700835-ДР		
Проектування вітрогенераторної установки для Національного університету "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"		
Стадія	Аркуш	Аркушів
Р	9	10
Монтажна схема встановлення щогли		 Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"



Погоджено:	
Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. № ор.	

					2025	601НТ-10700835-ДР
Проектування вітрогенераторної установки для Національного університету "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"						
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Стадія
						Аркуш
						Аркушів
						Р
						6
						10
Зав.кафед. Голік Ю.С.						19.01
Схема вітрового потенціалу на території України						 Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"