

Вінницький національний технічний університет

Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електричних станцій і систем

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Порівняльний аналіз конструкцій вітрових енергетичних установок»

Виконав: студент 2-го курсу, групи 1ЕСМ-23м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
освітня програма «Електричні системи та мережі»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Коваленко Є. О.
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф. каф. ЕСС

Комар В.О.
(прізвище та ініціали)

«05» 12 2024 р.

Опонент:

К.Т.Н., доцент каф. ЕССЕМ Воїтюк Ю.П.
(прізвище та ініціали)

«9» 12 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., проф. Комар В. О.
(прізвище та ініціали)

«06» 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ – 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма – Електричні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В. О.

17.09 2024 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Коваленку Євгенію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Порівняльний аналіз конструкцій вітрових енергетичних установок»

керівник роботи д.т.н., проф. каф. ЕСС Комар В. О.

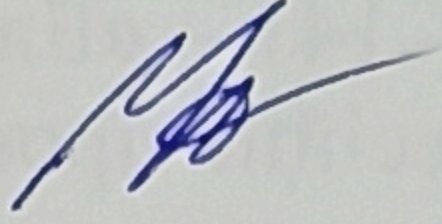
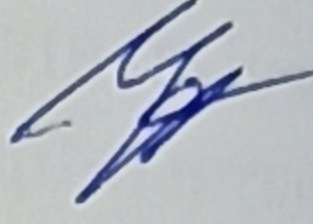
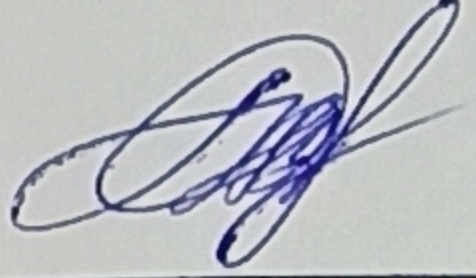
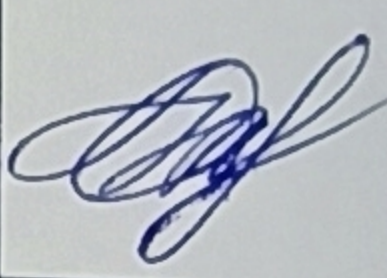
затверджена наказом вищого навчального закладу від 17.09.2024 року № 310

2. Строк подання студентом роботи 28 листопада 2024 року.

3. Вихідні дані до роботи: Перелік літературних джерел за тематикою роботи. Посилання на періодичні видання. Вихідні дані для проведення проекту вітроенергетичної установки потужністю 4,8 кВт.

4. Зміст текстової частини: Вступ. 1 Загальна характеристика вітроенергетичних установок. 2 Проблеми підвищення ефективності “малої” вітроелектроенергетики. 3 Економічна ефективність ВЕС. 4 Заходи забезпечення надійної та безпечної експлуатації електроустановок. Висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Класифікація вітроколес та загальний вигляд вітроагрегата. 2. Аеродинамічні характеристики вітроколес. 3 Редуктор блоку генераторів. 5 Дія сил вітрового потоку на лопать з горизонтальним, вертикальним валом та в режимі флюгера 6. Вітроелектроустановка “Надія”. Загальний вигляд. 7. Результат розрахунків та основні техніко-економічні показники ВЕС

6. Консультанти розділів роботи		Підпис, дата	
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Комар В. О., д.т.н., проф. кафедри ЕСС		
Економічна частина	Остра Н. В., к.т.н., доц., доцент кафедри ЕСС		

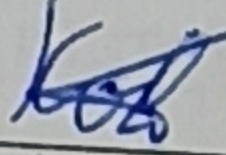
7. Дата видачі завдання 14 вересня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

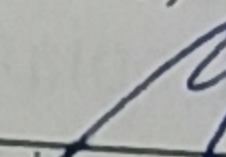
№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи		Примітки
		початок	кінець	
1	Розроблення технічного завдання	14.09.24	28.09.24	
2	Загальна характеристика вітроенергетичних установок	29.09.24	07.10.24	
3	Проблеми підвищення ефективності “малої” вітроелектроенергетики	08.10.24	24.10.24	
4	Заходи забезпечення надійної та безпечної експлуатації електроустановок	25.10.24	01.11.24	
5	Економічна ефективність ВЕС	02.11.24	07.12.24	
6	Оформлення пояснювальної записки	08.11.24	12.11.24	
7	Виконання графічної частини та оформлення презентації	12.11.24	28.11.24	

Студент

Керівник роботи


(підпис)

Є. О. Коваленко


(підпис)

В. О. Комар

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	3
ВСТУП.....	5
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК	10
1.1 Класифікація вітродвигунів і вітроенергетичних установок	10
1.2 Конструювання і розрахунок вітроустановок з орієнтаційно-залежною парусністю	20
1.3 Розрахунок ВЕУ на міцність	26
2 ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ “МАЛОЇ” ВІТРОЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ.....	33
2.1 Використання відновлювальної енергії вітру приймальними пристроями вітроелектроустановок та його ефективність.	33
2.3 Використання встановленої потужності електрогенераторів	50
та збільшення його ефективності.....	50
2.4 Технічні параметри малої вітроелектроенергетичної установки з вертикальним валом в порівнянні з іншими вітро- та бензоелектростанціями	58
2.5 Визначення ефективної потужності та елементи накопичувачів	64
Модифікації ВЕУ	68
3.ПОТЕНЦІАЛ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ.....	69
3.1 Вітрова енергетика в Україні станом на 2018 рік.....	72
4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВЕС.....	74
4.1 Визначення капіталовкладень.....	75
4.2 Визначення собівартості виробітку електроенергії.....	76
5. ЗАХОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОЇ ТА БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК	79
5.1 Задачі розділу	79
5.2. Аналіз умов праці робіт пов’язаних з монтажем вітряків, які працюють в складі електроенергетичної системи України	80

5.3 Розробка організаційно-технічних рішень з охорони праці при електричному монтажі вітряка	82
5.3.1. Організаційно-технічні рішення з охорони праці за стандартами України з вітроенергетики.....	82
5.3.2 Розрахунок параметрів заземлюючого пристрою вітрогенератора	86
5.4 Протипожежний захист вітроелектричних установок.....	90
5.5 Дослідження стійкості роботи ВЕУ в умовах дії іонізуючих випромінювань	92
5.5.1 Оцінка стійкості роботи електричної частини ВЕС в умовах дії іонізуючих випромінювань	94
5.5.2 Оцінка стійкості електричної частини ВЕС 12 МВт в умовах дії ЕМІ95	
5.5.3 розробка заходів по підвищенню стійкості роботи електричної частини ВЕС у надзвичайних ситуаціях.....	96
ВИСНОВКИ.....	99
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	101
Додаток А Протокол перевірки навчальної (кваліфікаційної) роботи	103
Додаток Б Технічне завдання.....	107
Додаток В	108
Додаток Г	109
Додаток Ж	109

АНОТАЦІЯ

УДК 621.316.3

Коваленко Євгеній Олександрович «Порівняльний аналіз конструкцій вітрових енергетичних установок». Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Вінниця: ВНТУ. 2024. 101с.

Укр. мовою. Бібліогр.: 20 назв; рис.: 21, табл.: 12.

В даній магістерській роботі було розглянуто питання, що стосуються проблем підвищення ефективності “малої” вітрової енергетики, загальна характеристика вітродвигунів та їх класифікація, розрахунок вітроенергетичної установки (ВЕУ) на міцність, використання відновлювальної енергії вітру приймальними пристроями та їх ефективність, акумулювання нестабільної енергії вітру та визначення оптимального енергоносія, використання встановленої потужності електрогенераторів та збільшення його ефективності. Зроблено аналіз технічних параметрів малої вітроенергетичної установки з вертикальним валом в порівнянні з іншими вітростанціями та бензоелектростанціями. Виконано розрахунок економічної ефективності ВЕС та визначено собівартість виробітку електроенергії.

В результаті розрахунків отримано параметри які відповідають дійсним параметрам діючої ВЕС. По роботі з магістерською роботою зроблено висновки.

Ключові слова: електроенергія, відновлювані джерела енергії, вітрові установки, акумулювання.

ANNOTATION

Kovalenko Evgeniy Oleksandrovich “Comparative analysis of wind power plant designs”. Master’s qualification work in specialty 141 – Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics. Vinnytsia: VNTU. 2024. 101p.

In Ukrainian. Bibliography: 20 titles; fig.: 21, tab.: 12.

This master’s work considered issues related to the problems of increasing the efficiency of “small” wind power, general characteristics of wind turbines and their classification, calculation of wind power plants (WTPs) for strength, use of renewable wind energy by receiving devices and their efficiency, accumulation of unstable wind energy and determination of the optimal energy carrier, use of installed power of electric generators and increasing its efficiency. An analysis of the technical parameters of a small vertical shaft wind power plant was made in comparison with other wind farms and gasoline power plants. The economic efficiency of the wind power plant was calculated and the cost of electricity generation was determined.

As a result of the calculations, parameters were obtained that correspond to the actual parameters of the operating wind power plant. Conclusions were drawn based on the work on the master's thesis.

Keywords: electricity, renewable energy sources, wind turbines, storage.

ВСТУП

Актуальність: Вітроенергетика в багатьох країнах світу (Данія, США, Канада, Великобританія, Німеччина, Нідерланди), починаючи з 70-х років минулого століття, розвивалася швидкими темпами. Сучасна вітроенергетика є однією з найбільш перспективних галузей альтернативної енергетики і за прогнозами до 2030 року вітрова енергія буде задовольняти від 12 до 25 % електроенергетичної потреби в різних країнах світу.

Згідно науковим прогнозам відносно світових запасів твердого, рідкого та газового вуглецевого палива, які були опубліковані в матеріалах XIII всесвітньої енергетичної конференції ці запаси складають: по кам'яному вугіллю – 430 років, нафті – 35 років, природному газу – 50 років, якщо споживання цих видів палива буде продовжуватись з тією ж інтенсивністю, яка склалась тепер. В той же час, кількість енергії вітру на планеті оцінюється і в межах $1 \cdot 10^{10}$ МВт·год. за рік.

В Україні можна виділити 6 регіонів для яких використання вітру є економічно ефективними. Це Карпатський, Приазовський, Донбаський, Західно-Кримський, Гірсько-Кримський, Керченський, а також дві зони Харківську і Полтавську.

Сьогодні Україна – лідер у галузі розвитку вітроенергетики серед країн Східної Європи і республік колишнього СРСР. Загальна потужність ВЕС наприкінці 2002 р. вже досягла 45 МВт. І хоча цей показник занадто низький у порівнянні з Німеччиною або Данією, Україна належить до тих не багатьох країн, де налагоджене серійне виробництво 100 кВт вітроустановок і розпочато підготовку до виробництва більш потужних установок на 600 і 1000 кВт. До того ж українськими вченими Національної Академії наук України створений вітроенергетичний атлас країни, що дозволяє обрати найкращі райони для будівництва вітроелектростанцій. За допомогою комп'ютерних програм тепер можна визначити майданчики на яких ВЕУ будуть працювати з максимальною ефективністю.

Звичайно, відновлювальна енергія вітру нестабільна й в сучасних умовах використовується вкрай не ефективно, тому проблема приймання та перетворення вітрової енергії в електроенергію необхідних параметрів, яка придатна для широкого споживання, стає дуже актуальною.

Способів вітроприймання та перетворення енергії вітру в механічну, теплову, електричну енергію різними пристроями за час розвитку вітроенергетики розроблено й пропонується багато, але усі вони зводяться до пристроїв двох типів [1]:

- з горизонтальною віссю обертання пропелера, що обертається в площині, перпендикулярній напрямку дії вітру, полінеарні;
- з вертикальною віссю обертання ротора, який обертається в площині, паралельній напрямку дії вітру, ортогональні.

Вірогідно, збільшення ефективності використання енергії вітру можливо тільки при ортогональних конструкціях вітроприймальних пристроїв, в яких поверхнею. Що сприймає дію вітрового потоку є вертикальне вітрило необхідних розмірів, яке рухається в напрямі дії вітру й може змінювати свій кут атаки відповідно до швидкості вітру.

Можливі інші способи приймання та перетворення енергії вітру та пристрої для їх реалізації, але впровадження їх в сучасну вітроенергетику вкрай обмежене.

Існує три варіанти взаємодії ВЕУ з навколишнім середовищем:

1. ВЕУ працює цілком автономно, в місцевості, де немає ніяких електромереж, і для підзарядки акумуляторів в періоди відсутності вітру використовує бензиноелектрогенератори малої потужності.

2. ВЕУ працює автономно, але має ввід від електромережі напругою 220 В для підзарядки акумуляторів в періоди відсутності вітру.

3. ВЕУ працює автономно, але має ввід від електромережі напругою 220 В та бензиноелектрогенератор для підзарядки акумуляторів в періоди відсутності вітру.

В якості ротора вітроприймальних пристроїв з горизонтальним валом з давніх давен використовують різного роду пропелери: від пропелерів з трапецієподібними лопатями стародавніх млинів до суперсучасних пропелерів із склопалстиковими

лопатями, сконструйованими на базі найскладніших аеродинамічних розрахунків профілю відповідного крила.

Але елементарний аналіз параметрів пропелерних вітроустановок з горизонтальним валом показує, що вони малоефективні.

В цих випадках накопичування енергії вітру може здійснюватись в залежності від потреб споживача, який зацікавлений в безперервному електроживленні на протязі доби чи декілька діб, або в залежності від обсягу виробництва електроенергії вітроустановкою з метою забезпечення цією енергією максимальної кількості споживачів в даний період.

Стимулом для розвитку вітроенергетики є також бажання виробляти на своїй території екологічно чисту енергію.

У теперішній час вітротехнологія отримання енергії є найбільш дешевим способом вироблення екологічно чистої енергії. Безперечно перевагою вітрових електростанцій є те, що єдиним чином забруднення навколишнього середовища є утворення при їх роботі шуму низької частоти.

Найбільш ефективною, виходячи із технічної конструкції і оптимізації роботи є вітроустановки потужність яких не перевищує 5 кВт, оскільки їх габарити відповідають дозволеним масштабам. Також відповідну потужність досягають в залежності від сили потоку вітру і його швидкості. Можливість досягнення більшої потужності існує, але для цього потрібно збільшити масштаби конструкції, що призведе до збільшення економічних затрат і збільшення вібрацій, які є негативними. Для того щоб обрати максимально доцільну потужність ще потрібно врахувати і зміни в навколишньому середовищі де працюватиме вітроустановка. Оскільки в Вінницькій області невелика швидкість вітрового потоку, тому потужність 4,8 кВт є найбільш економічно і технічно доцільною.

Альтернативою вітроелектростанціям (ВЕС) малої потужності на ринку України стають бензоелектричні станції (БЕС) близької за величиною потужності за умови їх безперервної роботи хоча б по 8 годин на добу, але електроживлення споживачів на протязі значного часу від БЕС економічно не вигідно та екологічно шкідливе (постійна дозаправка паливом, заміна масла та фільтрів, поточні та

капітальні ремонти, шум, вихлопні гази та інше). До того ж споживання палива такими БЕС не залежить від величини навантаження агрегату (одна електрична лампа живиться струмом від БЕС чи бетономішалка) .

Незважаючи на абсолютну екологічну чистоту вітроенергетики негативний вплив БЕС на природу все-таки є.

Розміщення ВЕУ у вітропарку повинно здійснюватись за умов мінімуму взаємовпливу ВЕУ при різних можливих напрямках вітру та меншої площі відчуження ними території.

Визначається, що оптимальною відстанню між сусідніми ВЕУ у всіх напрямках є 6-18 діаметрів вітроколеса, тобто при його діаметрі 100 м необхідна територія тільки для однієї ВЕУ складає 5-7 км², а для БЕС -десятки квадратних кілометрів.

Спорудження ВЕУ змінює ландшафт і у ряді випадків робить території під ними непридатними для неенергетичних цілей. Опори ЛЕП, допоміжне устаткування, підстанції, під'їзні колії практично можуть зайняти всю відведену територію. Тут також відзначимо негативний вплив потужного електромагнітного поля від густої сітки високовольтних ЛЕП.

При використанні вітроколiс з вертикальною віссю обертання частина негативного впливу БЕС на навколишнє середовище відпадає.

Значним негативним фактором впливу БЕС на навколишнє середовище є також шумовий ефект. При роботі БЕС виникає супроводжуваний коливаннями повітря шум. Шумові ефекти від ВЕУ можуть бути механічні та аеродинамічні. Аеродинамічний вплив може бути низькочастотним (менше за 16-20 Гц) та високочастотним (від 20 Гц до декількох кГц)

У безпосередній близькості від установки шум може досягати величини до 50-80 дБ. Відзначимо, що порогова витривалість людського вуха дорівнює 130 дБ, а найменший приріст сили звуку для вуха дорівнює 1 дБ.

БЕС також створюють значні перешкоди для птахів та літаючих комах у районі її експлуатації.

Потужні обертові вітрові колеса горизонтальних ВЕС створюють екранувальний вплив, аналогічний впливу височини у декілька сотен. метрів. Це створює перешкоди у прийомі телевізійних та радіо передач. Такі перешкоди виникають і від роботи ВЕУ.

При аварійних ситуаціях на ВЕУ існує небезпека розкиду пошкоджених частин вітроколеса.

У той же час ВЕС сприяють зменшенню сили вітру, зниженн. вітрової ерозії ґрунту, зменшенню вітру з акваторій водоймищ та водосховищ.

Мета і задачі дослідження. Метою магістерської роботи є аналіз вітрових установок.

Об'єктом дослідження магістерської роботи є ВЕУ потужністю 4,8 кВт.

Предметом дослідження є методи і засоби проектування вітрових електростанцій.

Методи дослідження. Для аналізу та розв'язання поставлених задач використано методи математичного моделювання. Під час проектування головної схеми електричних з'єднань підстанцій використовуються елементи теорії надійності. Дослідження проводились з використанням комплексу прикладних програм, що розроблені на кафедрі електричних станцій і систем.

Особистий внесок здобувача. Усі результати, які складають основний зміст магістерської роботи, отримані автором самостійно.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

1.1 Класифікація вітродвигунів і вітроенергетичних установок

Вітрова енергетична установка; вітроенергоустановка; ВУ – установка, яка перетворює кінетичну енергію вітру в інший вид енергії.

Вітрова електрична установка; вітроелектроустановка; ВЕУ – ВУ, яка перетворює кінетичну енергію вітру в електричну.

Вітрова механічна установка; вітромеханічна установка; ВМУ – ВУ з силовим передавачем на механічному навантаженні.

Горизонтально-осьова вітрова енергетична установка; ВУГО – ВУ, в якій вісь обертання ротора в основному співпадає з напрямком вітру.

Вертикально-осьова вітрова енергетична установка; ВУВО – ВУ, в якій вісь обертання ротора розташована вертикально.

Автономна ВЕС – ВЕС, яка живить електроенергією відокремленого споживача і не є частиною загальної енергосистеми.

Скомбінована ВЕС – ВЕС, яка виробляє електроенергію перетворюючи кінетичну енергію вітру та інших джерел, наприклад, фото-геліоперетворювачів, термоелектричних, дизель-генераторних.

Офшорна вітрова електрична станція; офшорна електростанція; ВЕСО – вітрова електростанція, розташована в акваторії.

ВЕУ малої потужності; -ВЕУ номінальною потужністю до 100 кВт включно.

ВЕУ середньої потужності, - ВЕУ номінальною потужністю понад 100 кВт до 1000 кВт.

ВЕУ великої потужності, - ВЕУ номінальною потужністю 1000 кВт і більше.

Вітрова електрична станція; вітроелектростанція; ВЕС – група ВЕУ, устаткування і споруди, які розташовані на одній території, функційно зв'язані між

собою і становлять єдиний комплекс, призначений виробляти електроенергію, перетворюючи кінетичну енергію вітру в електричну.

Вітродвигунами називаються пристрої, призначені для перетворення кінетичної енергії вітру в інші види енергії. Вітродвигуни класифікуються по двох основних ознаках: геометрії вітроприймального пристрою (вітроколеса) і його положенню щодо вітру.

Номинальна потужність ВЕУ. Потужність, значення якої встановлено виробником для певної швидкості вітру за конкретних атмосферних умов.

Корисна потужність ВЕУ (ВЕС). Потужність з відрахуванням втрат і потужності, яку вони споживають на власні потреби.

Площа обмаху ротора. Площа проекції поверхні, яку утворює лопать ротора ВУГО за один повний оберт, на площину, перпендикулярну осі обертання ротора.

Коефіцієнт заповненості ротора (ВУГО). Відношення площі проекцій усіх лопатей ротора на обмахувану поверхню, за найменшого кута їх установлення, до площі обмахуваної поверхні.

Характеристика потужності ВЕУ; крива потужності. Залежність електричної потужності, яку розвиває ВЕУ, від швидкості вітру за конкретних атмосферних умов.

Коефіцієнт потужності ВУ; коефіцієнт використання енергії вітру ВУ. Відношення потужності, яку розвиває ВУ, до потужності вітрового потоку, який проходить через площу обмаху ротора.

Коефіцієнт використання номінальної потужності ВЕУ (ВЕС). Відношення кількості енергії, фактично переданої у мережу (за показом лічильника) протягом певного часу, до розрахункової величини можливого виробітку електроенергії за той самий час безперервної роботи у режимі номінальної потужності.

Коефіцієнт готовності ВЕУ (ВЕС). Один із показників надійності, який дорівнює відношенню часу, протягом якого ВЕУ (ВЕС) готова до роботи і при

цьому працює або не працює через відсутність віту, до загального часу за певний період.

Розрахунковий річний виробіток електроенергії ВЕУ (ВЕС). Величина потенційного виробітку електроенергії ВЕУ (ВЕС) за один рік, розрахована за теоретичною характеристикою потужності з урахуванням розподілу повторюваності швидкості вітру на висоті осі ротора за коефіцієнта готовності, що дорівнює одиниці.

Основні складові частини ВУ, ВЕУ і ВЕС:

Ротор ВУ. Складова частина ВУ, до якої належить система обертових аеродинамічних елементів, приєднаних до єдиного валу, яка перетворює кінетичну енергію вітру в механічну енергію обертового руху валу.

Противітровий ротор. Ротор ВУГО, який, відносно напрямку повітряного потоку, розташований перед опорою.

Завітровий ротор. Ротор ВУГО, який, відносно напрямку повітряного потоку, розташований за опорою.

Лопать. Аеродинамічний елемент ротора, який сприймає енергію повітряного потоку і перетворює її в обертальний рух валу ротора.

Гондола. Складова частина ВУГО, установлювана на вершині опори ВУ, в якій розташовують вузли кріплення валу ротора, трансмісію генератор та (або) інші елементи.

Опора; вежа. Складова частина ВУ, яка тримає гондолу і ротор для ВУГО, або ротор ВУВО над поверхнею землі.

Прямий привід. Привід ВУ, в якому вал ротора з'єднано з валом навантаження без трансмісії.

Опорно-повертальний пристрій ВУГО. Пристрій для повернення гондоли і ротора навколо вертикальної осі до напрямку вітряного потоку.

Віндроza. Допоміжний конструктивний елемент ВУГО з багатолопатеvim ротором, використовуваний для приведення в рух опорно-повертального пристрою у напрямі повітряного потоку.

Система керування поворотом гондоли ВУГО. Система керування ВУ, яка утримує вісь ротора у напрямі повітряного потоку з найменшим відхилом .

Система керування ВЕУ. Автоматична система, яка приймає інформацію (про стан і роботу механізмів та систем ВЕУ, а також іншу інформацію), обробляє її за заданою програмою та забезпечує запускання, підтримування робочих параметрів ВЕУ та її зупинення в аварійних ситуаціях згідно з установленою програмою.

Система керування ВЕС. Автоматизована система, яка приймає інформацію від устаткування та систем, які належать ВЕС, обробляє, систематизує і запам'ятовує одержану інформацію, оптимізує роботу ВЕС, а також дає змогу обслузі впливати.

Класифікація ВУ:

1. За призначенням:

- для виробництва електроенергії;
- для водопідняття;
- для отримання тепла;
- для отримання механічної енергії.

2. За потужністю:

- малої потужності - до 100 кВт включно;
- середньої потужності - понад 100 кВт до 1000 кВт;
- великої потужності – 1000 кВт і більше.

3. За напрямком осі ротора ВУ:

- з горизонтальною віссю обертання:
 - а) паралельною напрямку вітряного потоку.
 - б) перпендикулярною вітряному.

-з вертикальною віссю обертання, перпендикулярною (ортогональною) напрямку вітряного потоку;

а) з двоярусними вертикальними лопатями на загальному валу (ВДД);

б) з двома лопатями у вертикальній площині, розташованими на візках і нахиленими у зовнішній бік від осі, а також об'єднані горизонтальним крилом у єдину конструкцію з центральною опорою (ВЛ2) ;

в) з багатьма лопатями, розміщеними на візках, зв'язаних поміж собою, які рухаються по колу, з діаметром набагато більшим за висоту лопатей (до 20 висот) ВЛ-МЛП. Це своєрідний замкнутий у кільце поїзд, який рухається по кільцевій колії;

4. За числом лопатей вітроколеса:

- однолопатеві
- дволопатеві;
- трилопатеві;
- багатолопатеві.

5. За швидкохідністю:

- тихохідні;
- швидкохідні.

6. За роботою в енергосистемі:

- підключені до енергосистеми;
- працюючі автономно на ізолюваного споживача.

На рисунку 1.1 представлені основні типи вітродвигунів. Вісь обертання вітроколеса може бути рівнобіжна або перпендикулярна повітряному потоку. У першому випадку установка буде горизонтально-осьовою (коаксіальною) (рисунки 1.1,а), у другому - вертикально-осьовий (ортогональною) (рисунки 1.1,б) [1.2.3]. У вертикально-осьових вітродвигунах звичайно вітроприймальний пристрій називають ротором [4] .

У свою чергу, горизонтально-осьові вітродвигуни поділяють на одно- двох-, трилопатеві і багатолопатні. Серед вертикально-осьових вітродвигунів найбільш відомі: чашковий ротор, ротор Савоніуса, ротор Дар'є, ротор Еванса й інші.

Основною обертаючою силою горизонтально-осьових вітроколес є піднімальна сила. У робочому положенні вітроколесо щодо вітрового потоку може розташовуватися перед несучою опорою або за нею (рисунк 1.1,а). У першому виконанні вітроколесо забезпечується стабілізатором для утримання його в робочому положенні. В другому виконанні опора частково затінює вітроколесо і турбулізує потік, що набігає на його, що може привести до виникнення підвищеного шуму і спотворення вихідних параметрів.

Вітроенергетичні установки - це комплекс пристроїв для безпосереднього виконання механічної роботи або для виробництва електроенергії.

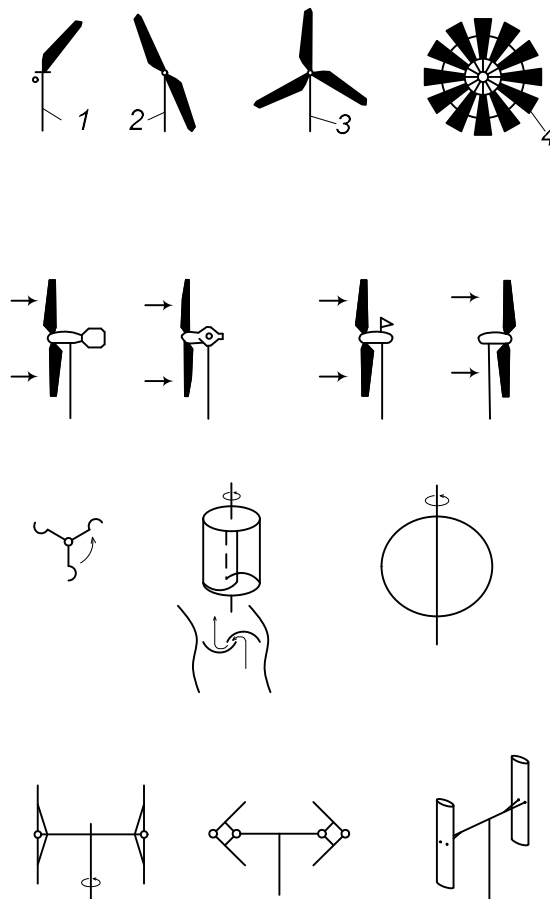


Рисунок 1.1 - Класифікація вітроколес

Звичайно у вітроенергетичних установках застосовують три перших типи вітроколеса, тому що вони відрізняються дуже плавним ходом. Багатолопатні колеса, що розвивають більший момент, що крутить, при слабкому вітрі,

використовують найчастіше для перекачування води й інших цілей, що не вимагають високої частоти обертання останніх.

На рисунку 1.2 показаний загальний вид вітроагрегата з горизонтальною віссю обертання. Вітроагрегат містить лопать 1, голівку 2, вежу 3, віндрозу 4 . Поворотний пристрій, на якому закріплюється вітроколесо, зв'язане через редуктор з електрогенератором, називається голівкою вітродвигуна. Вона розташовується нагорі опорної вежі. Принципова схема вітроагрегата з горизонтальною віссю обертання представлена на рисунку 1.3 [5].

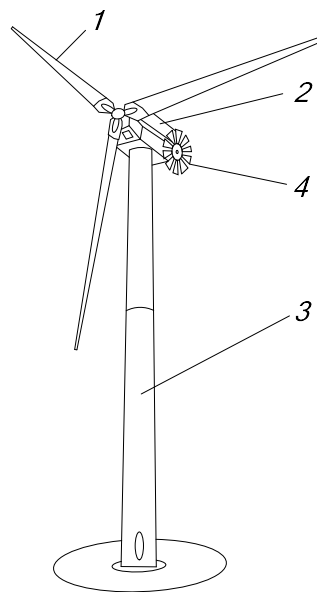


Рисунок 1.2 - Загальний вид вітроагрегата з горизонтальною віссю обертання

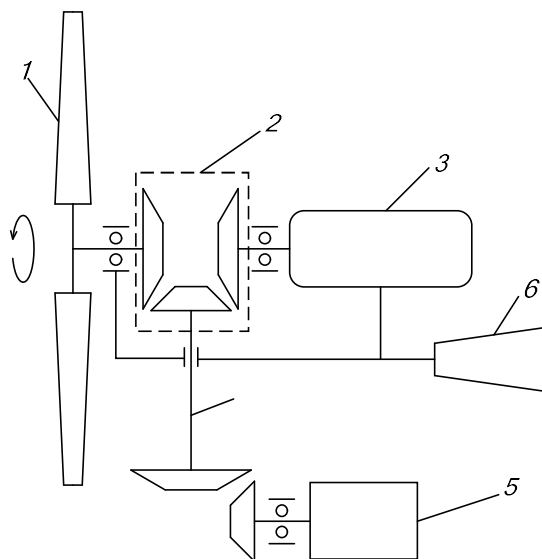


Рисунок 1.3 - Принципова схема вітроагрегата з горизонтальною віссю обертання

- 1 - лопать;
- 2 - редуктор;
- 3 - генератор;
- 4 - вертикальний вал;
- 5 - споживач;
- 6 - віндроза.

Вітрові установки з вертикальною віссю обертання можуть використовувати як силу опору, так і піднімальну силу (рисунок 1.1, б). Унаслідок своєї геометрії вони знаходяться в робочому положенні при будь-якому напрямку вітру. Основними елементами вертикально-осьового вітродвигуна представленого на рис. 1.4, є ротор 1, механічна трансмісія 2, перетворювач енергії 3 і споживач механічної енергії 4.

Основними характеристиками вітроколеса є коефіцієнт використання енергії вітру ξ , швидкохідність, або число модулів z , момент на валу M , потужність N , частота обертання n .

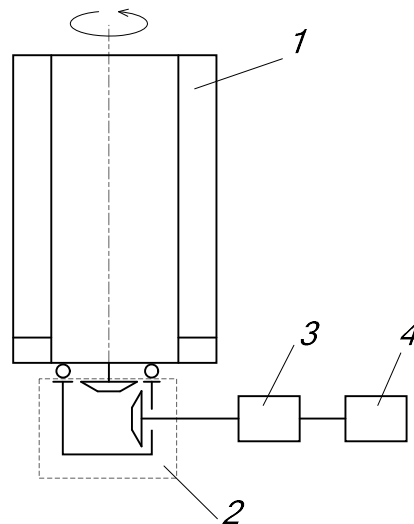


Рисунок 1.4 - Основні елементи вертикально-осьового вітродвигуна

Частина повної енергії потоку E , сприйнятої вітроколесом, що вітродвигун перетворить у механічну енергію $E_{\text{в}}у$, оцінюється коефіцієнтом використання енергії вітру.

$$\xi = E_{\text{в}}у / E \quad (1.1)$$

Найважливішою характеристикою колеса являється його швидкохідність, або число модулів

$$Z = \frac{\omega \cdot R}{U}, \quad (1.2)$$

де ω - кутова швидкість;

R - радіус вітроколеса;

U - швидкість перед вітроколесом.

Розрізняють швидкохідні і тихохідні вітроколеса.

У кращих швидкохідних коліс значення ξ_{max} доходить до 0,45 - 0,48, а в тихохідних $\xi_{\text{max}} = 0,35 - 0,38$.

Аеродинамічна характеристика вітроколеса показує залежність відверненого (відносного) моменту M и коефіцієнта використання енергії вітру з від числа модулів. Аеродинамічні характеристики деяких типів вітроколес приведені на рисунку 1.5 [1].

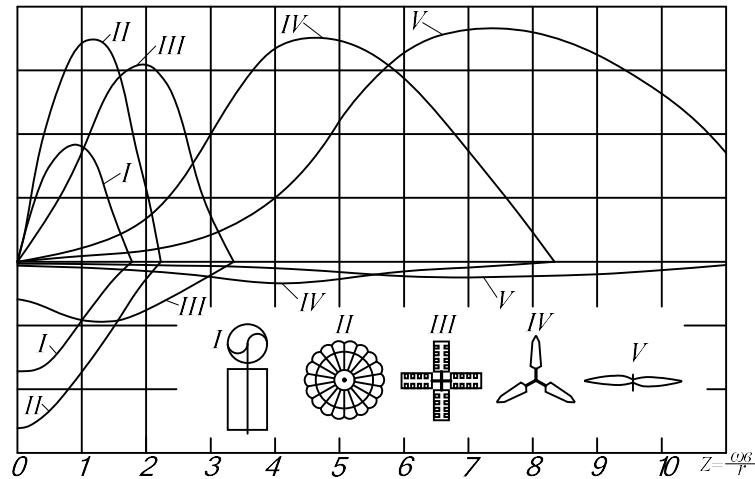


Рисунок 1.5 - Аеродинамічні характеристики вітроколес

- I - роторного;
- II- крильчатого багатолопатного;
- III - вітряного млина;
- IV- трилопатного;
- V – двухлопатного.

Вітроенергетика в багатьох країнах світу (Данія, США, Канада, Великобританія, Німеччина, Нідерланди), починаючи з 70-х років минулого століття, розвивалася швидкими темпами [1,2,3]. Сучасна вітроенергетика є однієї з найбільш перспективних галузей альтернативної енергетики і за прогнозами до 2010 року вітрова енергія буде задовольняти від 2 до 25 % електроенергетичної потреби в різних країнах світу.

Розвиткові вітроенергетики значно сприяє Указ Президента України "Про будівництво вітрових електростанцій" № 159/96 від 2.03.96 р., на підставі якого Урядом України створена цільова програма серійного виробництва вітроенергетичних агрегатів. У таблиці 1.1. приведені технічні характеристики вітроагрегатів коаксiального й ортогонального типів, розроблених на підприємствах і в організаціях України за останні 10-15 років.

Потенціал енергії вітру в межах території України в 1500-2000 разів перевищує її нинішні потреби в електроенергії. Відповідно до розробленої цільової

програми до 2010 року планується побудувати вітрові електростанції, сумарна потужність яких складе 2 % у загальному балансі електроенергетики країни.

1.2 Конструювання і розрахунок вітроустановок з орієнтаційно-залежною парусністю

Найбільше поширення на практиці одержали вітроустановки (ВУ) із багатолопатними колісьми, що мають горизонтальну вісь обертання.

Простота виготовлення й обслуговування даних вітроустановок є найкращою характеристикою, що дозволяє людині їх використовувати протягом декількох століть.

Безсумнівною перевагою даних ВУ є і те, що робоче колесо робить простий рух - у більшості випадків простий обертальний рух. Такий рух надзвичайно просто реалізувати - для цього необхідно зафіксувати вісь обертання, що простіше всього здійснюється за допомогою двох підшипників.

Якщо врахувати необхідність варіювання кроку гвинта (примусовий рух лопаті у відносному русі навколо власної осі), то рух лопаті стає складним, що складається з переносного навколо осі обертання вітроколеса і зазначеного відносного руху лопаті. Практична реалізація такого руху вже досить складна, особливо для випадків, коли зміна кроку гвинта здійснювати на обертовому вітроколесі.

Однак більш значним на наш погляд основним недоліком таких ВУ - є їхня марність (незастосовність) у діапазоні швидкостей вітру 0,5...5,5 м/с. Як показує аналіз, на землі досить територій, де середньорічна швидкість вітру знаходиться в цьому діапазоні. Тоді коефіцієнт використання традиційних ВУ з лопатевими вітроколесами на таких територіях коливається в діапазоні не вище 5-15 %. До речі, такі показники середніх значень швидкостей вітри характерні для рівнинних районів, що відповідає більшості регіонів України.

Загальна ідея пропонованих вітрогідроколес з ОЗП полягає в наступному:

1) для створення обертового моменту на валові вітрило (лопоть) повинний мати аеродинамічну асиметрію щодо осі обертання даного гідровітроколеса;

2) у момент, коли вітрило разом з валом колеса повернеться в положення, рівнобіжне потокові, аеродинамічна асиметрія повинна поміняти знак.

Виконання п. 1-2 приводить до необхідності створення гідровітроколес з орієнтаційно - залежною парусністю, що розробляється з 1994 р. У даний час запропоновано понад 20 типів конструкцій гідровітроколес з ОЗП. Короткий огляд конструкцій таких коліс ми представляємо в цій главі.

На рисунку 1.6 показано основні елементи гідровітроколеса з ОЗП виконання А (патент України UA 17546, пріоритет від 05.05.1994 р.). Дане вітроколесо складається з корпусу 1, закріпленого в ньому вала 2 з вертикальною віссю обертання, лопаті 3 з пазом 4, обмежуючого пальця 5 і пружного елемента 6, кінематичною лопатю и корпусом. Відмінною особливістю даного вітроколеса є те, що лопать 3 з'єднують з валом 2 рухливо, зберігаючи їй можливість руху, перпендикулярно осі вала, створюючи розроблену нами гаму вітро - і гідро - коліс з орієнтаційно - залежною парусністю (ОЗП), що позитивно зарекомендували себе саме в діапазоні малих швидкостей. Нам представляється особливо перспективним будівля блоків вітроелектростанцій у складі традиційних ВУ, ВУ з ОЗП, модуля сонячних батарей і модуля, що акумулює.

Загальною кінематичною особливістю всіх пропонованих конструкцій є необхідність реалізації складного руху лопаті, що складає з переносного (обертального) руху ветроколеса і відносного руху лопаті, що забезпечує аеродинамічну асиметрію.

Лопаті при досягненні кута значень 0° або 180° здійснює під дією пружного елемента 6 зворотно-поступальне (відносне) рух на відстані 2 е.

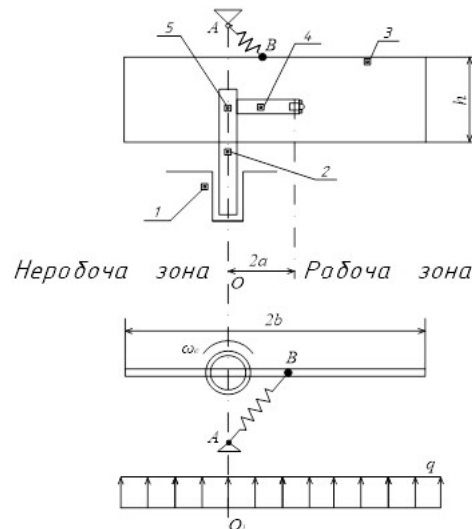


Рисунок 1.6 - Основні елементи гідровітроколеса з ОЗП виконання А (патент України UA 17546)

- 1- корпус;
- 2 - вал; 3 - лопать-вітрило;
- 4 - паз;
- 5 - палець;
- 6 – пружина

Це дозволяє одержувати на валові вітроколеса обертовий момент

На відміну від відомого ротора Савоніуса, де аеродинамічна асиметрія створюється різницею аеродинамічних опорів протилежних лопать, у пристрої (рисунок 1.6) аеродинамічна асиметрія створюється різницею площ у робочій і неробочій зоні. І якщо у випадку ротора Савоніуса момент на валові, унаслідок досить малої різниці аеродинамічних опорів, обмежений.

Із невеликими значеннями, то в нашому випадку, як впливає з (1.6), можливостей для збільшення обертового моменту більше: розміри лопаті.

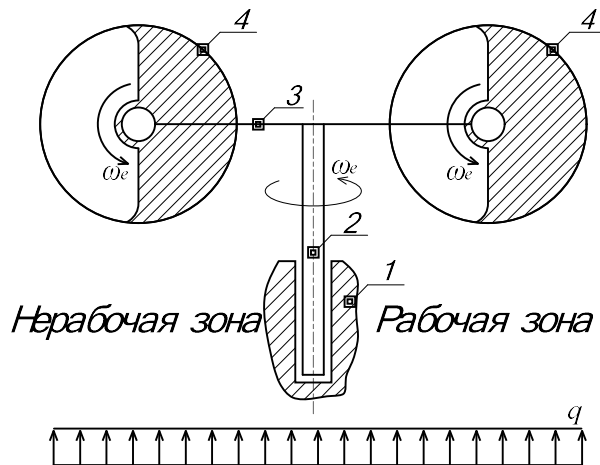


Рисунок 1.7- Гідровітроколесо виконання В (патент України Ш 21400 А)

1 - корпус;

2 - вал;

3 - траверса;

4 - обертові лопаті.

При зміні напрямку потоку передбачений механізм зміни осі, таким чином, щоб вона залишалася рівнобіжною векторові потоку g .

На рисунок 1.7 зображена схема вітроколеса, аналогічного рисунок 1.6, у якому для забезпечення аеродинамічної асиметрії відносно зворотно-поступальний рух лопаті замінений відносним обертальним рухом ω_r .

Пристрій (патент України UA 21400 А) складається з корпусу 1, вала 2 з вертикальною віссю обертання, жорстко з'єднаної з валом траверси 3, з яким шарнірно з'єднані дві обертові лопаті 4.

Лопаті 4 роблять складний рух, що складається з переносного обертання ω_e разом із траверсою 3 і щодо обертання ω_r навколо власних осей А і В. Відносне обертання ω_r може здійснюватися як дискретно - на 180° при перетинанні лопаті границі робочої і неробочої зони, так і безупинно, кінематично зв'язаного переносного і відносного руху так, що $\omega_e = \omega_r$ і максимальне видалення вітрильної перетинки робочої лопаті В і мінімальне - лопаті А від осі обертання вала 2 приходить на момент часу, коли лопаті перпендикулярні векторові потоку.

На рисунку 1.8 приведена робоча схема гідровітроколеса з ОЗП виконання D (патент України UA 17545, пріоритет 05.05.1994 р.).

Гідровітроколесо складається з корпусу 1, вала 2 з вертикальною віссю обертання, твердо з'єднаних з валом нижньої траверси 3 і верхньої траверси 4, осі яких рівнобіжні між собою. До верхньої траверси 4 шарнірно приєднані верхні краї лопаті 5 і 6. Нижні краї лопаті розташовані косо симетрично щодо нижньої траверси 3, перед траверсою (з боку потоку) - лопать 5, що знаходиться в робочій зоні, і за траверсою 3 - лопать 6, що знаходиться в неробочій зоні.

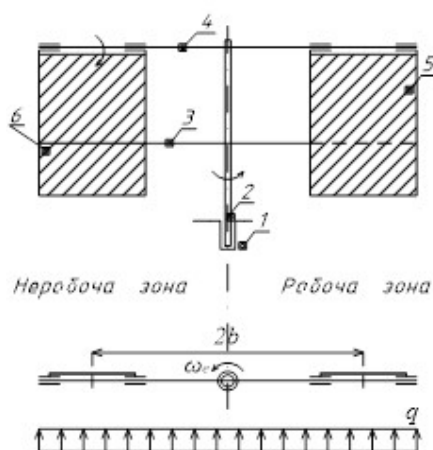


Рисунок 1.8 - Гідровітро колесо виконання D (патент України UAA 17545A):

- 1 - корпус;
- 2 - вал;
- 3, 4 - нижня і верхня траверси;
- 5, 6 - робоча і неробоча лопаті.

Таке розташування лопатей дозволяє створювати аеродинамічну асиметрію, утримуючи лопать 5 перпендикулярно потокові, і дозволяє відхилятися лопаті 6 у неробочій зоні.

При перетинанні площини траверс границі робочої і неробочої зон лопаті 5 і 6 міняються ролями. Це дозволяє одержати наближене значення обертаючого моменту на валові ротора

$$M \approx S \cdot q \cdot b(1 - \cos \alpha) \cdot \sin^2 \phi, \quad (1.3)$$

де b - відстань від центра ваги лопаті до осі вала 2;

α - кут відхилення лопаті в неробочій зоні:

$$\alpha = \arcsin(\sqrt{1 + y^2} - y);; \quad y = \frac{G}{2gs}; \quad (1.4)$$

де G - вага лопаті;

S - її площа;

Більш точне співвідношення, що враховує залежність α від кута повороту колеса ϕ , має вигляд:

$$M = S \cdot q \cdot b \left[\sin \phi - \frac{G}{\sqrt{2qs}} \sqrt{\sqrt{1 + \frac{4q^2 s^2 \sin^2 \phi}{G^2}} - 1} \right] \cdot \sin \phi \quad (1.5)$$

Відмінною особливістю даної схеми від вітроколес рисунок 1.7 і рисунок 1.8 є незалежність схеми (рисунок 1.7) від напрямку потоку, що особливо важливо при використанні вітрових потоків, що мають непостійний напрямок. Використання вітроколеса за схемою (рисунок 1.7) звільняє вітроустановку від пристрою орієнтації. Крім того, ця схема дозволяє змінити напрямок обертання колеса, повернувши обоє вітрила на кут 180° навколо траверси .

Повернувши тільки одне з вітрил - наприклад, 5 - на 180° щодо траверси 4, вітроколесо зупиняється, тому що $M=0$ унаслідок відхилення обох вітрил 5 і 6 на однаковий кут.

Всі три розглянуті схеми допускають багатолопатні виконання, а також примусове регулювання керуючих параметрів.

На рисунку 1.9 приведені інші схеми гідровітроколес з орієнтаційно-залежною парусністю.

У той же час відносний рух може бути обертальним навколо кожної з координатних осей поступальним, плоскопаралельним або гвинтовим. Така різноманітність компонентів відносного руху дає конструкторові безцінний скарб - різноманітність конструктивних рішень вітроколес з орієнтаційно - залежною парусністю. Безліч рішень у цьому перспективному напрямку вітроенергетики в майбутньому, без сумніву, буде поповнюватися.

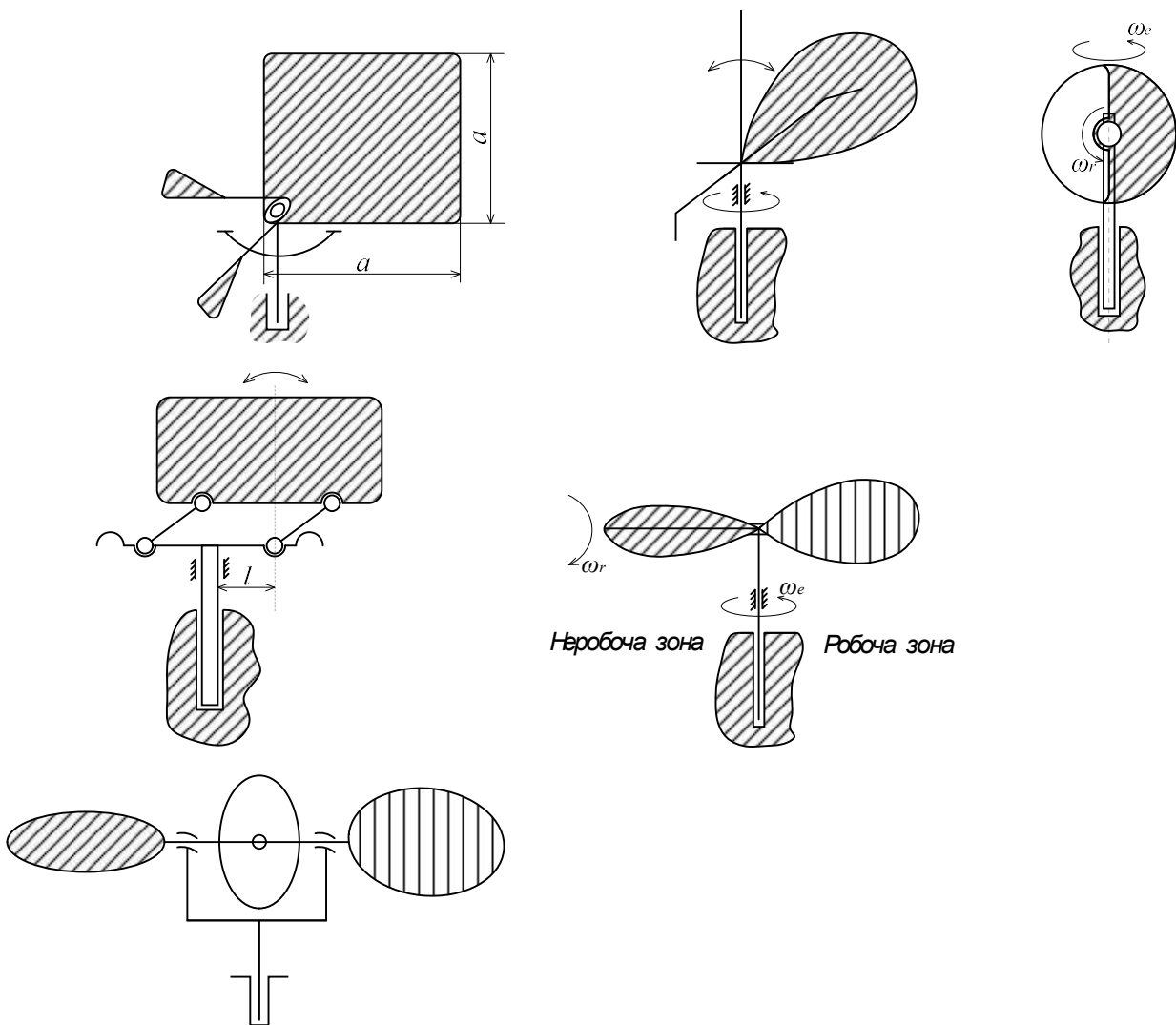


Рисунок 1.9 - Схеми гідровітроколес з орієнтаційно-залежною парусністю

1.3 Розрахунок ВЕУ на міцність

Основи розрахунків на міцність деталей ВЕУ. Працездатність деталей ВЕУ можна оцінювати за критеріями:

- міцності;
- твердості;
- зносу;
- утрати стійкості;
- втоми;
- тріщиностійкості;
- теплостійкості і т.п..

Який критерій вибрати? Відповідь на це питання дає аналіз умов роботи деталі у вузлі ВЕУ.

Як правило, розрахунок ведуть за одним або двома критеріями.

При цьому для більшості деталей, як у загальному машинобудуванні, головним є розрахунок за критеріями міцності.

При цьому можна виділити кілька стадій проектування і доведення машини:

I - проектувальний розрахунок - визначення основних розмірів деталі по граничних напругах (ще деталі немає навіть у кресленнях);

II - перевірка виконання умов міцності для сконструйованої деталі (є креслення деталі);

III - перевірка виконання умов міцності в прискорених іспитах (є виготовлена деталь);

IV – перевірка виконання критеріїв працездатності в рядовий або підконтрольної експлуатації (є виготовлена деталь, вузол, машина) і т.п.

Зрозуміло, що чим раніше будуть виявлені недоліки, тим ефективніше буде результат, тим більше талановитий конструктор, тим деталь, агрегат, машина більше успішно приносять прибуток виробнику!

Для орієнтовного визначення розмірів деталі, як правило, достатньо скористатись одним з критеріїв змінної міцності на:

$$\sigma_p = \frac{P}{S_p} \leq [\sigma_p]; \text{ витягування} \quad (1.6)$$

$$\sigma_{см} = \frac{P}{S} \leq [\sigma_{см}]; \text{ зріз} \quad (1.7)$$

$$\sigma_u = \frac{M_u}{W_x} \leq [\sigma_u]; \text{ вигин} \quad (1.8)$$

$$\tau_{кр} = \frac{M_{кр}}{W_p} \leq [\tau_{кр}]; \text{ кручення} \quad (1.9)$$

де P - сили, що приводять до руйнування при деформації розтягання, зрізу, зминання;

S -площа поверхні, по якій передбачається руйнування деталі від розтягання, зрізу, зминання;

$M_u, M_{кр}$ - згинаючий або момент, що крутить;

W_x, W_p - моменти опору при вигині і крутіні.

Нагадаємо, що для круглого суцільного перетину:

$$W_x = \frac{\pi \cdot d^3}{32}; W_x = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \quad (1.10)$$

Ці п'ять умов міцності - дуже прості за структурою і дуже однотипні - є основою інженерних розрахунків. Звичайно, мова йде про перше наближення, для максимального спрощення розрахункової схеми.

$$\frac{[\text{Напруження в деталі}]}{[\text{допустиме напруження}]} = \frac{[\text{силовий фактор}]}{[\text{характеристика перетину}]} \leq \leq$$

1.4Прискорення визначення ресурсу вузлів і механізмів ВЕУ за критеріями тривалої міцності

Інтенсивний розвиток в останні 40 років представлень показали, що і при стаціонарному (тривала міцність), і при нестаціонарному (короткочасна міцність) напруженнях руйнування можна розглядати як твердофазну реакцію. У першому випадку гранична поверхня в просторі "навантаження-температура-час до руйнування" описується відомим стаціонарним рівнянням Журкова. Це дозволяє створити методологію визначення ресурсу деталей машин, у тому числі і ВЕУ, прискореними методами.

Раніше на основі моделі руйнування отриманий ряд аналітичних співвідношень для визначення головного термоактивационного параметра в рівнянні Журкова - енергії активації U_0 , що для ОЦК і ГЦК металів і їхніх сплавів можна записати у виді:

У наближенні Ейнштейна зміниться до виду:

$$U_0 = k \cdot T_s \ln \left(\frac{[1]}{2\pi a_0} \sqrt{\frac{rE}{\rho}} \right) \quad (1.11)$$

а в наближенні Дебая:

$$U_0 = k \cdot T_s \ln \left(\frac{k\theta_d[1]}{h} \right) \quad (1.12)$$

де a - постійна;

E - модуль пружності;

ρ – щільність; θ_d - температура Дебая;

h - постійна Планка;

T_s – температура плавлення [K];

k – постійна Больцмана; $r = 2$;

$[1]$ – розмірна одиниця часу.

Співвідношення, по-перше, не містять підгінних параметрів, що є великою рідкістю для співвідношень фізики і механіки руйнування. По-друге, з погрішністю не гірше $\pm 5\%$ дозволяють оцінити значення енергії активації для широкого класу ОЦК і ГЦК металів і їхніх сплавів з використанням тільки фізичних констант, що характерно тільки для фундаментальних співвідношень. Фундаментальна природа

проявилася й у тім, що з їхньою допомогою відкрилася можливість поставити і вирішити ряд нових задач:

- 1) термоактиваційного аналізу ряду нестационарних задач;
- 2) термоактиваційного аналізу в умовах плоскої задачі;
- 3) побудувати теорію нагромадження пошкоджень;
- 4) розкрити природу суперстійкості енергії активації до зміни стану металу і ряд інших.

Таким чином, для класу сплавів на даній основі зміна щільності сплаву і параметра ґрати на 20 %, а модуля пружності на 400 % приводить до зміни енергії активації в межах $\pm 1,6$ %, що досить парадоксально, але знаходиться у винятково гарній згоді з експериментом. Нам вперше удалося вирішити задачу про стійкості енергії активації до змін металу в загальному виді

Саме одержання залежностей і аналіз їхньої стійкості дали ключ до постановки в загальному виді і рішенню ряду нестационарних задач.

Так, для іспитів на короткочасну міцність нами отримана замкнута алгебраїчна система рівнянь:

$$\begin{cases} \tau_p = \tau_0 \exp \frac{U_0 - \gamma}{kT}, \\ \sigma_e = \sigma_B (1 + \delta) r, \\ \delta = \int_0^{\tau_p} \varepsilon d\tau, \\ r = \beta^{-1} \int_0^1 \exp[\beta f(t)] dt, \\ \beta = \frac{\gamma \sigma_B}{kT}, \\ U_0 \cong kT_s \ln \frac{1}{\tau_0}. \end{cases} \quad (1.13)$$

де τ - час до руйнування;

σ - пластична деформація в момент руйнування зразка;

r_e - еквівалентний множник;

σ_e - еквівалентна стаціонарна напруга;

$f(t)$ - функція зміцнення;

T_s - температура плавлення матеріалу;

γ - активаційний об'єм;

ε - швидкість деформування;

σ_B - визначена міцності матеріалу;

t - приведений час.

Сучасному процесу національно-культурного відродження України властиве, за загальною думкою фахівців, поглиблення інтересу до історичного минулого, до особистостей, до творчої спадщини митців, вчених, інженерів, громадських та інших діячів, праця яких сприяла розвитку української культури і науки. Серед численних галузей особливе місце належить енергетиці.

(В Україні є ліцензійні ВЕУ USW-56-100 (107,5 кВт). Крім того, на українських ВЕС встановлені ВЕУ АВЕ-250 С (200 кВт), ВЕУ-220 (220 кВт), ВЕУ-500 (500 кВт), ЕСО-0420 (420 кВт).

Ю.В.Кондратюк запропонував оригінальну схему розміщення ротора і статора генератора.

Проект Ю.В.Кондратюка був прийнятий, а всі інші не змогли конкурувати з його пропозицією. Шефство над будівництвом вів Серго Орджонікідзе, який відповідав у ті часи за всю важку промисловість. Коли Орджонікідзе не стало, розпочалися репресії. Правда, Нікітіна та Кондратюка біда минула, але будівництво вітрової станції зупинили.

1939 рік, 15 вересня засновується Проектно-експериментальна контора вітроелектричних станцій (ПЕКВЕС).

15 вересня 1939 р. - 6 липня 1941 р. Ю.В. Кондратюк працює начальником проектного відділу ПЕКВЕС і керує проектуванням малопотужних вітроелектростанцій ВЕС-2-Д-20 на 100 кВт і ВЕС-2-Д-30 на 250 кВт.

Сумарна потужність вітрових електричних установок (ВЕУ) сьогодні в Україні наближається до 30 МВт. У країні діє Комплексна програма будівництва вітрових електростанцій, розроблена відповідно до Указу Президента України від 2 березня 1996 р. № 159 "Про будівництво вітрових електростанцій" і схвалена постановою Кабінету Міністрів[7].

2 ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ “МАЛОЇ” ВІТРОЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ

2.1 Використання відновлювальної енергії вітру приймальними пристроями вітроелектроустановок та його ефективність.

Природні залежності традиційного палива в Україні та в світі не безмежні.

Згідно науковим прогнозам відносно світових запасів твердого, рідкого та газового вуглецевого палива, які були опубліковані в матеріалах XIII всесвітньої енергетичної конференції ці запаси складають: по кам'яному вугіллю – 430 років, нафті – 35 років, природному газу – 50 років, якщо споживання цих видів палива буде продовжуватись з тією ж інтенсивністю, яка склалась тепер. В той же час, кількість енергії вітру на планеті оцінюється [23] і в межах $1 \cdot 10^{10}$ МВт·год. за рік.

Використання такої енергії дозволяє замінити 1000 сучасних ТЕС потужністю 1 МВт, кожна з яких виробляє біля $1 \cdot 10^4$ МВт електроенергії за рік, тобто майже в 1000 разів менше енергії, ніж дарує нам природа.

Звичайно, відновлювальна енергія вітру нестабільна й в сучасних умовах використовується вкрай не ефективно, тому проблема приймання та перетворення вітрової енергії в електроенергію необхідних параметрів, яка придатна для широкого споживання, стає дуже актуальною.

Способів вітроприймання та перетворення енергії вітру в механічну, теплову, електричну енергію різними пристроями за час розвитку вітроенергетики розроблено й пропонується багато, але усі вони зводяться до пристроїв двох типів [17]:

- з горизонтальною віссю обертання пропелера, що обертається в площині, перпендикулярній напрямку дії вітру, полінеарні;
- з вертикальною віссю обертання ротора, який обертається в площині, паралельній напрямку дії вітру, ортогональні.

Можливі інші способи приймання та перетворення енергії вітру та пристрої для їх реалізації, але впровадження їх в сучасну вітроенергетику вкрай обмежене.

В якості ротора вітроприймальних пристроїв з горизонтальним валом з давніх давен використовують різного роду пропелери: від пропелерів з трапецієподібними лопатями стародавніх млинів до суперсучасних пропелерів із склопластиковими лопатями, зконструйованими на базі найскладніших аеродинамічних розрахунків профілю відповідного крила (рисунки 2.1).

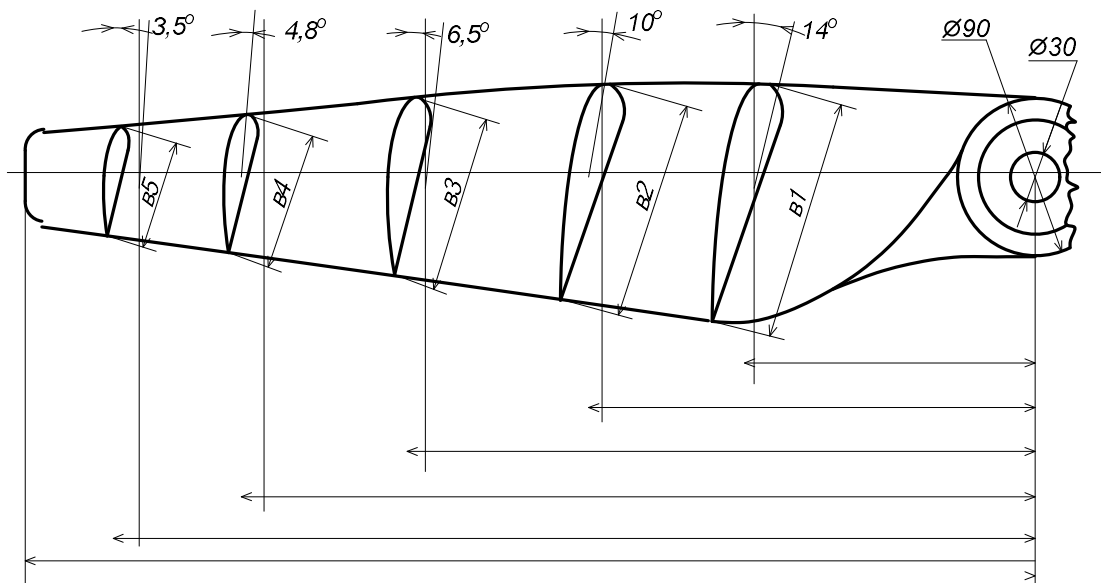


Рисунок 2.1 - Лопать пропелера

Панує думка про те, що пристрої, які використовують підймальну силу крила, мають переваги перед іншими, оскільки значно ефективніше перетворюють енергію вітру в широкому діапазоні швидкостей вітру, характеризуються високою швидкохідністю та мають краще співвідношення потужності і маси за меншої вартості встановленої потужності.

Але елементарний аналіз параметрів пропелерних вітроустановок з горизонтальним валом показує, що вони малоефективні.

Так, для колінеарних вітроустановок [17] визначено, що рентабельність їх експлуатації досягається за показника коефіцієнта використання встановленої

потужності в межах 0,23 при роботі їх в номінальному режимі на протязі більше 2000 годин в рік та середній швидкості вітру не менше 7 м/сек.

Колінеарна вітротехніка «великої» вітроенергетики характеризується також є питомим навантаженням на поверхні пропелера в межах від 265 Вт/м² до майже 265 Вт/м² [17]. У вітротехніки «середньої» вітроенергетики потужністю 30-80 кВт таке навантаження значно менше і складає 200-300 Вт/м². Колінеарні вітроустановки «малої» вітроенергетики фактично забезпечують ще менше навантаження, яке визначається формулою [17]:

$$N = \frac{\rho \cdot S \cdot v^3}{2} \cdot C_p, \quad (2.1)$$

де ρ – щільність повітря, кг/м³;

S – площа поверхні вітроколеса, м²;

V – швидкість вітру, м/сек;

C_p – коефіцієнт перетворення енергії вітру вітроприймальним пристроєм.

Як видно з цієї формули, самим визначеним параметром, що безпосередньо впливає на конструкцію та рентабельність роботи колінеарних вітроустановок є саме коефіцієнт C_p , який визначається апріорі. Більше того, питома навантаження вітроколеса, що розраховане за цією формулою, не враховує впливу висоти вежі, тобто висоти, на якій знаходиться в процесі роботи горизонтальний вал над поверхнею землі, а також інших параметрів, які безпосередньо впливають на ефективність функціонування та економічну доцільність в цілому.

Таким чином, нагальною проблемою використання відновлювальної енергії вітру є пошук більш перспективного напрямку розвитку ефективної вітротехніки, а саме – створення оптимальних конструкцій ортогональних вітроприймальних пристроїв.

Відомо багато [17] конструкцій вітроприймальних пристроїв з вертикальним валом, які з різною ефективністю здібні перетворювати відновлювальну енергію вітру з використанням сили тиску. Підіймальної сили крила, комбінованого та

інших типів, але всі вони не задовольняють вимог високої ефективності, яка необхідна в суспільстві.

Тому перед конструкторами стоїть завдання віднайти відповідні конструктивні рішення для створення високоефективного вітроприймального пристрою з вертикальним валом мінімальної собівартості.

Саме для цього проведено більш детальний аналіз процесів прийому та перетворення енергії вітру вітроприймальним пристроєм колінеарного типу, як показано на рис. 2, на поверхню лопаті пропелера з горизонтальним валом діє сила тиску вітрового потоку, який рухається на лопать під кутом атаки α_1 (рисунок 2.2, а). Ця сила тиску F_T розкладається на дві складові $F_{\text{оберт.}}$ й $F_{\text{опору}}$. Сила обертання $F_{\text{оберт.}}$ обертає лопать в напрямку, перпендикулярному напрямку руху вітрового потоку. Очевидно, ця сила буде максимальна при $\alpha_1 = 45^\circ$ й дорівнювати силі $F_{\text{опору}}$. Це означає, що сила $F_{\text{оберт.}}$ в пропелерних вітроустановках ніколи не може бути більша сили $F_{\text{опору}}$, що передається на вежу, тобто сама ідея пропелерної вітроустановки передбачає втрату не менше 50% енергії, що несе вітровий потік зі швидкістю v_1 . Очевидно і те, що на поверхню пропелера не може діяти під'ємна сила крила (рисунок 2.2, б), оскільки кут атаки α_2 малий і пропелер в цьому випадку працює в режимі флюгера. Звідси виходить, що подальше удосконалення колінеарних пропелерних вітроустановок не має сенсу.

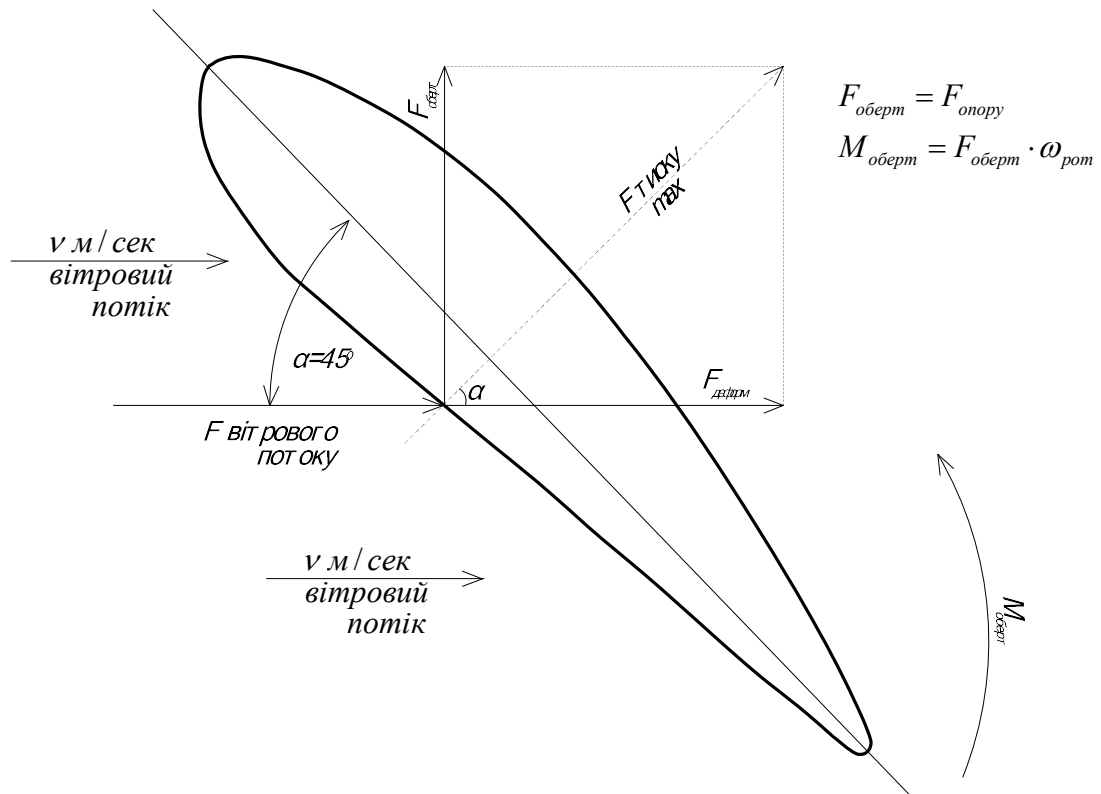


Рисунок 2,а - Дія сил вітрового потоку на лопать пропеллера з горизонтальним валом

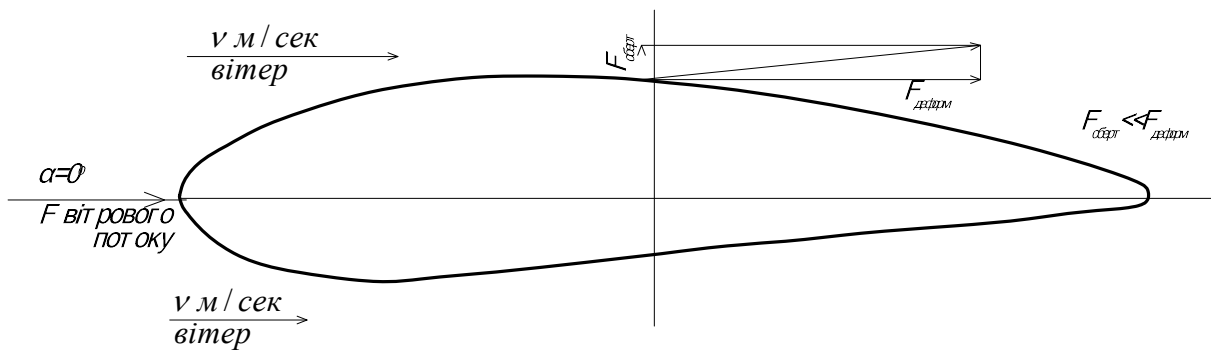


Рисунок 2,б - Дія сил вітрового потоку на лопать в режимі флюгера

Вірогідно, збільшення ефективності використання енергії вітру можливо тільки при ортогональних конструкціях вітроприймальних пристроїв, в яких поверхнею. Що сприймає дію вітрового потоку є вертикальне вітрило необхідних розмірів, яке рухається в напрямі дії вітру й може змінювати свій кут атаки відповідно до швидкості вітру.

Як показано (на рисунку 2.3) такий вітроприймальний пристрій являє собою вертикальний вал, на якому закріплені три прямокутні лопаті з циліндричною поверхнею, які з'єднані з валом через проміжні рами та шарніри, що дозволяють змінювати кут атаки α кожної лопаті в залежності від швидкості вітру та створювати відповідне плече для моменту обертального $M_{\text{оберт.}}$, що створювати відповідне плече для моменту обертального $M_{\text{оберт.}}$, що передається на вертикальний вал пристрою.

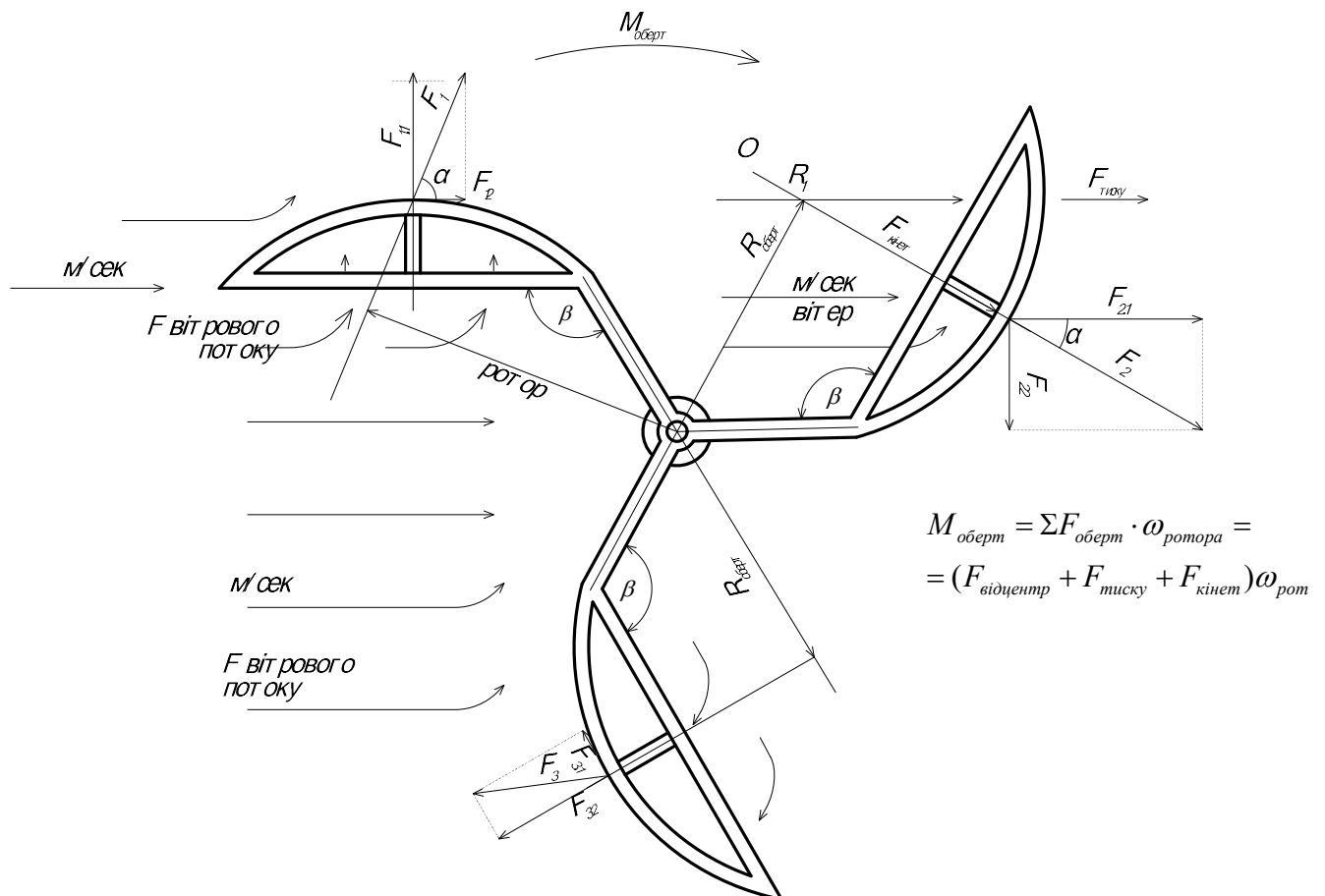


Рисунок 2.3 - Дія сил вітрового потоку на лопаті вітродвигуна з вертикальним валом

В цьому випадку на циліндричну поверхню лопаті [17] під дією вітрового потоку, який рухається зі швидкістю v виникає сила P_1 , що розкладається на

складові, перша з яких є відцентрована сила, друга – сила тиску рухомої маси повітря та третя – його кінетична енергія.

Всі ці сили діють на одну і ту ж поверхню та рухають її впродовж дії вітрового потоку, обертаючи вал вітрогенератора.

Вітрова потужність такого генератора визначається величиною обертового моменту та частотою обертання валу за формулою:

$$N_{\text{ед}} = M_{\text{оберт.}} \cdot \omega_{\text{оберт.}} \quad (2.2)$$

Момент обертальний ($M_{\text{оберт.}}$) вітрогенератора з вертикальним валом визначається дією сил вітрового потоку на поверхні лопатей ($F_1, F_2, F_{\text{кінет.}}$), плечем прикладання цих сил ($R_{\text{оберт.}}$), відносно вісі обертання ротору та кутом атаки (α) поверхні лопаті відносно напрямку дії вітру.

Так, для лопаті [17] момент обертальний визначається за формулою:

$$M_{(1)\text{оберт.}} = F_1 \cdot R_{\text{оберт.}} \quad (2.3)$$

В свою чергу, F_1 через свої складові визначається згідно формулі:

$$\begin{aligned} F_1 &= F_{11} \cdot \sin \alpha + F_{12} \cdot \cos \alpha + F_{\text{кінет.}} = F_{\text{відц.}} + F_{\text{тиску}} + F_{\text{кінет.}} = \\ &= \frac{mv^2}{R_1} \cdot \sin \alpha + mv \cdot \cos \alpha + \frac{mv^2}{2}, \end{aligned} \quad (2.4)$$

тобто:

$$M_{\text{оберт.}(1)} = \left(\frac{mv^2}{R_1} \cdot \sin \alpha + mv \cdot \cos \alpha + \frac{mv^2}{2} \right) F_{\text{оберт.}} \quad (2.5)$$

Частота обертання ротора вітрогенератора з вертикальним валом та “n” лопатями визначається загальновідомою формулою:

$$\omega_{\text{вд}} = \frac{n \cdot v_v}{\pi \cdot D_{\text{рот.}}} \quad (2.6)$$

Моменти обертальні, діючі на вал вітродвигуна від інших лопатей, визначаються аналогічно.

Згідно вищенаведених формул не важко провести розрахунки зазначених величин для ортогонального вітродвигуна, в якого:

- кількість лопатей – 3 шт.;
- кут атаки поверхні лопатей до напрямку дії вітру - 45° ;
- площа поверхні однієї лопаті $1,8 \text{ м} \cdot 1,0 \text{ м}$;
- радіус циліндричної поверхні лопаті $R = 1 \text{ м}$;
- радіус обертання точки прикладання результуючої сили навколо вісі

$R_{\text{оберт.}} = 1,5$;

- висота опори, тобто – підйому вітродвигуна на землю – 10 м ;
- середня швидкість вітру на висоті вітродвигуна – 4 м/сек ;
- площа ділянки землі, зайнятої вітроустановкою – 4 м^2 .

Отже, результуюча сила вітру, що діє на поверхню лопаті [17] такого вітродвигуна буде:

$$\begin{aligned}
 F_1 &= \frac{mv^2}{R_1} \cdot \sin \alpha + mv \cdot \cos \alpha + \frac{mv^2}{2} \\
 &= \frac{\rho \cdot s \cdot v \cdot v^2}{R_1} \cdot \sin 45^\circ + \rho \cdot s \cdot v \cdot v \cdot \cos 45^\circ + \frac{\rho \cdot s \cdot v \cdot v^2}{2} = \\
 &= \frac{1,3 \text{ кг/м}^3 \cdot 1,8 \text{ м}^2 \cdot 4 \text{ м/сек} \cdot 16 \text{ м}^2/\text{сек}^2}{1 \text{ м}} \cdot 0,5 + 1,3 \text{ кг/м}^3 \cdot 1,8 \text{ м}^2 \cdot 16 \text{ м}^2/\text{сек}^2 \cdot 0,5 \\
 &= \\
 &= \frac{1,3 \text{ кг/м}^3 \cdot 1,8 \text{ м}^2 \cdot 4 \text{ м/сек} \cdot 16 \text{ м}^2/\text{сек}^2}{2} \\
 &= 149,76 \cdot 0,5 + 37,44 \cdot 0,5 + 149,76 \cdot 0,5 = \\
 &= 74,88 + 18,72 + 74,88 = 168,48 \text{ кгс/сек} = 170 \text{ кгс/сек}
 \end{aligned}$$

Відповідно, момент обертальний ($M_{\text{оберт.}}$), що діє на вісь вітродвигуна від “n” лопатей буде:

$$M_{(1)\text{оберт.}} = F_1 \cdot R_{\text{оберт.}} \quad (2.7)$$

$$M_{(1)\text{оберт.}} = 170 \cdot 1,5 = 255 \text{ (кГс/сек)}.$$

При цьому частота обертання ротора вітродвигуна з вертикальним валом та з трьома лопатями при швидкості вітру 4 м/сек. буде:

$$w_p = \frac{n \cdot v_B}{\frac{\pi \cdot D}{n}} = \frac{3 \cdot v_B}{\pi \cdot D}, \quad (2.8)$$

$$w_p = \frac{3 \cdot 4 \text{ м/сек}}{3,14 \cdot 3 \text{ м}} = 1,27 \text{ (оберт./сек.)}$$

Потужність вітродвигуна в цьому випадку буде:

$$N_{вд} = M_{об.} \cdot w_p, \quad (2.9)$$

$$N_{дв} = 250 \cdot 1,27 \cdot 9,8 = 3173 \text{ (МВт)}$$

Звідси виходить, що вітродвигун з вертикальним валом запропонованої конструкції допускає питоме вітрове навантаження поверхні лопаті до:

$$N_{пит.} = \frac{N_{вд}}{S_{доп.}} \quad (2.10)$$

$$N_{пит} = \frac{3100 \text{ Вт}}{1,8 \text{ м}^2} = 1722 \text{ (Вт/м}^2\text{)}.$$

Відповідно, коефіцієнт використання встановленої потужності генераторів при такому вітродвигуні (якщо використовувати два генератори постійного струму напругою 24 В загальною потужністю 2,5 кВт ($2 \cdot 1250 \text{ Вт} = 2500 \text{ Вт}$)) складає:

$$K_I = \frac{N_{г.}}{N_{вд}}. \quad (2.11)$$

$$K_I = \frac{2500}{3100} = 806 \text{ (Вт)}.$$

Таким чином, питоме навантаження вітром поверхні лопаті вітроустановок з вертикальним валом більше, ніж у вітроустановок з горизонтальним валом 1722 Вт/м²: від 265 до майже 700 Вт/м = 2,46 до майже в 6,5 разів.

Аналогічно, коефіцієнт використання встановленої потужності генераторів вітроустановками з вертикальним валом забезпечується в $\frac{0,806}{0,23} = 3,5$ разів більший, ніж у вітроустановок з горизонтальним валом, що свідчить про можливість більш рентабельного використання вітроприймальних пристроїв та малої вітроенергетики.

Для прикладу, згідно розрахункам необхідна площа поверхні лопатей вітроколеса вітроустановки з горизонтальним валом потужністю 20 кВт з висотою вежі 15 м на майданчику з середньодобовою швидкістю вітру 3,5 м/сек при питомому навантаженні вітроколеса генератором 63,5 Вт/м² повинна становити [17]:

$$S = \frac{N_H}{N_n}, \quad (2.12)$$

$$S = \frac{20000}{63,5} = 315(\text{м}^2).$$

а діаметр відповідно 20 м.

Якщо ж вежа буде висотою 15 + 20 = 35 м, то необхідна площа поверхні лопатей вітроколеса установки з горизонтальним валом може становити 190 м², а діаметр – відповідно 14 м.

Також для прикладу, згідно розрахункам необхідна сума площа поверхні лопатей вітроустановки з вертикальним валом потужністю 20 кВт, з висотою вежі 15 м на майданчику з середньодобовою швидкістю вітру 4 м/сек при питомому навантаженні поверхні лопаті 1722 Вт/ м² повинна становити:

$$S_2 = \frac{N_H}{N_n}. \quad (2.13)$$

$$S_2 = \frac{20000}{1722} = 11,6 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Таку сумарну площу вітрил має вітроустановка з вертикальним валом, що складається з 6 лопатей, кожна з яких має площу поверхні $1,8 \text{ м}^2$. Діаметр ротора 3 м, висота ротора 3 м.

Таблиця 2.1 - Технічні параметри цих установок

Вид ВЕУ	$V_{\text{ву}}$, м/с	$N_{\text{ву}}$, кВт	$S_{\text{рот.}}$, м^2	$N/\text{м}^2$, Вт/м ²	$D_{\text{рот.}}$, м	$H_{\text{рот.}}$, м	$H_{\text{вежі}}$, м
Горизонтальний вал	3,5	20	190	63,5	14	-	35
Вертикальний вал	4,0	20	11,6	1722	3	3	15

Як видно з таблиці, вітроустановка з вертикальним валом при однаковій швидкості вітру 3,5 м/сек, однакової потужності 20 кВт має загальну площу вітрила в $\frac{190}{11,6} = 16,3$ разів меншу, ніж вітроустановка з горизонтальним валом, а також діаметр ротора майже в $\frac{14}{3} = 5$ разів і висоту вежі – в 2,3 рази меншу висоти вежі ВЕУ колінеарного типу.

2.2 Акумуляування нестабільної енергії вітру та визначення ефективного енергоносія

Вітрову енергію, що одержана за допомогою високоефективного вітроприймального пристрою безпосередньо використати неможливо, оскільки вона нестабільна як за величиною, так і в часі. Тому вже в процесі одержання цієї енергії постають проблеми її перетворення та накопичування.

В загальному вигляді під накопичувачем енергії розуміють пристрій, який має накопичувати енергію в особі будь-якого виду на протязі періоду заряду (T_z), а також віддавати значну частину цієї енергії споживачам на протязі періоду розряду (T_p).

Взаємозв'язок параметрів накопичувача при заряді та розряді визначається законом збереження енергії, який виражається очевидним співвідношенням:

$$P_z \cdot T_z \cdot \eta = P_p \cdot T_p, \quad (2.14)$$

де P_z, P_p - середні значення потужності зарядного, розрядного процесів;

η - к.к.д. пристрою.

Значення T_z та T_p , а також енергетичні показники при заряді та розряді можуть значно відрізнятись. Відповідно можливі різні напрямки використання накопичувачів.

Накопичувачі можуть акумулювати надлишкову енергію, а потім віддавати її споживачам в часи пікових навантажень. Накопичувачі можуть бути демпфіруючими елементами в системі між генеруючими установками і споживачами, працюючими в нестабільних режимах роботи.

Вони можуть перетворювати енергію різного виду з різними параметрами, забезпечуючи виконання функцій трансформатора потужності, віддавати споживачеві струм на багато більший від одержаного при заряді або створювати напругу значно більшу напруги джерела живлення, тощо.

Елементарний аналіз параметрів існуючих в техніці накопичувачів та потреб вітроенергетики доводить, що самим ефективним в даному випадку може бути накопичувач, який може підзаряджатись в будь-який час, накопичувати енергію в

будь-якій кількості, зберігати її на протязі будь-якого часу при будь-яких кліматичних умовах та віддавати її споживачам згідно потребам в кількості й часі.

Найбільше підходять для цього хімічні накопичувачі [20] енергії, які мають найвищі показники по об'ємам накопичення та періоду збереження енергії, але для ефективного використання таких накопичувачів необхідно вітрову енергію перетворити в електричну, а потім в хімічну.

Оскільки вітроприймальні пристрої з вертикальним валом забезпечують одержання і перетворення енергії вітру в механічну енергію обертання валу з високою ефективністю. Очевидно вирішити цю проблему може приєднання до нього одного або більше електрогенераторів постійного струму. Саме електроенергія постійного струму необхідна для електричного живлення газогенераторів, що виробляють хімічного енергоносія та електричних акумуляторів.

Найбільш ефективними накопичувачами електричної енергії постійного струму в вітроустановках з вертикальним валом малої потужності мають бути кислотні та лужні акумулятори великої ємності, які використовуються на вантажному автомобільному та пасажирському залізничному транспорті. Для прикладу, якщо вітроустановка з вертикальним валом при швидкості вітру 4-6 м/сек розвиває потужність більше 5 кВт та передає її на електрогенератори постійного струму напругою 25 В загальною потужністю 5 кВт і укомплектована кислотними стартерними акумуляторами 6СТ-200 в кількості 8 шт., що з'єднані в 4 батареї, вона може накопичити енергії: $4 \text{ бат.} \cdot 200 \text{ А} \cdot \text{год.} \cdot 25 \text{ В} = 20000 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{год.} = 20 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$ Цей запас енергії може зберігатись будь-який час при споживанні до 5 кВт за годину і навіть при значних короточасних перевантаженнях. Період зарядки накопичувача в цьому випадку складає: $T_z = \frac{20 \text{ кВт} \cdot \text{год}}{5 \text{ кВт}} = 4 \text{ год.}$, а період розрядки буде залежати від інтенсивності споживання електроенергії. Цілком очевидно, що такий спосіб акумуляування електроенергії ефективний для вітроустановок малих потужностей.

У разі потреби збільшення потужності споживачів та періоду безперервного споживання енергії постає проблема створення потужних накопичувачів енергії різних модифікацій. Для вибору напрямку пошуку конструкцій таких накопичувачів потрібно передусім визначатись з природою майбутнього енергоносія.

В загальному вигляді енергоносієм може бути будь-яка речовина, що використовується як паливо. В свою чергу, паливом називають [19] речовину, в складі якої наявні хімічні елементи, що з'єднуються з киснем, виділяючи теплову енергію, тобто горять відкритим вогнем. Під таку формулу підходять всі види вуглецевого твердого, рідкого та газоподібного палива, яке споживається людством з давніх-давен, безперервно дорожчає, спричиняє паливно-енергетичні кризи, систематично нагадуючи, що його запаси в природі не безмежні, а ще при горінні забруднюючи атмосферу та довкілля. Таке паливо неможливо відтворити за допомогою електроенергії та спалити без відходів тепла через димарі.

Так, при теплотворній здібності кам'яного вугілля 30 мДж/кГ ефективність використання тепла при спалюванні складає менше 25%.

Єдина речовина на землі, що піддається перетворенню в паливо та в процесі горіння обертається в попередній стан, тобто являє собою дійсно відновлювальне паливо – це вода H_2O .

Загально відомо, що вода існує в твердому стані (лід), рідкому, а також пароподібному, але у води є ще четвертий стан – газоподібний. Це газова суміш H_2O , яка може існувати будь-який час при будь-якій температурі при нормальному тиску за будь-яких кліматичних умов.

Ланцюгова реакція горіння газової суміші виникає тільки під впливом відкритого вогню, електричного розряду відповідної потужності та хімічного каталізатора. Безпека горіння цього палива визначається швидкістю витікання газового потоку із сопла газового приладу та захисними пристроями. Теплотворна здібність цього палива 120 мДж/кГ. Температура факелу на відстані 5 мм від сопла

2800°C. Продуктом горіння газової суміші водню і кисню є знову ж таки H_2O , тобто вода у вигляді перегрітої пари без будь-яких домішок та відходів.

Одержати газову суміш H_2O можна розкладаючи воду різними способами, але найпростіший для широкого використання є електроліз.

Отже найефективніший шлях використання вітрової енергії це перетворення її в електроенергію постійного струму, яку можна акумулювати безпосередньо в акумуляторах або перетворювати у відновлювальне паливо – газову суміш H_2O , яку можна накопичувати у будь-якій кількості та зберігати необхідний період

Таблиця 2.2 - Параметри ефективності способів накопичення вітрової енергії

Спосіб накопичення	Енергія ВЕУ	Період зарядження	Енергія споживання	Коефіцієнт використання	Період розрахунку	Показник ефективності
Нагрівання води $Q=100л \cdot 4,2$ кДж/кг·кал	18 мДж (5 кВт·год)	1 год.	4,5 мДж (1.25 кВт·год.)	0,24	4 год.	25%
Зарядка акумуляторів $2 \cdot 200A \cdot год. 12$ В.	5 кВт·год (200 А·г) 24 В	1 год.	1,2 кВт·год. (50 А·год.)		4 год.	42%
Розкладання води на складові гази	5 кВт·год (1,25 м ³ H_2O)	1 год.	4 кВт·год. 12 м Дж		4 год.	80%

Як виходить з таблиці, найефективнішим способом накопичення енергії вітру є перетворення її в електроенергію, а потім акумулювання в електричних

аккумуляторах або використанні її для накопичення відновлювального палива шляхом розкладання води на газ.

В останньому випадку ефективність використання енергії вітру підвищується більше ніж в $\frac{80\%}{25\%} = 3,2$ рази (рисунок 2.4).

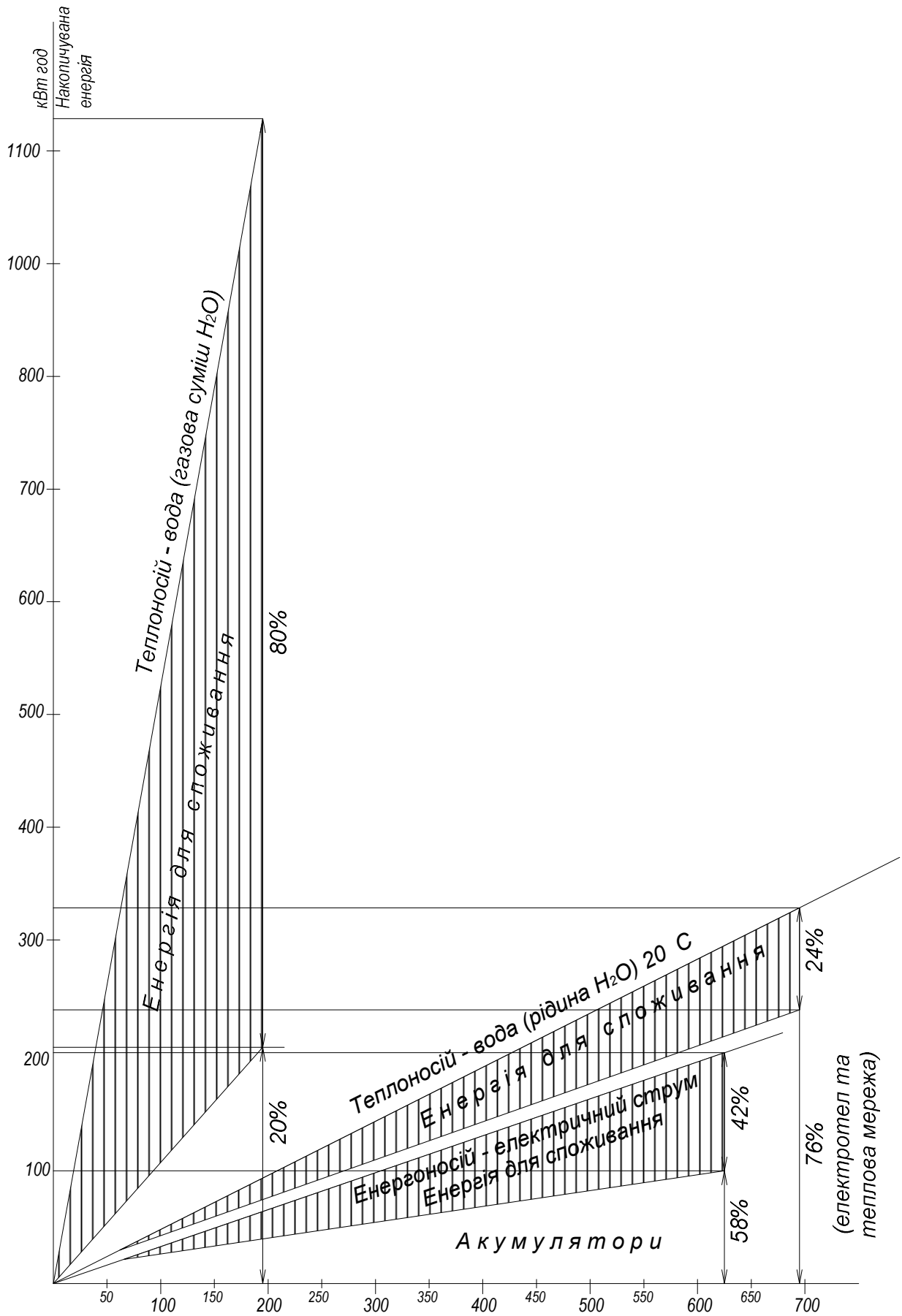


Рисунок 2.4 - Діаграми варіантів накопичення енергії вітру з використанням різних носіїв енергії

2.3 Використання встановленої потужності електрогенераторів та збільшення його ефективності

В існуючих вітроустановках з горизонтальним валом перетворення вітрової енергії в електричну здійснюється за допомогою синхронних або асинхронних генераторів, які в номінальному режимі генерують електроенергію змінного струму промислової частоти 50 Гц з напругою відповідною до напруги енергосистеми, що використовується як споживач. Встановлена потужність електрогенераторів таких установок велика – здебільшого мегавати, а напруга вимірюється в кіловольтах [17]. Саме такі параметри існуючих вітроустановок породжують низьку ефективність функціонування вітрової енергетики в енергозабезпеченні країни.

Справа в тому, що швидкість вітру на майданчику, де стоїть вітроустановка навіть на протязі години не буває стабільною, а звідси ніколи не буває стабільною частота змінного струму, що виробляє синхронний генератор. Також безперервно змінюється величина напруги змінного струму. Споживання такої нестабільної електроенергії стає неможливим. Тому, перед усім, таку електроенергію необхідно стабілізувати за допомогою регулювання частоти обертання ротора вітродвигуна та струму збудження генератора. Більше того, вітроелектроустановку з нестабільними параметрами дуже важко синхронізувати з енергосистемою та з'єднати їх для паралельної роботи. До речі, для енергосистеми така паралельна робота дуже бажана в часи пікових навантажень, тобто в чітко зазначений інтервал годин робочого дня, але саме в цей час, як правило, швидкість вітру зменшується. Протилежна ситуація виникає в нічний час, коли діє сильний вітер і вітроустановка здібна видати в енергосистему багато електроенергії, але енергосистемі вона в цей час не потрібна. Отже, вітроустановки великої потужності з горизонтальним валом можуть працювати паралельно з енергосистемами в дуже рідких випадках, використовуючи вузький діапазон швидкостей вітру на протязі періоду експлуатації. Саме тому ефективність використання “великої” вітроенергетики

дуже мала, а коефіцієнт використання встановленої потужності вітроелектроустановок з горизонтальним валом складає менше 0,23.

Очевидно, головна причина такого стану у вітроенергетиці криється в концепції виробництва та впровадження вітроприймальних пристроїв та вітроелектроустановок орієнтований тільки на вітроустановки змінного струму та віддача цієї електроенергії – тільки в енергетичні системи традиційної енергетики.

Збільшити ефективність функціонування вітроелектроенергетичних установок в існуючих умовах можливо тільки з переходом до альтернативної концепції виробництва та впровадження вітроприймальних пристроїв, які орієнтовані на вітроустановки з вертикальним валом, на генерування вітроелектроенергії постійного струму, на накопичення цієї електроенергії у вигляді електричних та хімічних енергоносіїв.

Справді, якщо площа поверхні вертикальної лопаті складає:

$$S_{\text{л}} = H_{\text{л}} \cdot B_{\text{л}}, \quad (2.15)$$

$$S_{\text{л}} = 8 \cdot 1,0 = 1,8 \text{ (м}^2\text{)}.$$

площа ротора, що охоплюється вітром, складає

$$S_{\text{рот.}} = H_{\text{р}} \cdot D_{\text{рот.}}, \quad (2.16)$$

$$S_{\text{рот.}} = 1,8 \cdot 3,0 = 5,4 \text{ (м}^2\text{)}.$$

То потужність вітрового потоку, що проходить через ротор, визначається формулою:

$$\begin{aligned} N_{\text{в}} &= M_{\text{оберт.}} \cdot \omega_{\text{оберт.}} = (F_{\text{відц.}} + F_{\text{тиску}} + F_{\text{кінет.}}) \cdot R_{\text{оберт.}} \cdot \omega_{\text{оберт.}} = \\ &= N_{\text{квт}} = \rho \cdot S \cdot v_{\text{в}}^2 \cdot \left(\frac{v_{\text{в}}}{R_1} + 1 + \frac{v_{\text{в}}}{R_{\text{об}}} \right) \cdot n \frac{v_{\text{в}}}{\frac{v_{\text{в}}}{\pi \cdot D_{\text{рот}}}} \cdot 9,8 \end{aligned} \quad (2.17)$$

де $\rho = 1,3$ – щільність повітря, кг/м^3 ;

$S_{\text{л}} = 1,8 \text{ м}^2$ – площа лопаті, що продувається вітром;

$v_B = 2 - 20$ – діапазон зміни швидкості вітру, м/сек;

$n = 6$ – кількість лопатей ротора з вертикальним валом.

Таблиця 2.3 - Загальні дані вітроустановок

Швидкість вітру, v	м/сек	2	4	6	8	10	12	15	20
Частота обертів ротора, w	берт./сек.	1,27	2,54	3,78	5,09	6,37	7,64	9,55	12,74
$M_{\text{оберт. ВД}}$	кГмс/сек	9,36 23,4	75 168	253 547	599 1273	1170 2457	2022 4212	3949 8160	9360 19188
$N_{\text{ВД}}$	кВт	0,116 0,291	1,864 4,182	9,361 20,263	29,880 63,499	73,038 153,380	51,373 115,360	69,563 163,694	168,615 395,560

Таблиця 2.4 - Вітроустановка з горизонтальним валом

Кількість генераторів	шт.	-	-	-	-	1	-	-	-
Потужність генераторів	кВт	0	0	0	0	50,0	0	0	0
Коефіцієнт використання становленої потужності	$\frac{EK_2}{n}$	0	0	0	0	1,0	0	0	0

Таблиця 2.5 - Вітроустановка з вертикальним валом

Кількість генераторів	шт.	1	2	8	24	58	120	290	934
Потужність генераторів	кВт	1,25	2,50	10,0	30,0	72,5	150	368,75	1167,5
Коефіцієнт використання	$\frac{EK_1}{n}$	0,1	0,74	0,93	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

становленої потужності									
---------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Як видно з таблиці, потужність вітрового потоку при збільшенні його швидкості в 10 разів виростає в 1000 разів і відповідно зростає потужність вітродвигуна з вертикальним валом (рисунок 2.5).

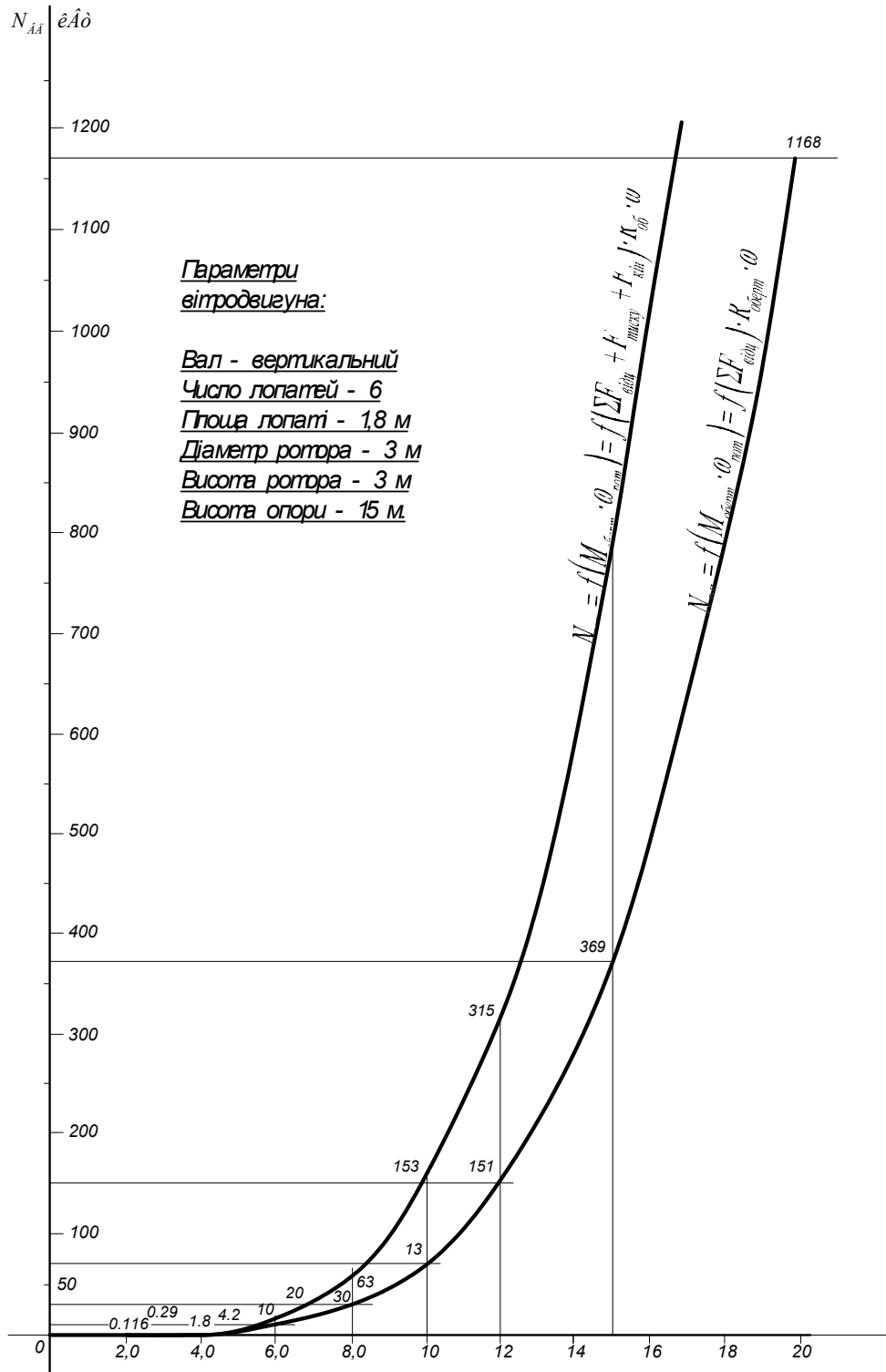


Рисунок 2.5 - Діаграма залежності потужності вітродвигуна від швидкості вітрового потоку

Це свідчить про те, що вітроустановки з вертикальним валом на відміну від вітроустановок з горизонтальним валом забезпечують можливість навантаження встановленої потужності електрогенераторів в залежності від збільшення швидкості вітру та потужності вітродвигуна. При цьому генератори малої потужності, які приєднані до валу вітродвигуна, можуть номінальну потужність послідовно. По мірі наростання потужності вітродвигуна, за рахунок подачі струму збудження відповідному генератору при одночасному обертанні роторів усіх інших встановлених генераторів (рисунок 2.6).

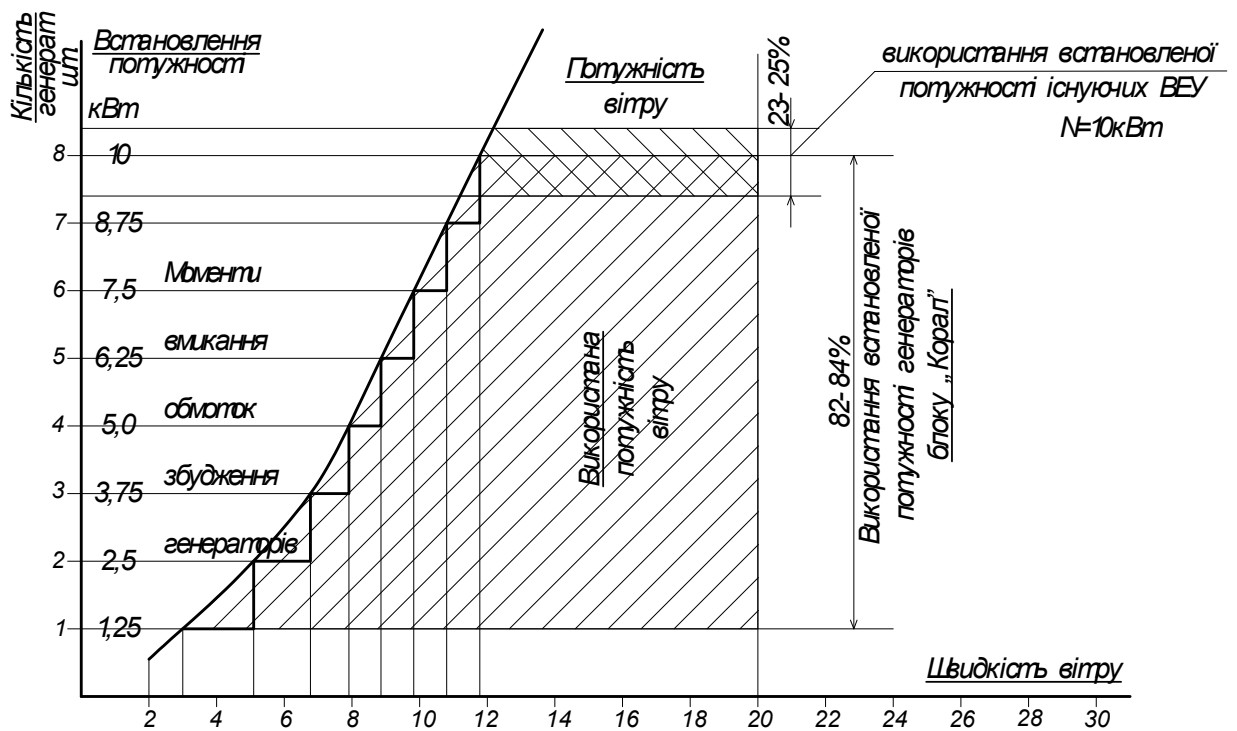


Рисунок 2.6 - Діаграми використання потужності генераторів в залежності від швидкості вітру

Не важко визначити коефіцієнт використання встановленої потужності у випадку оснащення вітроустановки багатьма генераторами малої потужності. Він становить:

$$K_1 = \frac{EK_1}{n}. \quad (2.18)$$

$$K_1 = \frac{0,1 + 0,74 + 0,93 + 1,0 + 1,0 + 1,0 + 1,0 + 1,0}{8} = \frac{6,68}{8} = 0,835.$$

Відповідно, коефіцієнт використання встановленої потужності генераторів у випадку оснащення вітроелектроустановки одним генератором великої потужності, наприклад 50 кВт, становить:

$$K_2 = \frac{EK_2}{n} \quad (2.19)$$

$$K_2 = \frac{0 + 0 + 0 + 0 + 1,0 + 0 + 0 + 0}{8} = \frac{1,0}{8} = 0,12.$$

Отже, ефективність використання встановленої потужності в вітроустановках з вертикальним валом більша в $\frac{0,835}{0,12} = 7,0$ разів порівняно з вітроустановками з горизонтальним валом, оснащення яких багатьма генераторами малої потужності конструктивно неможливо.

Саме тому в вітроелектроустановках запропонованої конструкції передбачається встановлення не одного, а двох, чотирьох, восьми і більше генераторів, ротори яких з'єднані з валом вітродвигуна і синхронно обертається, генеруючи електроенергію, якщо подається на генератор струм збудження. Принципова схема підключення обмоток збудження таких генераторів до джерел живлення подана (рисунок 2.7).

Реалізація концепції багатомашинного блоку електрогенераторів можлива лише при розробці спеціального редуктора, який дозволив би передавати оберти вертикального валу вітродвигуна одночасно вали роторів декількох генераторів та збільшувати частоту обертання роторів генераторів відносно вертикального валу вітродвигуна. При цьому, для стиковки вертикального вітродвигуна з

горизонтальними валами роторів електрогенераторів редуктор повинен бути комбінованим і мати в своєму складі кіничну передачу.

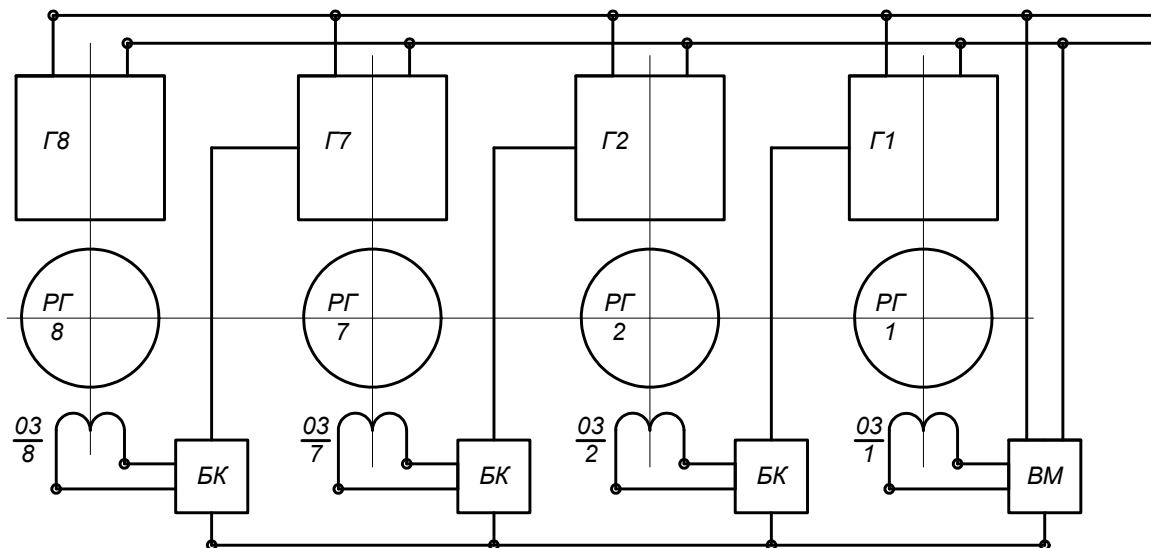


Рисунок 2.7 - Принципова схема електрично послідовного вмикання обмоток збудження генераторів блоку

де Г1÷Г8- генератори постійного струму однакової потужності;

ОЗ- обмотки збудження генераторів;

БК- блоки комутації;

ВМ- вимикач маси;

РГ- ротори генераторів.

Отже, якщо орієнтуватись на вітроелектроустановки з вертикальним валом, експлуатація яких передбачається при швидкості вітру, що змінюється в межах від 2 до 10 м/сек., потужність блоку електрогенераторів має бути в межах від 0,12 до 15 кВт. Для ефективного використання встановленої потужності підбираємо генератори серійного виробництва, наприклад типу Г273, що мають потужність 1,25 кВт постійного струму напругою 24 В при частоті обертання ротора 2100 об./хв. Очевидно, один такий генератор забезпечить генерування електроенергії в діапазоні малих швидкостей вітру: від 2 до 4 м/сек., а при швидкості вітру 8-10 м/сек. для використання енергії вітру потрібна загальна потужність не менше 10

кВт, тобто 8 генераторів потужністю по 1,25 кВт кожен. Виходячи з цього, конструкція спеціального редуктора передбачає двоступеневу передачу обертів, перша ступінь якої являє собою конічну зубчасту передачу, що має вертикальний вал, на якому сидить зубчате конічне колесо великого діаметру та чотири конічні зубчаті шестерні із горизонтальними валами. Що виходить з чотирьох сторін металевому корпусу першої ступені редуктора і мають на зовнішніх кінцях шківів клиноремінних передач другої ступені. Передавальне число кожної ступені редуктора 1:4, що забезпечує збільшення обертів вертикального валу після редуктора в 15 разів, а частоту обертання роторів генераторів до 2000 обертів за хвилину при швидкості вітру понад 3 м/сек. Такий редуктор забезпечує передачу потужності на 4 шківів клиноремінної передачі, кожний з яких передає потужність на 2 генератори, а всього на 8 генераторів.

За допомогою такої потужності конструкції редуктора досягається максимальна ефективність використання металу завдяки мінімальним розмірам корпусу конічної зубчастої передачі та зовнішньому розміщенню клиноремінних передач якщо порівняти його з розмірами редуктора та інших елементів конструкції, що необхідні у випадку використання одного потужного генератора.

Таблиця 2.6 - Результати розрахунків деяких параметрів конструкцій таких редукторів

Варіанти редуктора	I	Д _{ш.к.} , мм	Д _{з.к.} , мм	Габаритні розміри, м	Об'єм корпусу, м ³
одноступеневий	1:16	144	230	2,5x2,5x0,2	1,5
двоступеневий	1:16	90	0,4	0,4x0,2x0,4	0,03

Навіть без урахування вагових характеристик, очевидно, що двоступеневий редуктор по об'єму менше від одноступеневого в $1,5 \text{ м}^3 : 0,03 \text{ м}^3 = 50$ разів.

Кінематична схема двоступеневого редуктора приведена в додатку Б.

2.4 Технічні параметри малої вітроелектроенергетичної установки з вертикальним валом в порівнянні з іншими вітро- та бензоелектростанціями

Виходячи з вищенаведеного, високоефективна вітроенергетична установка акумулююча, наприклад ВЕУА “Надія-1”, має складатись з наступних елементів та складових частин (додаток Б):

1 – вітродвигун з вертикальним валом, що має три, шість чи більше вертикальних прямокутних лопатей з випуклою поверхнею, які можуть змінювати свій кут атаки відносно напрямку дії вітру;

2 – блок електрогенераторів, який має комбінований редуктор з вертикальним валом. Що з’єднується з валом вітродвигуна та забезпечує передачу потужності до двох, чотирьох чи восьми електрогенераторів та максимальне використання їх встановленої потужності в широкому інтервалі зміни швидкості вітру;

3 – ферма опорна, що має монтажну платформу прямокутної форми, на яку встановлено вітродвигун та блок електрогенераторів. Та складається із секції висотою по 2 м, за допомогою яких забезпечується підймання вітродвигуна на висоту максимально ефективної дії вітру для визначеного місця експлуатації;

4 – блок енергетичний, в якому розміщено панель з комутаційними, вимірювальними та захисними електроприладами, акумулятори ємністю до 300 А·год. кількістю від 2 до 8 шт., а також інвертор 24 В/220В промислової частоти 50 Гц та бензоелектрогенератор потужністю 2-3 кВт для підзарядки акумуляторів в періоди відсутності вітру та живлення від мережі.

В такому складі вітроелектроустановка “Надія-1” може забезпечити безперервним електроживленням будь-який об’єкт, що знаходиться в сільській місцевості, де відсутні газові, теплові мережі та стабільне електроживлення. Це

сільські школи, лікарні, бази відпочинку, туристичні бази, фермерські господарства та малі підприємства, окремі будинки, котеджі, тощо.

В кожному з цих випадків має бути попереднє обстеження місця розташування вітроустановки, сформульовані технічні вимоги споживача та розроблена технічна документація на виготовлення найбільш ефективного та економічно вигідного варіанту ВЕУ.

Безумовно, потреба електроживлення від вітроелектроенергетичних установок визначається економічною доцільністю та техніко-економічною ефективністю ВЕУ, наприклад “Надія-1”, порівняно з іншими електроустановками, наприклад “ВЗУ-075”, яка випускається в Україні, а також з бензоелектроустановками малої потужності “HONDA” та “GEKO” зарубіжних фірм, які присутні на ринку в Україні.

Таблиця 2.7 - Порівняльний аналіз технічних характеристик ВЕС малої потужності, що присутні на ринку України

№№ пп	Технічні параметри	“ВЕУ-075”	ВЕУ “Надія-1”
1	Стартова швидкість вітру, м/сек	2,5	2,0
2	Номінальна швидкість вітру, м/сек	7,5	8,0
3	Номінальна потужність на валу вітродвигуна, Вт	790	7600
4	Номінальна потужність генераторів, Вт	750	7500
5	Діаметр ротора вітродвигуна (вал горизонтальний), м	3,3	-
6	Діаметр ротора вітродвигуна (вал вертикальний), м	-	3,0

7	Кількість лопатей (вал горизонтальний), шт.	3	-
8	Кількість лопатей (вал вертикальний), шт.	-	6

Продовження таблиці 2.7

9	Діапазон робочих швидкостей вітру, м/сек.	2.5-4.5	2,0-20
10	Типи генераторів	Багатополюсний на постійних магнітах спеціальний	Швидкохідний генератор серійного виробництва від 2 до 10
11	Висота опори, м	11	від 2 до 10
12	Система обмеження потужності	Повертанням лопатей	Зменшення струму збудження
13	Регулювання частоти обертання ротора вітродвигуна	-	Зменшенням кута атаки лопатей, діаметру ротора
14	Система орієнтації ротора відносно напрямку дії вітру	Автоматична зарахунок вітрильності ротора	Немає потреби
15	Номінальний запас електроенергії в акумуляторах, кВт·год.	2,4	20,0
16	Електрозабезпечення споживачів	Електроенергія змінного струму 220 В через інвертор	Безперервне, постійного струму 24 В; змінного

			групу 220 В через інвертор
--	--	--	----------------------------

Як видно з таблиці, потужність ВЕУ “Надія-1” на постійний запас акумульованої електроенергії більшої в 10 разів від аналогічних параметрів вітроустановки з горизонтальним валом “ВЕУ-075” при майже однаковій якості та швидкості вітру.

Альтернативою вітроелектростанціям (ВЕС) малої потужності на ринку України стають бензоелектричні станції (БЕС) близької за величиною потужності за умови їх безперервної роботи хоча б по 8 годин на добу, але електроживлення споживачів на протязі значного часу від БЕС економічно невигідно та екологічно шкідливе (постійна дозаправка паливом, заміна масла та фільтрів, поточні та капітальні ремонти, шум, вихлопні гази та інше). До того ж споживання палива такими БЕС не залежить від величини навантаження агрегату (одна електрична лампа живиться струмом від БЕС чи бетономішалка).

Таблиця 2.8 - Порівняльний аналізу технічні та економічні показники ВЕС та БЕС (ВЕУ-075, Надія-1, Honda, Geko)

№ п/п	Технічні параметри, економічні показники	ВЕУ-075	ВЕУ “Надія”	БЕС Honda	БЕС Geko
1	Мінімальна потужність, кВт	1,5	7,5	2,0	2,2
2	Вартість обладнання, у.о.				
	- основного	2000	6000	750	595
	- допоміжного	-	-	50	50
3	Вартість будівельно-монтажних робіт, у.о.	1000	-	-	-
4	Витрати експлуатаційні, у.о.				
	- за один рік	80	100	2374	2592

	- за 20 років	1600	2000	47480	51840
	в тому числі:				
	витрати на бензин (марка A95 по 37,4 цента за 1л)				
	- споживання бензину за 1 год., л	-	-	2,0	2,2

Продовження таблиці 2.8

	- споживання бензину за 1 рік, л	-	-	5840	6424
	- вартість спожитого бензину за 1 рік, у.о.	-	-	2184	2402
	- вартість спожитого бензину за 20 років, у.о.	-	-	43680	48040
	- вартість спожитого масла та фільтрів за рік, у.о.	-	-	190	190
	- вартість спожитого масла та фільтрів за 20 років, у.о.	-	-	3800	3800
5	Загальні витрати, у.о.	4500	8000	48280	52485
	Період часу роботи за добу, год.	16	16	8	8

7	Виробіток електроенергії, кВт·год.				
	- за добу	24	120	16	17,6
	- за рік (365 діб)	8760	43800	5840	6424
	- за 20 років	175200	876000	116800	128480
8	Вартість виробленої електроенергії за 20 років, (при тарифі 4 цента/ кВт·год., у.о.	7008	35040	4672	5139
9	Період окупності витрат (при 20 річній експлуатації), рік	13	4.5	206/!	204/!
10	Можливість автоматичного запуску при відключенні живлення електромережі	так	так	-	-
11	Можливість економічного режиму живлення споживачів	так	так	-	-
12	Можливість роботи без обслуговуючого персоналу	так	так	-	-

13	Екологічна чистота експлуатації	так	так	-	-
----	------------------------------------	-----	-----	---	---

Отже, як видно з порівняльної таблиці. Вітроенергетична установка “Надія-1” з вертикальним валом та акумулюванням електроенергії забезпечує генерування електричної потужності до 7,5 кВт, яка майже в 10 разів більша від потужності “BE-075”, в 3 рази більша від потужності БЕС “Honda” та “Geko”.

БЕУ “Надія-1” забезпечує кількість виробленої електроенергії за період експлуатації в 5 разів більшу, ніж виробляє “БЕУ-075” та майже в 9 разів більшу, ніж виробляється БЕС “Honda” та “Geko”.

Саме тому період окупності цієї вітроелектроустановки складає всього 4.5 роки, що майже в 3 рази менший від періоду окупності “БЕУ-075” та майже в 46 разів менший від БЕС “Honda” та “Geko”.

Більше того. БЕУ “Надія-1” на відміну від БЕС “Honda” та “Geko” забезпечує можливість автоматичної подачі електроживлення споживачам при раптовому несанкціонованому відключенні електромережі, можливість економічного електроживлення споживачів в залежності від навантаження системи економічного електрозабезпечення, можливість експлуатації вітроустановки без обслуговуючого персоналу, а також забезпечує стартове перевантаження джерел електроживлення до 200% від номінального та екологічну частоту експлуатації.

2.5 Визначення ефективної потужності та елементи накопичувачів

Потужність та ємність накопичувачів енергії вітроелектроустановок очевидно залежить від потужності генеруючої установки, вітрової активності на місці експлуатації БЕУ, а також режимів роботи БЕУ у взаємодії з електроенергією.

Можливі три варіанти взаємодії БЕУ з навколишнім середовищем:

1. ВЕУ працює цілком автономно, в місцевості, де немає ніяких електромереж, і для підзарядки акумуляторів в періоди відсутності вітру використовує бензиноелектрогенератори малої потужності.

2. ВЕУ працює автономно, але має ввід від електромережі напругою 220 В для підзарядки акумуляторів в періоди відсутності вітру.

3. ВЕУ працює автономно, але має ввід від електромережі напругою 220 В та бензиноелектрогенератор для підзарядки акумуляторів в періоди відсутності вітру.

В цих випадках накопичування енергії вітру може здійснюватись в залежності від потреб споживача, який зацікавлений в безперервному електроживленні на протязі доби чи декілька діб, або в залежності від обсягу виробництва електроенергії вітроустановкою з метою забезпечення цією енергією максимальної кількості споживачів в даний період

Очевидно, що обсяги накопичення енергії для будь-якого споживача будуть значно меншим ніж обсяг накопичення виробленої енергії ВЕУ в цілому.

Визначення цих обсягів очевидно доцільно проводити з дискретністю – одна доба.

В такому разі обсяг виробленої енергії за добу при середній швидкості вітру $v_B = v_H$ в місці розташування ВЕУ буде

$$W_{BEU} = \Sigma P_{нг} \cdot T_{доб.} \text{ [кВт}\cdot\text{год]}, \quad (2.20)$$

або

$$W_{BEU} = \Sigma I_{нг} \cdot T_{доб.} \cdot U_H \text{ [А}\cdot\text{В}\cdot\text{год]}. \quad (2.21)$$

Якщо потужність ВЕУ складає 10 кВт постійного струму напругою 24 В, то за добу буде вироблено електроенергії:

$$W_H = \Sigma I_H \cdot T_{доб.} \cdot U_H = n_{ген.} I_H \cdot U_H \cdot T_{доб.} \quad (2.22)$$

$$W_H = 240 \text{ (кВт}\cdot\text{год)},$$

або

$$W_n = 8_{\text{ген.}} \cdot 48A \cdot 24\text{год} = 9216 (A \cdot \text{год}).$$

При ємності батареї з двох послідовно з'єднаних акумуляторів 200 А·год напругою в зарядженому стані 24 В акумулювати таку кількість електроенергії за добу зможуть не менше як

$$N_{AB} = \frac{E_{BEY}}{E_{AB}}, \quad (2.23)$$

$$N_{AB} = \frac{9216}{200A} = 46 \text{ (батареї)}.$$

Таким чином, для акумулювання електроенергії, виробленої вітроелектроустановкою за добу потрібно біля 46 батарей акумуляторів або 92 акумулятори ємністю 200 А·год. при 12 В. Звичайно таку кількість акумуляторів розмістити в енергетичному блоці ВЕУ неможливо. Разом з тим витратити енергію вітру, яка прийнята вітроелектроустановкою та перетворена в електричну теж не можна. До того ж цю електроенергію чекають споживачі, які теж хотіли мати свій запас електричної енергії. Тому виникає нове поняття в електроенергетиці – акумулюючі системи (мережі). Саме завдяки таким системам можна підняти ефективність неефективної вітроенергетики, особливо малих потужностей. Отже 46 акумуляторних батарей не обов'язково розміщувати в енергоблоці вітроелектроустановки, їх краще розмістити у кожного споживача у вигляді акумулюючого блока, який складається з 2 батарей акумуляторів ємністю 200 А·год при напрузі 24 В. Загальна потужність такого блоку становить біля 10 кВт·год, тобто від однієї вітроелектроустановки електроживленням забезпечується до 240 кВт·год : 10 кВт·год = 24 блоків акумулюючих.

Якщо при цьому врахувати те, що коефіцієнт одночасної роботи цих батарей $K_o < 1$, тобто блоки майже ніколи не будуть одночасно підключені до

електромережі 24 В ВЕУ, то вищевказана кількість блоків акумулюючих або частота підзарядки кожного з них можуть збільшуватись.

Абонентські блоки акумулювання енергії для споживачів можуть бути як акумуляторними, так і газогенераторними, тобто забезпечувати споживача газовим паливом для одержання теплової енергії.

В цьому випадку блок акумулюючий замість акумуляторів забезпечується газогенератором відповідної потужності та накопичувачами. Якщо потужність газогенератора в межах 5 кВт, то за добу при коефіцієнті навантаження $K_n = 0,25$ блоком акумулюючим буде спожито 60 кВт·год. електроенергії, за допомогою якої буде генеровано 12 м³ газу водню (H₂) при нормі витрати електроенергії 5 кВт на 1 м³ H₂. Відповідно, ємність накопичувача H₂ визначається кількістю газу виробленого за добу. Ця кількість виробленого газу має задовольнити потреби споживачів енергії за добу.

Наприклад, для підігріву 100 л води від 0 до 100°C за 1 годину необхідно теплової енергії

$$Q_v = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1). \quad (2.24)$$

$$Q_v = 4,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{ккал}} \cdot 100 \text{л} (100^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) = 4200 \text{ (кДж)} \text{ або } 42 \text{ (мДж)}.$$

Оскільки при спалюванні 1 м³ водню виділяється до 12 мДж теплової енергії, на нагрівання вищевказаної води знадобиться не більше

$$V_{Y_2} = \frac{Q_v}{Q_{H_2}}. \quad (2.25)$$

$$V_{Y_2} = \frac{42 \text{ мДж}}{12 \text{ мДж/м}^3} = 3,5 \text{ (м}^3\text{H}_2\text{)}$$

Отже, добовий запас – 12 м³ власного, екологічно чистого та високоефективного газового палива забезпечує не тільки нагрівання води та виключає використання традиційного вуглецевого палива, як то природний газ, вугілля, дрова тощо.

Таблиця 2.9 - Параметри ефективності акумулюючих ВЕУ та систем приведені в таблиці

№ п/п	Ідентифікації ВЕУ параметри	ВЕУ “Надія-01”	ВЕУ “Надія-1”	ВЕУ “Надія-2”
1	номінальна швидкість вітру, м/сек	7	7	7
2	номінальна потужність генераторів, кВт	1,0	10,0	20,0
3	виробляє електроенергії за добу, кВт·год.	24	240	480
4	обсяг накопичення електроенергії за добу, кВт·год.	20	120	120
5	обсяг спожитої електроенергії за добу, кВт·год.	20	120	120
6	обсяг спожитої електроенергії по відношенню до виробленої, %	80	50	25
7	коефіцієнт використання затрат на придбання ВЕУ	0,8	0,5	0,25

3.ПОТЕНЦІАЛ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ

Україна в питаннях перспективи розвитку енергетики не відстає від тенденції світу та Європи зокрема і також орієнтована на скорочення використання традиційної енергетики. Україна в 2011 році за темпами розвитку альтернативної енергії обігнала деякі провідні держави Європи[3]. За даними Національної комісії з регулювання енергетики України в 2011 році встановлена потужність вітроелектростанцій (ВЕС) збільшилась на 73 % (на 66,1 МВт) і на кінець року склала 151,1 Вт (в порівнянні з 87,5 МВт в 2010 році). Світовий досвід показує, що найефективніше енергія вітру використовується в морських і прибережних районах, а також в гірських і пересічених місцевостях. З цієї точки зору територія України, має відповідні географічні характеристики і значну кількість перспективних для вітроенергетики зон.

Загальний вітровий потенціал України – 16-24 ГВт (ДТЕК, Всесвітня асоціація вітроенергетики). 16 ГВт вважають економічно обґрунтованим потенціалом. Найбільш перспективні регіони – південний та південно-західний, де середня річна швидкість вітру на висоті 80 метрів перевищує 7,5 м/сек. (КабМін, 2014, Держенергоефективності, 2015).



Рис. 3.1. Енергетичний потенціал вітру України

Україна має потужні ресурси вітрової енергії: річний технічний вітроенергетичний потенціал дорівнює 30 млрд кВт·год. В умовах України за допомогою вітроустановок можливим є використання 15...19 % річного потенціалу енергії вітру. Застосування вітроустановок для виробництва електроенергії в промислових масштабах найефективніше в регіонах України, де середньорічна швидкість вітру > 5 м/с: на Азово-Чорноморському узбережжі, в Одеській, Херсонській, Запорізькій, Донецькій, Луганській, Миколаївській областях, АР Крим та в районі Карпат. Реалізація державних національних програм в галузі вітроенергетики за 2010 рік дозволила загально річне виробництво електроенергії на вітроелектростанціях та автономних вітроустановках близько 5,71 млн МВт·рік, що дозволить забезпечити близько 2,5 відсотків від загального річного електроспоживання в Україні. Питомий енергетичний потенціал вітрової енергетики наведений в таблиці 3.1, та на рисунку 3.2.

Таблиця 3.1 Питомий енергетичний потенціал вітрової енергетики України

№ району	Середньорічна швидкість вітру, $v_{cp}, \text{м/с}$	Висота, м	Природний потенціал вітру, $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2\cdot\text{рік}$	Технічно-досяжний потенціал вітру $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2\cdot\text{рік}$
1	$\leq 4,25$	15	1120	200
		30	1510	280
		60	2030	375
2	4,5	15	2010	390
		30	2710	520
		60	3640	700
3	5,0	15	2810	520
		30	3790	690
		60	5100	860
4	5,5	15	3200	620
		30	4320	830
		60	5810	1020

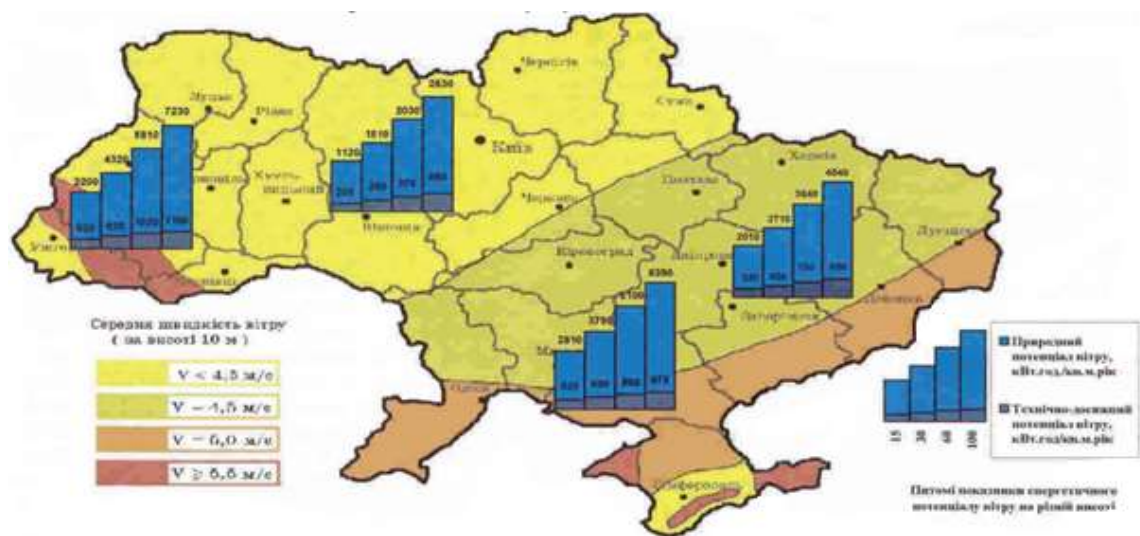


Рис.3.2. Енергетичний потенціал вітру на території України

3.1 Вітрова енергетика в Україні станом на 2018 рік

Впродовж 2020 року відновлювальна енергетика в Україні отримала ще 740 МВт енергогенеруючої потужності. В порівнянні з попереднім роком приріст потужності склав 54 %. При цьому кількість об'єктів “зеленої” енергогенерації, було введено в експлуатацію в 2,8 рази більше чим за аналогічний період в 2017 році. Тепер потужність всіх енергоустановок, що використовуються в ВДЕ, складає 2,117 ГВт.



Рис.3.3. Встановлена потужність об'єктів відновлювальної електроенергетики, що працюють за “зеленим” тарифом, МВт.(з урахуванням СЕС домогосподарств(станом на 01.01.2019))

Вітрових електростанцій в 2018 році в експлуатацію було введено 67,77 МВт, сумарна потужність вітрових електростанцій в країні складає 532,845 МВт.

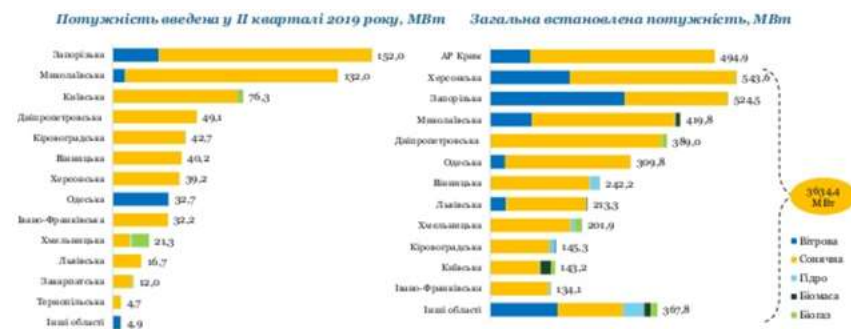


Рис.3.4. Встановлена потужність об'єктів ВДЕ по регіонах

За даними аналізу, проведеного ООН, очікується, що за період 2040-2050рр. виробництво енергії у світі на 50% базуватиметься на використанні відновлювальних джерел енергії, до яких, зокрема, належить вітроенергетика.

За класифікацією всесвітньої вітроенергетичної асоціації, за рівнем розвитку вітроенергетики Україна займає 37 місце серед 82 країн. Тобто, Україна має істотний потенціал розвитку вітроенергетики.

4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВЕС

Використання відновлюваних джерел енергії потребує відмови від звичайної локальної оптимізації технічних засобів, які застосовуються у системах перетворення енергії, і визнання єдиним критерієм загальної народногосподарської ефективності одержаної енергії.

При використанні наземних ВЕС виявляється, що мінімальну собівартість енергії забезпечують зовсім не ті ВУ, які мають максимальне ККД, а ті, які дешевше у виготовленні, простіші і надійніші в експлуатації. При однакових будівельних та експлуатаційних якостях перевага знову-таки віддається не агрегату з максимальним ККД, а агрегату з максимальним середньорічним виробітком на одиницю маси або вартості виробу. Одною із значних переваг ВЕС перед ТЕС, АЕС і ГЕС є те, що капітальні вкладення практично не заморожуються і ВЕУ може виробляти електроенергію через тиждень після її доставки на будівельний майданчик.

У 80-ті роки у США затрати на виробництво 1 кВт електроенергії оцінюються (у центах); на вітроелектростанціях - 18, ТЕС на вугіллі - 5-8, АЕС - 5-6 (на нових -10) і на малих ГЕС - 5-8 центів.

За результатами досліджень датського "Фолькцентру" собівартість енергії, яка вироблена на вертикальній ВЕУ, у 2,5 рази вище, ніж на горизонтальних.

Перші результати експлуатації Донузлавської ВЕС у Криму свідчать про їх конкурентноздатність по відношенню до ТЕС. Так, собівартість електроенергії на ВЕС оцінюється в 1 цент/кВт·год, у той час як на газомазугних ТЕС вона складає близько 3 цента/кВт·год.

При експлуатації експериментальних вітроустановок АВЕ-250С виробництва ПО "Південмаш" собівартість оцінюється у 2,3 цента/кВт, що є сприятливим. Однак, у випадку придбання для України вітроустановок закордоном за світовими цінами досягнути таких показників не можливо.

Метою даного розділу являється визначення економічної ефективності впровадження ВЕС.

4.1 Визначення капіталовкладень

Визначимо капіталовкладення в дану систему. В таблиці 4.1 наведемо вартість приладів і визначимо сумарну вартість системи.

Таблиця 4.1– Вартість обладнання ВЕС

№	Найменування приладу	Найменування фірми виготовлювача приладу	Усереднена вартість приладу на Українському ринку, тис.грн.
1	Електрогенератор	“Сапсан”	6000
2	Вітродвигун	“Сапсан”	1950
3	АБ ємністю 300 А	“Сапсан”	2250
4	Бензоелектрогенератор	“Сапсан”	1800
5	Інвектор 24В/220В	“Сапсан”	1200
6	Редуктор з валом	“Сапсан”	900
7	Лопать	“Сапсан”	600
8	Опора	“Сапсан”	300
Всього			15000

Капіталовкладення на спорудження ВЕС:

$$K = 6000 + 1950 + 2250 + 1800 + 1200 + 900 + 600 + 300 = 15000 \text{ (тис.грн.)}.$$

Питомі капітальні вкладення на 1 кВт встановленої потужності визначається по виразу:

$$K_{\text{пит}} = \frac{K_{\Sigma}}{N_{\text{вст}}}, \quad (3.1)$$

де K_{Σ} - сумарні капітальні вкладення на спорудження ВЕС, грн;

$N_{\text{вст}}$ - встановлена потужність ВЕС,кВт

$$K_{\text{пит}} = \frac{15000}{4,8} = 3125(\text{грн/кВт});$$

4.2 Визначення собівартості виробітку електроенергії

Собівартість електричної енергії являється найважливішим економічним показником роботи ВЕС і являє собою сукупність всіх затрат на виробництво енергії в грошовому вираженні. Собівартість одиниці виробленої енергії визначають як відношення сумарних затрат виробництва (експлуатаційних витрат) до кількості відпущеної енергії.

По діючій в даний час інструкції планування та облік собівартості електроенергії здійснюється по калькуляційних статтях витрат і економічних елементах. В дипломному проекті рекомендується використовувати методику укрупненого розрахунку собівартості по економічних елементах, яка використовується в проектних інститутах.

Річний кошторис затрат на виробництво енергії складається по чотирьох економічних елементах: амортизація основних фондів, заробітна плата з врахуванням додаткової заробітної плати та відрахувань на соціальні потреби, інші витрати.

Собівартість представляє собою відношення сумарних виробничих затрат до кількості електроенергії, відпущеної ВЕС.

$$C = \frac{\Sigma Z}{E_{\text{відп}}}, \quad (3.2)$$

де ΣZ - сумарні експлуатаційні витрати виробництва.

$E_{\text{відп}}$ – відпущена електроенергія.

$$\Sigma Z = Z_a + Z_{\text{зп}} + Z_{\text{інш}}, \quad (3.3)$$

де Z_a – сума затрат на амортизацію;

$Z_{\text{зп}}$ – сума затрат на заробітню плату;

$Z_{\text{інш}}$ – інші витрати.

$$Z_a = \frac{1}{T_{\text{е.н}}} \cdot K, \quad (3.4)$$

де $T_{\text{е.н}}$ – нормальний строк експлуатації;

K – капіталовкладення.

$$Z_a = \frac{1}{20} \cdot 15000 = 750 (\text{тис. грн./рік}).$$

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{м}} \cdot 12 \cdot K_{\text{в}}, \quad (3.5)$$

де $Z_{\text{м}}$ – щомісячна заробітня плата;

$K_{\text{в}}$ - коефіцієнт відрахування на соціальні потреби ;

$K_{\text{в}} = 1,375$.

$$Z_{\text{зп}} = 325 \cdot 12 \cdot 1,375 = 5362,5 (\text{тис. грн./рік}).$$

$$Z_{\text{інш}} = n_i \cdot K, \quad (3.6)$$

де n_i – норма витрат на утримання обладнання; $n_i = 0,03$.

$$Z_{\text{інш}} = 0,03 \cdot 15000 = 450 (\text{тис. грн./кВт}).$$

Отже, $\Sigma Z = 750 + 5362,5 + 450 = 6562,5 (\text{тис. грн}).$

$$E_{\text{відп}} = E_{\text{вир}} \cdot (1 - \alpha), \quad (3.7)$$

де $E_{\text{вир}}$ – кількість виробленої за рік електроенергії;

α – коефіцієнт власних потреб, $\alpha = 0,01$;

$$E_{\text{вир}} = N \cdot 12 \cdot n_{\text{вітр}} \cdot 24, \quad (3.8)$$

де N – потужність ВЕС, $N = 4,8$ кВт ;

$n_{\text{вітр}}$ – кількість вітрових днів в місяць, $n_{\text{вітр}}=24$ днів. При тому що робочий діапазон починається з 3 м/с. і вище.

$$E_{\text{вир}} = 4,8 \cdot 12 \cdot 24 \cdot 24 = 33177,6(\text{кВт} \cdot \text{год}).$$

$$E_{\text{відп}} = 33177,6 \cdot (1 - 0,01) = 32845,8(\text{кВт} \cdot \text{год}).$$

Отже собівартість електроенергії буде:

$$C = \frac{656250 \cdot 10^2}{32845,8} = 19,97(\text{коп./кВт} \cdot \text{год}).$$

5. ЗАХОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОЇ ТА БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК

5.1 Задачі розділу

Охорона праці – одна із важливих соціально-економічних проблем сучасного суспільства. В нашій країні вже досить тривалий час реалізується широка програма соціально-економічних заходів, направлених на оздоровлення виробничого і навколишнього середовища, поліпшення умов праці, побуту, відпочинку, підвищення рівня життя і здоров'я населення. В сфері виробництва увага приділяється створенню необхідних санітарно-гігієнічних, морально-психологічних, безпечних, здорових умов праці технологічного персоналу. Застосування в сучасному виробництві складного устаткування, нових матеріалів, електричної енергії та вимагає від адміністративного персоналу суворого дотримання і виконання умов охорони праці.

Коли плануються роботи по розташуванню, встановленню та експлуатації вітряка в першу чергу необхідно подумати про забезпечення безпеки. Ніколи не слід забувати про небезпеки, які пов'язані з механічними і електричними пристроями і з лопатами ротора. Обертові лопаті вітрогенератору (вітряк) є основним механічним джерелом небезпеки. Лопаті ротора вітряка виготовлені з міцного термопласти. Швидкість руху кінцевих точок лопатей може перевищувати 400 км / год. При такій швидкості край лопатей майже невидимий і може завдати серйозної травми працівнику при його знаходженні поблизу рухомих лопатей ротора.

Оскільки роботи по монтажу вітряка проводяться на значній висоті та на відкритій місцевості, то при їх монтажі або обслуговуванні необхідно дотримуватися правил охорони праці з робіт на висоті, враховувати мікро-кліматичні умови виробничого середовища, санітарно-гігієнічні параметри, що характеризують виробничий шум, освітлення, вібрацію та ін.

Вітряк обладнаний складними електронними пристроями, при розробці та монтажі яких необхідно забезпечити захист працівника від електричних джерел

небезпеки, пов'язаних з ризиком дії надмірної величини електричної енергії та параметрів що її характеризують на працівника.

Внаслідок протіканням надмірного струму по проводах з недостатнім перетином або через погані контакти металевих з'єднань можливе надмірне виділення тепла в системах електротехнічного монтажу, що стає часто результатом пожеж вітряків. Також ризик виникнення пожеж на вітряках відбувається у разі короткого замикання в проводах, що йдуть від акумулятора.

Наведене вище обґрунтовує **актуальність проблеми**, що полягає у розвитку питань охорони праці при виконанні робіт пов'язаних з монтажем вітряків, які працюють в складі електроенергетичної системи України з урахуванням сучасних знань, системного та ризик-орієнтовного підходів про природу небезпеки.

Враховуючи те, що для мінімізації ризику професійного захворювання та травматизму працівників при виконанні робіт пов'язаних з монтажем вітряків вимотається рішення цілого комплексу питань з охорони праці а обсяг розділу даного диплому обмежений то сформулюємо основні задачі щодо охорони праці за темою дипломного проектування:

1. Провести аналіз умов праці при виконанні робіт пов'язаних з монтажем вітряків, які працюють в складі електроенергетичної системи України за міждержавним ГОСТ12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

2. Розробити організаційно-технічні рішення з охорони праці при електричному монтажі вітрогенератора. Розрахувати параметри заземлюючого пристрою вітрогенератора.

3. Описати основні заходи протипожежного захисту вітроелектричних установок.

- 5.2. Аналіз умов праці робіт пов'язаних з монтажем вітряків, які працюють в складі електроенергетичної системи України

На основі аналізу літературних джерел [25] та викладеного матеріалу у підрозділі 4.1 при проектуванні і виконанні монтажних робіт вітряків повинні бути

враховані наступні небезпечні і шкідливі виробничі фактори з урахуванням міждержавного нормативного документа з охорони праці ГОСТ 12.0.003-74 [27]:

Фізичні небезпечні й шкідливі виробничі фактори:

- ~ небезпечні рівні напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- ~ розташування робочого місця на значній висоті щодо поверхні землі (підлоги);
- ~ гострі крайки, задирки і шорсткість на поверхнях заготовок, інструментів, устаткування;
- ~ рухомі частини виробничого устаткування;
- ~ вироби, що пересуваються, заготівки, матеріали;
- ~ підвищена і знижена температура повітря робочої зони;
- ~ підвищена вологість повітря;
- ~ підвищений чи знижений барометричний тиск у робочій зоні і його різка зміна;
- ~ підвищена чи знижена рухливість повітря;
- ~ підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони;
- ~ недостатня освітленість робочої зони;
- ~ відсутність чи недостача природного світла;
- ~ підвищена яскравість світла; пряма і відбита блискість;
- ~ підвищений рівень шуму на робочому місці;
- ~ підвищений рівень вібрації;
- ~ підвищений рівень ультразвуку;
- ~ підвищений рівень іонізуючих випромінювань у робочій зоні
- ~ підвищений рівень статичної електрики.

Додатково повинні бути враховані наступні фізичні небезпечні виробничі фактори:

- ~ несправність вантажопідіймальних засобів;
- ~ підвищений рівень електричної енергії;
- ~ підвищена пожежна небезпека: відкритий вогонь, токсичні
- ~ продукти згорання, іскри, дим;
- ~ підвищена вибухонебезпечність.

Психофізіологічні небезпечні й шкідливі фактори:

- ~ фізичні перевантаження;
- ~ нервово-психологічні - втрата самовладання, порушення координації рухів, необережні дії, недбале виконання своєї роботи.

Джерелами (носіями) небезпеки є:

- ~ рухомі машини і механізми;
- ~ електрообладнання;
- ~ природне середовище;
- ~ людина.

5.3 Розробка організаційно-технічних рішень з охорони праці при електричному монтажі вітряка

5.3.1. Організаційно-технічні рішення з охорони праці за стандартами України з вітроенергетики

За умовами дипломного проекту розробка організаційно-технічних рішень з охорони праці проводиться для вітряка (Вітрогенератор СВ-6.7/1000).

Для розробки рішень з охорони праці при електричному монтажі вітряка заданих технологічних параметрів за темою диплому були проаналізовані Державні стандарти з вітроенергетики України (Додаток Г)[29]. та Галузеві керівні документи:

ГКД 3-001-2000 Вітроенергетика. Установки електричні вітряні. Порядок проведення приймальних випробувань дослідних зразків.

ГКД 3-002-2000 Київ 2001. Вітрові електричні установки. Основні положення щодо складання та монтажу. Цей документ (ГКД) поширюється на горизонтально- та вертикально-осьові вітроелектричні установки (ВЕУ) і встановлює порядок та основні положення щодо складання, монтажу, випробування, пуску, комплексної перевірки та обкатки ВЕУ на місці експлуатації.

Аналіз нормативно-технічної літератури дозволив виділити ряд однотипних операцій при монтажі вітрогенератора: підготовчі роботи, безпосередньо монтаж вітряка та завершення роботи.

Кліматичні умови визначаються шляхом вимірювання температури, відносної вологості та швидкості руху повітря. Відповідно до [28], ці показники не повинні виходити за межі установлених допустимих значень:

- температура повітря в теплу пору року не більше плюс 28 °С, а в холодну не менше -10°С;
- швидкість вітру 2- 5 м/с;
- відносна вологість не більше 75 %.

Забороняється проведення робіт при опадах у вигляді дощу та снігу, тумані та інеї, зледенінні на опорах і проводах, наближенні грози.

Роботи по монтажу вітряка слід проводити в світлий час доби, значення освітленості на робочому місці монтажника повинно бути не менше 200 лк[30].

Підготовка робочої площадки полягає в розчищенні місця, де розстилають брезент, на який в певному порядку розкладають приладдя і інструмент. Ретельно перевіряють їх цілісність і відсутність дефектів, терміни випробування і придатність ізолювальних засобів. Перевіряють і одягають комплект одягу. Одягають захисні каски і запобіжні пояси.

Монтаж вітрогенератору проводиться відповідно до технологічної карти робіт за відповідною монтажною схемою рис. 5.1, подача всіх приладів і інструментів забезпечується за допомогою ізолювальних канатів.

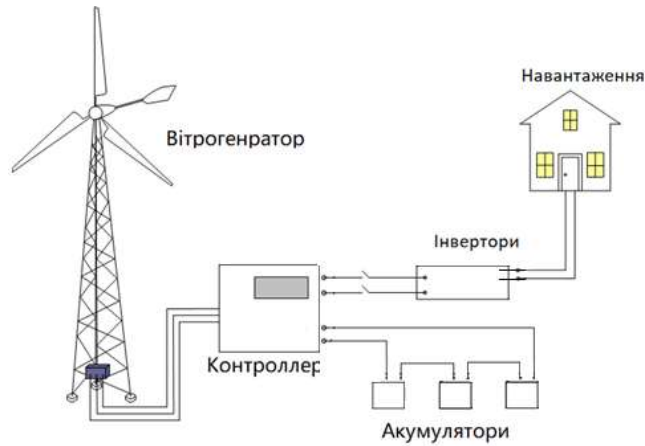


Рисунок 5.1 – Монтажна схема системи вітряка

За безпекою виконання всіх технологічних операцій стежить керівник робіт. В процесі робіт здійснюється постійний нагляд за всіма членами бригади. Керівник робіт не може безпосередньо брати участь в роботах і повинен знаходитися внизу, а виконавець може знаходитися на висоті. При виконанні робіт на висоті необхідно дотримуватися правил охорони праці при роботі на висоті [26]:

- ~ вимкнути усі комутаційні апарати, через які можлива подача напруги на робоче місце;
- ~ зняти напругу з електричних схем керування цими апаратами і заборонити виконання будь-яких робіт у колах електричних схем керування ВЕУ;
- ~ вивісити плакати "Не вмикати. Працюють люди";
- ~ перевірити відсутність напруги на робочому місці;
- ~ за необхідності заземлити робоче місце. Якщо заземлювач переносний, то його треба спочатку приєднати до "землі", потім до знеструмленого обладнання. Вивісити плакат "Заземлено";

- ~ обгородити за необхідності робочі місця або струм-провідні частини, що залишилися під напругою, і вивісити на огороження плакати безпеки;
- ~ - вжити заходів безпеки, що виключають можливість доступу сторонніх осіб у шафу керування, силову шафу.

В процесі установки вітряка для мінімізації ризику травматизму необхідно дотримуватися наступних організаційно-технічних вимог техніки безпеки та виробничої санітарії:

- ~ виконання електромонтажних робіт доручається особам, що пройшли медичний огляд і спеціальне навчання для роботи на електроустановках;
- ~ монтаж вітряка краще проводити в безвітряний день;
- ~ установлювати турбіну необхідно таким чином, щоб ні що не могло би опинитися на шляху її лопаті;
- ~ основні операції установлення генератора повинні проводитися на рівні землі;
- ~ при проведенні робіт на висоті повинні встановлюватися обгороджування і позначатися в установленому порядку межі небезпечних зон;
- ~ при неможливості облаштування обгороджувань монтажні роботи повинні виконуватися із застосуванням запобіжного пояса і страхувального каната;
- ~ електричні з'єднання повинні проводитися за відповідно розробленою схемою.
- ~ в колах, що підключаються до акумулятора, необхідно встановити плавкі запобіжники або автоматичні вимикачі відповідного номіналу;
- ~ протягом встановлення вітряка акумуляторні батареї повинні бути від'єднанні;
- ~ до підключення дротів акумулятора вихідні дроти вітротурбіни повинні бути з'єднані між собою;
- ~ забороняється наближатися до турбіни на небезпечну відстань, коли вона працює;

- ~ не слід поєднувати при контактних електричних з'єднаннях разом різні метали (наприклад, мідь і алюміній);
- ~ всі електричні кабелі електроживлення повинні мати надійну ізоляцію та відповідати технологічним вимогам;
- ~ для захисту людей від ураження електричним струмом повинно бути виконано заземлення.

5.3.2 Розрахунок параметрів заземлюючого пристрою вітрогенератора

Правильне заземлення турбіни має важливе значення для захисту електронних пристроїв, турбіни генератора та персоналу при довгостроковій експлуатації вітряка. Важливо заземлити ті металеві частини електрообладнання, які можуть опинитися під напругою від грозових розрядів, коротких замикань і від статичної електрики. Належне заземлення підвищує також рівень безпеки турбінної системи вітряка, зменшує ризику виникнення пожежі та ризику ураження персоналу електричною енергією.

Для обґрунтування параметрів заземлюючого пристрою, який використовується в схемі заземлення вітряка проведемо розрахунок за загальноприйнятою методикою [25].

При розрахунку будемо використовувати програмне забезпечення Mathcad та данні, що відповідають завданню теми дипломної роботи:

1. Захисту підлягає вітрогенератор.
2. Виконання мережі – з ізолюованою нейтраллю. Напруга мережі – 380/220 В.
3. Тип заземлювального пристрою – вертикальні сталеві труби з розмірами:

$d_B=40$ мм; $L_B=3,0$ м; $a=3,0$ м- відстань між вертикальними заземлювачами;
 $H_0=0,8$ -глибина закладання заземлювачів; $R_{доп}=3$ Ом; $R_{п.з.}=14$ Ом; $B_c=40 \times 4$ мм;

4. Ґрунт – чорнозем; склад – однорідний; вологість – мала. Кліматична зона – III.

Розв’язок

1. Визначаємо R_d – допустиме (нормативне) значення опору розтікання струму в заземлювальному пристрої.

Згідно з ПУЕ, $R_d \leq 4 \text{ Ом}$.

2. Визначаємо розрахунковий питомий опір глини для III– кліматичної зони:

$$\rho_{\text{РОЗР}} = \rho_{\text{ТАБЛ}} K_c$$

$$\rho_{\text{ТАБЛ}} = 100 \text{ Ом М},$$

$$K_c = 1,3,$$

$$\rho_{\text{РОЗР}} = 100 \cdot 1,3 = 130 \text{ Ом М}$$

3. Визначаємо H – відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача (рис. 5.2):

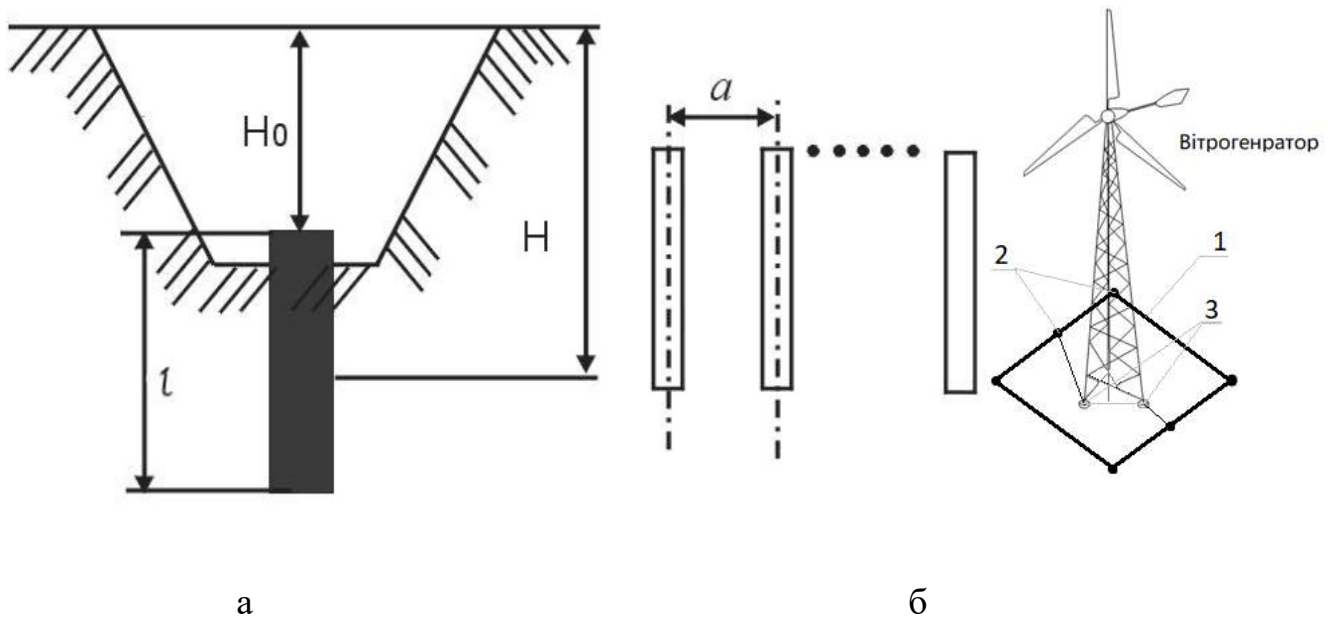


Рисунок 5.2 – а)Схема розміщення заземлювача в ґрунті; б)Схема приєднання заземлення до вітрогенератора: 1-контур заземлення, 2-вертикальні заземлювачі, 3-точки приєднання контуру заземлення до щогли вітрогенератора.

$$H = H_0 + \frac{l_B}{2} = 0,8 + \frac{3}{2} = 2,3\text{м}$$

4. Визначаємо опір розтікання струму в одному вертикальному заземлювачі:

$$R_B = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot L_B} \left(\ln \frac{2 \cdot L_B}{d_{\text{екв}}} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot H + L_B}{4 \cdot H - L_B} \right) = \frac{130}{2 \cdot \pi \cdot 3,0} \left(\ln \frac{2 \cdot 3,0}{0,33} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2,3 + 3,0}{4 \cdot 2,3 - 3,0} \right) = 22,329 \text{ Ом}$$

5. Визначаємо орієнтовну кількість вертикальних заземлювачів при $\eta_B = 1$:

$$\eta_{\text{ор}} = \frac{R_B}{R_{\text{ш}} \cdot \eta_B} = \frac{22,329}{5,6 \cdot 1} = 3,987 \approx 4 \text{ шт}$$

6. Визначаємо коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів η_B заземлювачі розташовані в ряд, $a / l_B = 1$, $n=4$. Приймаємо $\eta_B = 0,66$.

7. Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів з врахуванням коефіцієнта використання:

$$\eta_B = \frac{\eta_{op}}{n} = 4 / 0.66 = 6 \text{ шт}$$

Приймаємо $n=6$ шт.

8. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму у вертикальних заземлювачах при $n_B=6$ без врахування з'єднувальної стрічки:

$$R_{розрB} = \frac{R_B}{n \cdot \eta_B} = \frac{22,329}{6 \cdot 0.66} = 4.87 \text{ Ом}$$

9. Визначаємо довжину з'єднувальної стрічки:

$$L_C = 1.05 \cdot a \cdot n = 1.05 \cdot 3 \cdot 6 = 18.9 \text{ м}$$

10. За формулою для горизонтальних електродів, розташованих в ґрунті, визначаємо опір розтікання струму:

$$R_r = \frac{\rho_{розр}}{2 \cdot \pi \cdot L_C} \ln \frac{2 \cdot \pi \cdot L_C^2}{H_0 \cdot B_C} = \frac{130}{2 \cdot \pi \cdot 18.9} \ln \frac{2 \cdot \pi \cdot 18.9^2}{0.8 \cdot 0.04} = 12,162 \text{ Ом}$$

11. Визначаємо коефіцієнт використання горизонтального заземлювача при $a/l=1$, $n=6$. Приймаємо $\eta_\Gamma=0,4$.

12. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі з врахуванням η_Γ :

$$R_{грроз} = \frac{R_{розрB} \cdot R_{розр\Gamma}}{R_{розрB} + R_{розр\Gamma}} = \frac{4,87 \cdot 30,406}{4,87 + 30,406} = 4,197 \text{ Ом}$$

13. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму заземлювального пристрою:

$$R_{заг} = \frac{R_{п.з.} \cdot R_{розр}}{R_{п.з.} + R_{розр}} = \frac{14 \cdot 4,197}{14 + 4,197} = 3,229 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{заг}} > R_{\text{доп}}$$

Отриманий розрахунковий опір розтікання струму відповідає вимогам ПУЕ, ПТЕ та ПТБ.

14. Вибираємо матеріал та поперечний перетин з'єднувальних провідників і магістральної шини

Приймаємо сталеву шину товщиною $\delta=4$ мм і перетином 100 мм^2 .

Відповідно до проведених розрахунків для системи заземлення вітряка доцільно використовуємо 10 вертикальних сталевих труб довжиною 3м та діаметром 35мм розташованих в ряд і занурених у землю на глибину 0,7 м. Сталеві труби з'єднуються між собою зварюванням сталевую шиною товщиною 4 мм і перетином 100 мм^2 .

5.4 Протипожежний захист вітроелектричних установок

На жаль, поки що в Україні відсутні будь-які нормативні документи щодо протипожежного захисту такого роду об'єктів, які є пожежонебезпечними тому основні рекомендації щодо протипожежний захисту вітроелектричних установок наведено з урахуванням діючого в Німеччині й у деяких країнах Європи стандарті VdS 3523 «Вітроелектричні установки (ВЕУ); Настанови з пожежної безпеки», який було введено у дію в липні 2008 року [25] та діючих нормативів з пожежної безпеки України [24].

Відповідно до типових ризиків, а також основних цілей захисту, у настановах наведені заходи пожежної безпеки у рамках загальної концепції протипожежного захисту, які добре зарекомендували себе для захисту будівель та інших інженерних конструкцій. Для захисту ВЕУ потрібно пристосувати протипожежні заходи, що пристосовані до особливих умов застосування у електроустановках (клас пожеж Е). Використовувати первинні засоби пожежогасіння та засоби автоматичної системи пожежної сигналізації. Організація пожежної сигналізації і пожежогасіння добре зарекомендували себе при захисті об'єктів з підвищеною пожежною небезпекою.

Як показує досвід, будівельні та інженерно-технічні заходи пожежної безпеки можуть надійно виконувати свої функції протягом періоду експлуатації тільки,

якщо були вжиті необхідні заходи для забезпечення якісного проектування, реалізації проекту і при відповідальному експлуатуванні. До таких заходів відносяться:

- Застосування визнаних технічних стандартів, як основу при проектуванні;
- Застосування кваліфікованих професійних проектувальних організацій і кваліфікованих виконавців робіт;
- Застосування матеріалів і систем, які були випробувані і сертифіковані акредитованими органами, як, наприклад, VdS Schadenverhütung GmbH для систем пожежної безпеки, що також включає аудит системи управління якістю;
- Виконання робіт спеціалізованими організаціями, які мають достатні професійні знання і досвід, навчений персонал, необхідне обладнання;
- Приймальні випробування і періодичний технічний нагляд атестованим технічним експертом, наприклад, спеціалістом VdS по системам пожежної безпеки;
- Регулярне обслуговування згідно з інструкціями, яке проводиться спеціалізованими організаціями і навченим персоналом з власного підприємства;
- Контроль за проведенням сервісних робіт (обслуговування, перевірка і підтримка функціонального стану) і документування за допомогою журналу перевірок.

Такі заходи можуть проводитися також в рамках типових випробувань або сертифікації ВЕУ.

Для нових турбін потрібно короткочасний період обкатки (60-100 годин експлуатації) при нормальній швидкості вітру (приблизно 6-9 м / с), і лише після цього можливо досягнуть пікової ефективності. Під час обкатки дроти від вітряка повинні бути ізольовані друг від друга.

Проведений аналіз літератури та нормативної документації з охорони праці та виконані розрахунки дозволили:

~ провести аналіз умов праці при виконанні робіт пов'язаних з монтажем вітряків, які працюють в складі електроенергетичної системи України ;

- ~ розробити організаційно-технічні рішення з охорони праці при електричному монтажі вітрогенератора;
- ~ запропонувати параметри заземлюючого пристрою для конкретних умов експлуатації вітрогенератора;
- ~ описати основні заходи протипожежного захисту вітроелектричних установок.

Урахування та виконання запропонованих заходів з охорони праці дозволяє мінімізувати ризик травматизму та професійного захворювання при виконанні робіт при експлуатації та електричному монтажі вітряка.

5.5 Дослідження стійкості роботи ВЕУ в умовах дії іонізуючих випромінювань

Дія іонізуючих випромінювань на матеріали та вироби можливо розділити на імпульсна (протікає дуже короткий час) і безперервна (тривалий час).

Між впливом імпульсної радіації, що виникає в результаті ядерного вибуху, і безперервної радіації, що діє на об'єктах з ядерними енергетичними установками і космічні об'єкти, існує велика різниця.

Вплив безперервної проникаючої радіації призводить до поступової необоротної зміни електричних параметрів виробів електронної техніки, що викликається в основному зсувами атомів, тобто порушеннями в структурі матеріалу, а також незначною зміною хімічного складу (активацією).

Імпульсна радіація, яка діє короткий час ($10^{-7} - 10^{-3}$ с.) разом з незворотнім зміною електричних параметрів виробів електронної техніки аналогічно впливу безперервної проникаючої радіації, створює дуже велику щільність іонізації як в самих опромінювальних виробах, так і навколо виробів (іонізація повітря). Це, як правило, призводить до оборотної зміни електричних параметрів виробів. Тому в умовах впливу іонізуючого випромінювання здійснюватиме незворотні зміни електричних параметрів матеріалів і виробів електронної техніки вивчаються в залежності від інтегрального потоку частинок або дози опромінення, а зворотні - в залежності від щільності потоку або потужності дози.

В даний час встановлено, що фундаментальні параметри реальних кристалів (електро- і теплопровідність, механічні, оптичні і магнітні властивості, коефіцієнти дифузії та ін.) Пов'язані з точковими дефектами. Отже, ці дефекти (і їх вторинні освіти) будуть визначати комплекс електричних параметрів тих елементів електронної техніки, основою яких є кристалічна структура.

В результаті впливу ядерних випромінювань у всіх твердих тілах незалежно від типу структури можуть відбуватися зміщення атомів з утворенням вакантних вузлів і впроваджених атомів. У міру накопичення цих дефектів, коли їх кількість стає порівнянним з вихідним кількістю, властивим цьому матеріалу або виробу, електрофізичні властивості починають істотно «обов'язковими».

Розроблена ВЕС може підлягати впливу надзвичайних ситуацій техногенного, природного, військового походження, яких в країні може виникнути багато. Вони наносять непоправну шкоду об'єктам енергетичного господарства. Серед надзвичайних ситуацій можна виділити найбільш небезпечні: наявність у довіллі шкідливих речовин понад ГДК, аварії із загрозою викиду ХНР і біологічних небезпечних засобів, радіоактивне забруднення, вплив ЕМІ.

Головну небезпеку для ВЕС становить землетрус, буревій, ударна хвиля, вторинні вражаючі фактори і радіоактивне зараження місцевості. Проте іноді доводиться враховувати і

Приймачами ЕМІ є предмети, що проводять електричний струм: лінії електропередач, конденсаторні батареї, кабельні лінії, системи релейного захисту. Апаратура, яка не оснащена спеціальним захистом може бути пошкоджена внаслідок ЕМІ.

Внаслідок проходження гамма – випромінювання через елементи електронної апаратури, через переміщення вільних зарядів може виникнути імпульс який може призвести до помилкового спрацювання обладнання. Також одним із наслідків такого опромінення є підвищення провідності матеріалів, збільшення протікання струму та зменшення опору, в газорозрядних приладах зменшується напруга запалення. Таким чином ВЕС можуть раптово втратити працездатність при певних рівнях радіації. Визначимо найнебезпечніші фактори.

Існує актуальна проблема розрахунку і підвищення стійкості електричних станцій. Для цього на об'єкті завчасно, керуючись розрахунками, планують і проводять відповідні організаційні та інженерно – технічні заходи. Сучасний рівень науки та техніки дозволяють реалізувати такі рішення, що забезпечать стійкість підприємства.

5.5.1 Оцінка стійкості роботи електричної частини ВЕС в умовах дії іонізуючих випромінювань

Визначаємо експозиційні дози при яких в елементах РЕА можуть виникнути незворотні зміни. Дані заносимо в таблицю 5.1

Таблиця 5.1 - Експозиційні дози

№	Підсистеми	Елементи електричної частини АЕС	$D_{грн i}, (P)$	$D_{гр}, (P)$
1	Система живлення	Дросель ФРОС-1000/0,5УЗ	10^7	10^3
		Контролер SP 0,5 LED	10^3	
		Діод Д 123-250-20	10^5	
		Діод MG 150M2YK1	10^5	
		Перетворювач струму MC44603P	10^3	
		Інвертор UKC SSK	10^4	
2	Система керування	Пускач ПМЛ-1210	10^6	
		Тумблер ASW-29D	10^7	
		Транзистори SS8050 TO92 NPN	10^4	
		Конденсатор K73-16-8,2 мкФ 250В	10^6	
		Резистори CR-2W-130, 0,25W-36	10^4	
3	Мікропроцесорна система	Мікросхема ПІ регулятор струму ВТА41-800b	10^5	
		Блок обмеження струму К342ЕН8Б	10^6	
		Тахогенератор ТД-102	10^5	

Самий уразливий елемент РЕА – фотодіоди блоку управління релейного захисту і автоматики, $D_{гр} = 10^3 P$.

Визначаємо можливу дозу опромінення:

$$D_M = \frac{2P_1(\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{\text{посл}}}, \quad (5.1)$$

Де $K_{\text{посл}}$ – коефіцієнт послаблення, 1

T_n – час початку опромінення, 1 год

T_k – максимальна тривалість роботи, 20 років

P_1 – рівень радіації на 1 год після аварії

$$D_M = \frac{2 \cdot 4,97(\sqrt{175200} - \sqrt{1})}{1} = 4150(P).$$

Визначаємо допустимий час роботи РЕА:

$$t_{\text{доп}} = \left(\frac{D_{\text{зр}} \cdot K_{\text{посл}} + 2 \cdot P_1 \sqrt{t_n}}{2P_1} \right)^2, \quad (5.2)$$

$$t_{\text{доп}} = \left(\frac{10^3 \cdot 1 + 2 \cdot 4,97 \sqrt{1}}{2 \cdot 4,97} \right)^2 = 10323(\text{год}).$$

Порівняємо отримані дані:

$$D_{\text{гр}} = 10^3 < D_M = 4150.$$

Отже, так як $D_{\text{гр}} = 10^3 < D_M = 4150$, то для забезпечення стійкості роботи $K_{\text{посл}}$ потрібно збільшити в ** рази. Робота РЕА буде стійкою протягом 10323 годин.

5.5.2 Оцінка стійкості електричної частини ВЕС 12 МВт в умовах дії ЕМІ

При здійсненні оцінювання впливу ЕМІ на струмопровідні елементи необхідно врахувати, що ЕМІ мають горизонтальну та вертикальну складові напруженості електричного поля і тому повинні визначатися значеннями напруги на вертикальних та горизонтальних ділянках лінії. Для оцінки безпеки роботи в умовах дії електромагнітних випромінювань, необхідно визначити значення вертикальної складової напруженості електромагнітного поля, при коефіцієнті безпеки $K_6 = 40$ дБ.

На об'єкті ВЕС розподіляються на різні блоки:

1. Система живлення

2. Система керування

3. Мікропроцесорна система

На кожній ділянці визначаємо максимальну довжину вертикальної та горизонтальної струмопровідної частини: $L_{B1}=5$ м, $L_{B2}=4,5$ м, $L_{B3}=5,2$ м, $L_{Г1}=4,7$ м, $L_{Г2}=4,3$ м, $L_{Г3}=5,1$ м.

Напругу наводки вертикальної струмопровідної частини визначаємо за формулою:

$$K_{\sigma(\theta, z)} = 20 \lg \frac{U_{\text{дон}}}{U_{(\theta, z)}} \geq 40(\text{дБ}). \quad (5.3)$$

Після математичних перетворень, отримаємо наступні значення:

$$\begin{aligned} U_{\theta} &= E_z \cdot l_{\theta}, U_z = E_{\theta} \cdot l_z. \\ E_z &= E_{\theta} \cdot 10^{-3} (\text{кВ} / \text{м}). \end{aligned} \quad (5.4)$$

Визначаємо допустимі коливання напруги живлення:

При $U_{\text{дон1}} = 12(\text{В})$, $U_{\text{дон1}} = 12,6(\text{В})$;

При $U_{\text{дон2}} = 380(\text{В})$, $U_{\text{дон2}} = 399(\text{В})$;

При $U_{\text{дон3}} = 127(\text{В})$, $U_{\text{дон3}} = 132(\text{В})$.

Результати розрахунку заносимо в таблицю 5.2

Таблиця 5.2 - Результати розрахунків

№	Елемент системи	$L_B(\text{м})$	$L_G(\text{м})$	$U_B(\text{В})$	$U_G(\text{В})$	$K_{\sigma(B)}(\text{дБ})$	$K_{\sigma(G)}(\text{дБ})$
1	Система живлення	5	4,7	59,4	55836	-13,892	-72,931
2	Система керування	4,5	4,3	53,46	51084	17,035	-42,146
3	Мікропроцесорна система	5,2	5,1	61,776	60588	6,26	-53,236

Аналізуючи таблицю 5.2 можна зробити висновок про необхідність екранування.

5.5.3 розробка заходів по підвищенню стійкості роботи електричної частини ВЕС у надзвичайних ситуаціях

Для забезпечення якомога швидшого відновлення виробництва на випадок виходу з ладу основних джерел енергоживлення повинен бути створений резерв джерел енерго- і водопостачання (переносні електростанції та насосні агрегати з автономними двигунами).

Стійкість систем електропостачання об'єкта підвищують, підключаючи його до декількох джерел живлення, віддалених одне від одного на відстань, що виключає можливість їх одночасного пошкодження одним ядерним вибухом.

Для забезпечення надійного управління діяльністю об'єкта у надзвичайних ситуаціях мирного та воєнного часу в одному із сховищ обладнується пункт управління. Диспетчерські пункти і радіовузли розміщують по можливості у найміцніших спорудах і підвальних приміщеннях. Повітряні лінії зв'язку до найважливіших виробничих ділянок переводять на підземно – кабельні. Стійкість засобів зв'язку можна підвищити прокладанням енергопостачальних фідерів на автоматичну телефонну станцію (АТС) та радіовузлу об'єкта, підготовкою пересувних електростанцій для заряджання акумуляторів АТМ і для живлення радіовузла при відключенні основних джерел електропостачання. При розширенні мережі підземних кабельних ліній необхідно прокладати дводотові, захищені екранами від впливу ЕМІ.

Для цього проведемо розрахунок товщини стінки екрану, для цього визначимо перехідне затухання в екрані. Вибираємо стальний екран $K_e = 5,2$.

Система живлення:

$$t_1 = \frac{A_e}{K_e \cdot \sqrt{f}}. \quad (5.5)$$

$$t_1 = \frac{-72,931 - 40}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,177(см).$$

Система керування:

$$t_1 = \frac{-42,146 - 40}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,129(см).$$

Мікропроцесорна система:

$$t_1 = \frac{-53,236 - 40}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,146(\text{см}).$$

Таким чином при екрануванні системи живлення з використанням екрану товщиною 177 см із сталі, система автоматики буде стійкою в умовах дії ЕМІ. При екрануванні схем релейного захисту з використанням екрану товщиною 0,129 см із сталі, схеми постійного струму будуть стійкими в умовах ЕМІ. Для схем постійного струму потрібен екран товщиною 0,146 см.

Для підвищення стійкості роботи об'єкту в умовах дії іонізуючого випромінювання необхідно провести наступні заходи: підвищити герметичність цеху, за рахунок забезпечення щільності дверних та віконних щілин, підготувати предмети для закриття вікон у випадку руйнування скла. Необхідно забезпечити наявність на заводі відповідних ЗІЗ для захисту робітників, а також відповідних медикаментів (йоду).

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі було розглянуто такі питання:

1. Загальна характеристик вітроенергетичних установок. Будова ВЕУ подібна до будови гідроустановки. Основними частинами установки є ротор, генератор, турбіна, обладнана вітроколесом, яке безпосередньо приймає на себе енергію вітру. У більшості конструкцій ВЕУ ротор, турбіна, генератор розташовані на одному валу і мають горизонтальну орієнтацію. Вітрові турбіни, як правило, обладнані трилопатеви́ми пропелерами, що орієнтуються проти вітру.

Останнім часом зусилля розробників ВЕУ пов'язані зі створенням систем, що зможуть функціонувати при незначних швидкостях вітру. Також важливим для виробництва є зменшення вартості опор, на яких вони розташовуються. Багато вітроенергетичних об'єктів складаються з великих груп вітряків які називаються вітроенергетичними станціями (ВЕС).

2. Проблеми підвищення ефективності малої вітроенергетики. Згідно науковим прогнозам відносно світових запасів твердого, рідкого та газового вуглецевого палива, які були опубліковані в матеріалах XIII всесвітньої енергетичної конференції ці запаси складають: по кам'яному вугіллю – 430 років, нафті – 35 років, природному газу – 50 років, якщо споживання цих видів палива буде продовжуватись з тією ж інтенсивністю.

Використання такої енергії дозволяє замінити 1000 сучасних ТЕС потужністю 1 МВт, кожна з яких виробляє біля $1 \cdot 10^4$ МВт електроенергії за рік, тобто майже в 1000 разів менше енергії, ніж дарує нам природа. Сьогодні людство споживає таку велику кількість енергії, що це має значний вплив на екологію землі і вже призвело до низки екологічних катастроф (спустелювання, ерозія ґрунтів, скорочення біологічного розмаїття, "озонові дири", надмірний парниковий ефект через підвищення концентрації CO_2 в атмосфері, отруєння водних басейнів).

Сучасна енергетика – це переважно промислові підприємства. В усьому світі вони щорічно викидають на землю близько мільярда тонн відходів. Одним із шляхів зменшення кількості викидів є більш ефективне використання енергії відновлювальними джерелами енергії оскільки Україна має значні природні

ресурси та унікальне для Європи навколишнє середовище, але водночас є однією з найбільш екологічно забруднених країн регіону.

Очевидно, головна причина у вітроенергетиці криється в концепції виробництва та впровадження вітроприймальних пристроїв та вітроелектроустановок орієнтований тільки на вітроустановки змінного струму та віддача цієї електроенергії – тільки в енергетичні системи традиційної енергетики.

Збільшити ефективність функціонування вітроелектроенергетичних установок в існуючих умовах можливо тільки з переходом до альтернативної концепції виробництва та впровадження вітроприймальних пристроїв, які орієнтовані на вітроустановки з вертикальним валом, на генерування вітроелектроенергії постійного струму, на накопичення цієї електроенергії у вигляді електричних та хімічних енергоносіїв.

3. Економічна ефективність ВЕС. Використання відновлюваних джерел енергії потребує відмови від звичайної локальної оптимізації технічних засобів, які застосовуються у системах перетворення енергії, і визнання єдиним критерієм загальної народногосподарської ефективності одержаної енергії.

При використанні наземних ВЕС виявляється, що мінімальну собівартість енергії забезпечують зовсім не ті ВУ, які мають максимальне ККД, а ті, які дешевше у виготовленні, простіші і надійніші в експлуатації. При однакових будівельних та експлуатаційних якостях перевага знову-таки віддається не агрегату з максимальним ККД, а агрегату з максимальним середньорічним виробітком на одиницю маси або вартості виробу. Одною із значних переваг ВЕС перед ТЕС, АЕС і ГЕС є те, що капітальні вкладення практично не заморожуються і ВЕУ може виробляти електроенергію через тиждень після її доставки на будівельний майданчик.

Собівартість електричної енергії являється найважливішим економічним показником роботи ВЕС і являє собою сукупність всіх затрат на виробництво енергії в грошовому вираженні. Собівартість одиниці виробленої енергії визначають як відношення сумарних затрат виробництва (експлуатаційних витрат) до кількості відпущеної енергії. Та даної проектованої вітроустановки рівна 19,97 (коп./кВт год).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лежнюк П. Д., Лагутін В. М., Тептя В. В. Проектування електричної частини електричних станцій: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2009. 194 с.
2. Проектування електричної частини електричних станцій та підстанцій: Ч. 1 [Електронний ресурс] : навчальний посібник / НТУУ «КПІ» ; уклад. Є. І. Бардик, П. Л. Денисюк, Ю. В. Безбереж'єв. – Електронні текстові дані (1 файл: 4,75 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2011.
3. Проектування електричної частини електричних станцій та підстанцій. Ч. 2 [Електронний ресурс] : навчальний посібник / НТУУ «КПІ» ; уклад. Є. І. Бардик, П. Л. Денисюк, Ю. В. Безбереж'єв. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,13 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2012.
4. Електрична частина станцій та підстанцій: курс лекцій [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»/уклад.: О.В. Остапчук, П.Л. Денисюк, Ю.П. Матеєнко/КПІ ім. Ігоря Сікорського, – Електронні текстові дані (1 файл: 4,62 Мбайт). Київ: КПІ ім Ігоря Сікорського, 2022. 183 с.
5. Електрична частина станцій та підстанцій аеропортів : підручник / В. Д. Козлов, В. П. Захарченко, О. М. Тачиніна; за заг. ред. В. Д. Козлова. К. : НАУ, 2018. 312 с.
6. Гаряжа В. М. Конспект лекцій з курсу «Електрична частина станцій та підстанцій» (частина 1) (для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / В. М. Гаряжа, А. О. Карюк; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 149 с.
7. Бардик Є.І., Лукаш Н.П. Електрична частина електростанцій і підстанцій: навчальний посібник. К. НТУУ «КПІ» 2011р. 220с.
8. Експлуатація електрообладнання потужних блоків електростанцій у різних режимах роботи. – В.С. Король, В.М. Лагутін, Київ НМК ВО 1992 р.

9. Методичні вказівки по визначенню основних техніко-економічних показників роботи електричних станцій. О.Я.Попов, Л.О.Попова
10. Dorn J.E. Creep and fracture of metas at high temperature. – London: H.M.S.O. – 1956. – 89.
11. Грабар І.Г. Основи надійності машин. – Київ, 1999. – 298 с.
12. Оніпко О.Ф., Коробко Б.П. Мала вітроенергетика, УАННЦ. – Київ, 2001.
13. http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE33299.html - електронний доступ
14. Методичні рекомендації до розділу «Охорона праці» в дипломних роботах (для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Укл. – Бондаренко Є.А. – Вінниця
15. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/z0573-07> - електронний доступ
16. <http://docs.cntd.ru/document/5200224> - електронний доступ
17. наказ Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 01 жовтня 2007 року N 231 "Про затвердження Змін до Правил будови і безпечної експлуатації деяких об'єктів"- електронний доступ
18. СОУ-Н МПП 27.180-083:2007 "Вітроенергетика. Установки електричні вітряні. Основні положення щодо складання і монтажу"
19. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво «Форт», 2017. - 760 с
20. ДБН В.1.1.7–2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.

Додаток Б

Технічне завдання МКР

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕССд.т.н., професор Комар В. О.

(наук. ст., вч. зв., ініц. та прізви.)

(підпис)

"_____" "_____" 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

Порівняльний аналіз конструкцій вітрових енергетичних установок

Науковий керівник: д.т.н., проф. каф. ЕСС

Комар В. О.

(підпис)

Магістр групи 1ЕСМ-23м

Коваленко Є. О.

(підпис)

Вінниця 2024 р.

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

- а) актуальність досліджень обумовлена тим, що останнім часом проглядається чітка тенденція до зростання вартості органічного палива, через обмеженість його запасів на планеті, погіршення екологічного стану в Україні та за її межами. Виникла необхідність в проектуванні енергетичних установок, які перетворюють відновлювані джерела, особливо вітроустановок, які б дозволили жити малопотужних споживачів.
- б) наказ ректора ВНТУ № 310 від 17 вересня 2024 р. про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

2. Мета і призначення МКР

- а) мета – аналіз доцільності використання вітроенергетичних установок в умовах Центральної України.;
- б) призначення розробки – аналіз вітрової установки в Центральному регіоні України, зокрема на Вінниччині.

3. Джерела розробки

Список використаних джерел розробки:

1. ГКД 34.20.507-2003 "Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила" (ПТЕ).
2. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ).
3. СОУ-Н.ЕЕ 40.1-00100227-101:2014 "Норми технологічного проектування енергетичних систем та електричних мереж 35 кВ та вище" (НТП ЕС).
4. СОУ-4Н ЕЕ 40.1-00100227-103:2014 "Виконання схем перспективного розвитку ОЕС України, окремих енерговузлів та енергорайонів. Правила".с.

4. Технічні вимоги до виконання МКР

Аналіз вітроенергетичних установок для використання в умовах Центральної України.

- елементна база: Електротехнічне обладнання, що має бути встановлено на підстанціях, українського та зарубіжного виробництва (“Південномаш”, “РЗВА”, “АВВ”, “Siemens” та ін.);
- показники технологічності: розвиток електричної мережі, монтаж та експлуатація електрообладнання мають виконуватися згідно вимог ПУЕ та ПТЕ.
- технічне обслуговування і ремонт: експлуатація, технічне обслуговування та ремонт обладнання буде здійснювати оперативний та ремонтний персонал обласної енергопостачальної компанії, а також бригади електромонтерів у відповідності з вимогами ПТЕ, ПТБ і технологічних карт.
- умови експлуатації об’єкта, що проектується: район по ожеледі – 3, нормативна стінка ожеледі – 15 мм, район по вітру – 3, середньорічна температура +6°C, максимальна температура +32°C, ступінь забрудненості – 2.

5. Економічні показники

Визначити основні техніко-економічні показники розвитку електричної мережі і на основі їх аналізу зробити висновок щодо доцільності реалізації розробленого проекту.

6. Етапи МКР та очікувані результати

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Розроблення технічного завдання	14.09.24	28.09.24	формування технічного завдання
2	Загальна характеристика вітроенергетичних установок	29.09.24	07.10.24	аналітичний огляд літературних джерел, задачі досліджень, розділ ПЗ
3	Проблеми підвищення ефективності “малої” вітроелектроенергетики	08.10.24	24.10.24	розділ ПЗ
4	Заходи забезпечення надійної та безпечної експлуатації електроустановок	25.10.24	01.11.24	розділ ПЗ
5	Економічна ефективність ВЕС	02.11.24	07.12.24	розділ ПЗ
6	Оформлення пояснювальної записки	08.11.24	12.11.24	пояснювальна записка
7	Виконання графічної частини та оформлення презентації	12.11.24	28.11.24	плакати, презентація

7. Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР, ілюстративні матеріали, відгук наукового керівника, відгук рецензента, протоколи складання державних іспитів, анотації до МКР українською та іноземною мовами.

8. Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, затвердженою наказом ректора.

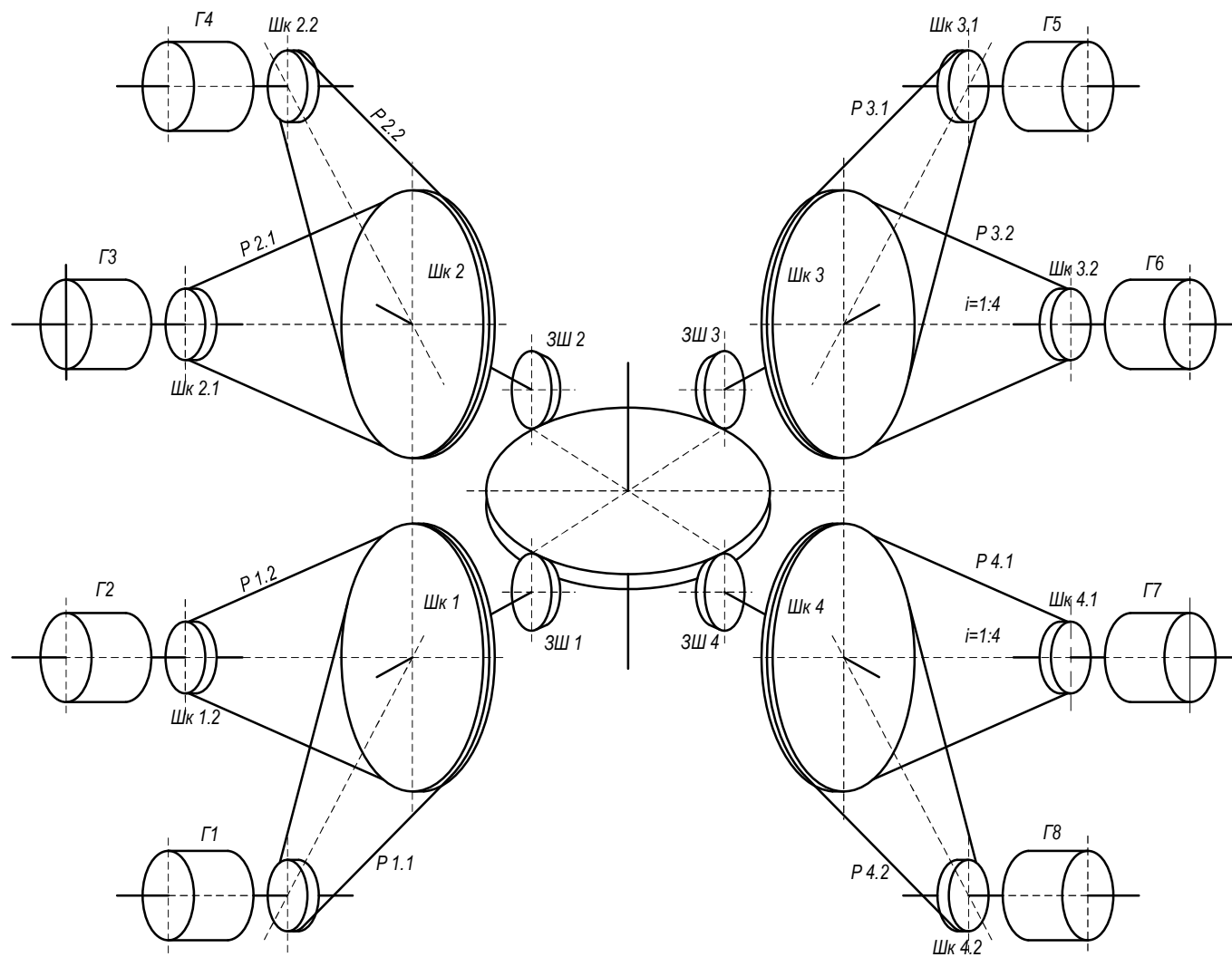
9. Вимоги до оформлення МКР

Вимоги викладені в «Положенні про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти. СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:2, 2021 р.

10. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом

Відсутні.

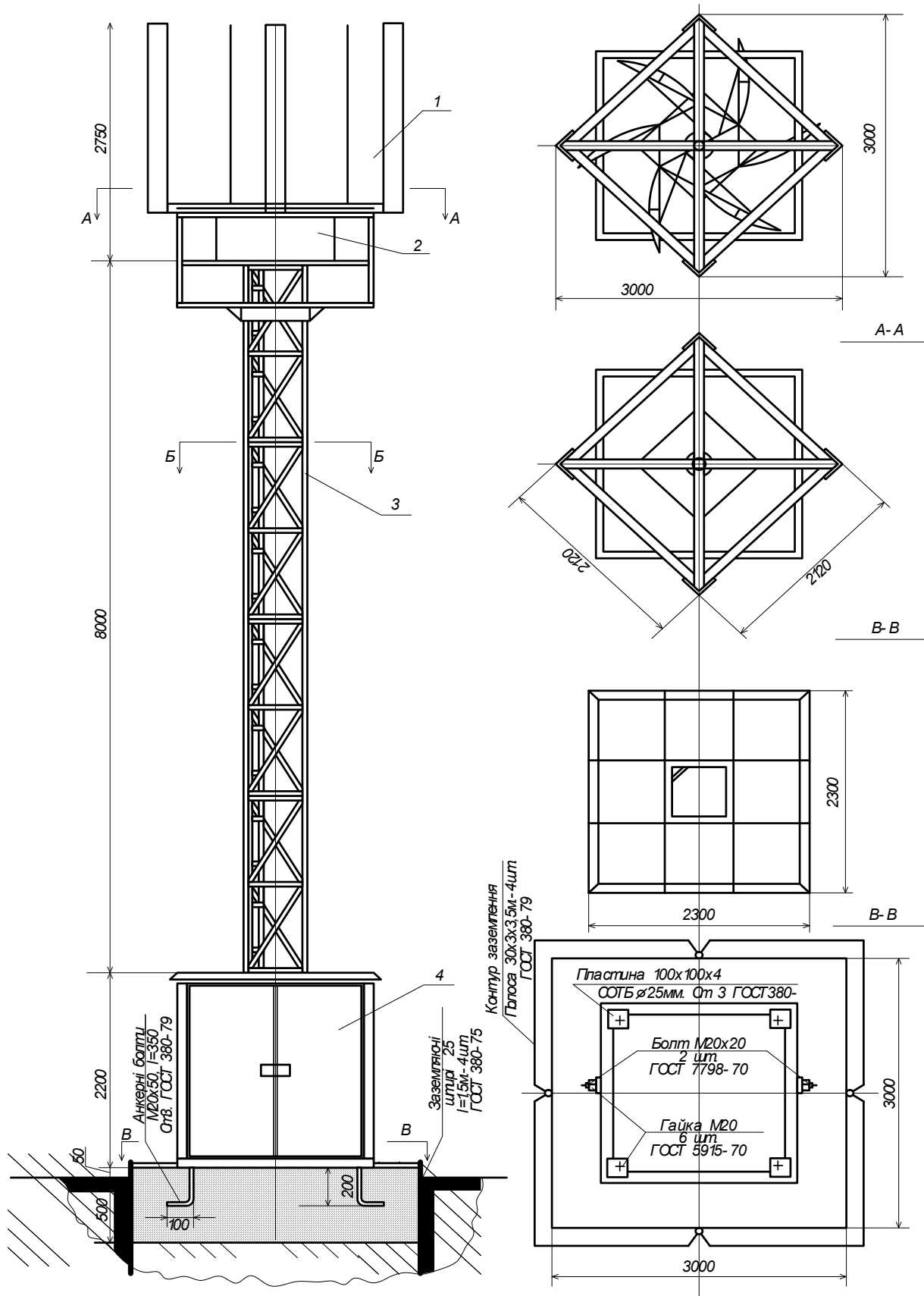
Додаток В



Редуктор блоку генераторів.
(Кінематична схема)

Додаток Г

Вітроелектроустановка ВЕУА – ВМ – „Надія-1”. Загальний вигляд



Додаток Д

Державні стандарти України з вітроенергетики

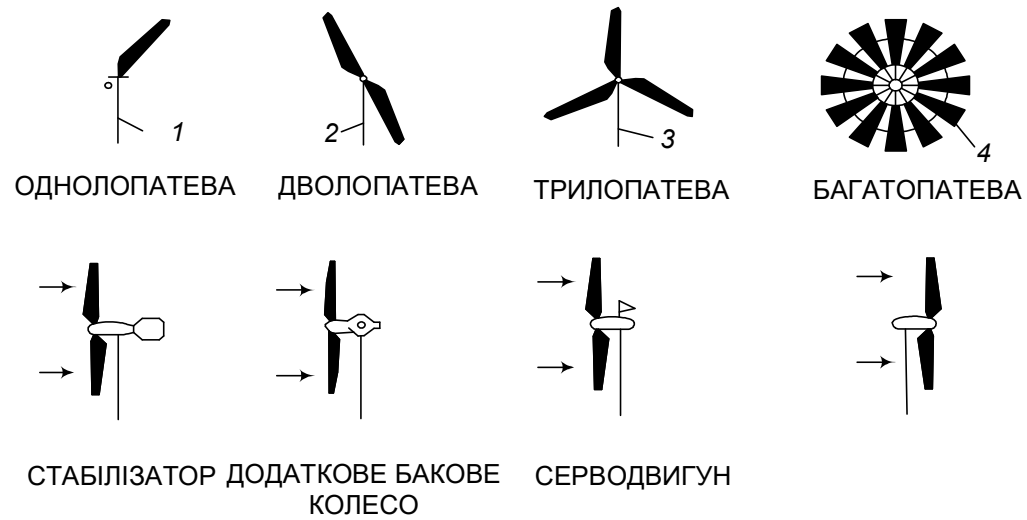
1	ДСТУ ІЕС WT 01:2007	Системи ІЕС перевіряння відповідності та сертифікації вітряних турбін. Правила і процедури (ІЕС WT 01:2001, IDT)	
2	ДСТУ 2275-93	Енергозбереження. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії. Терміни та визначення	
3	ДСТУ 3569-97 (ГОСТ 30514-97)	Енергозбереження. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії. Основні положення	
4	ДСТУ 3896-99	Вітроенергетика. Вітроенергетичні установки та вітроелектричні станції. Терміни та визначення	
5	ДСТУ 3896:2007	Вітроенергетика. Вітроенергетичні установки та вітроелектричні станції. Терміни та визначення понять	
6	ДСТУ 4037-2001	Вітроенергетика. Установки електричні вітряні. Загальні технічні вимоги	
7	ДСТУ 4051-2001	Вітроенергетика. Станції електричні вітряні. Загальні технічні вимоги	
8	ДСТУ 4225:2003	Вітроенергетика. Установки електричні вітряні. Методи випробування	
9	ДСТУ 4407:2005	Вітроенергетика. Установки вітронасосні. Загальні технічні вимоги	

Продовження таблиці

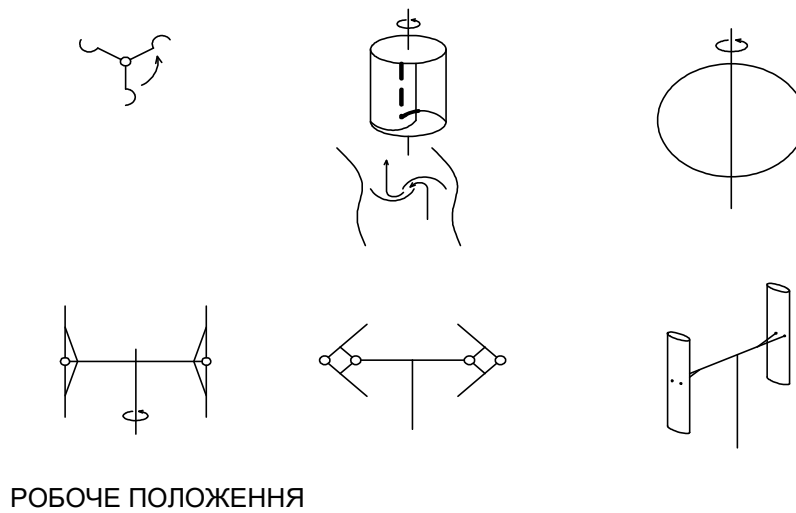
10	ДСТУ 4859:2007	Вітроенергетика. Установки електричні вітряні малої потужності. Загальні технічні вимоги	
11	ДСТУ 7337:2013	Вітроенергетика. Установки електричні вітряні. Параметричний ряд	
12	ДСТУ 7338:2013	Вітроенергетика. Установки електричні вітряні малої потужності. Методи випробування	
13	ДСТУ ІЕС 61400-1-2001	Системи турбогенераторні вітряні. Частина 1. Вимоги безпеки (ІЕС 61400-1:1999, IDT)	
14	ДСТУ ІЕС 61400-2-2001	Системи турбогенераторні вітрові. Частина 2. Безпечність малих вітрових турбін (ІЕС61400-2:1996, IDT)	
15	ДСТУ ІЕС 61400-11:2002	Системи турбогенераторні вітряні. Частина 11. Методика вимірювання акустичного шуму (ІЕС 61400- 11:1997, IDT)	
16	ДСТУ ІЕС 61400-11:2010	Системи турбогенераторні вітряні. Частина 11. Методика вимірювання акустичного шуму (ІЕС 61400- 11:2006, IDT)	
17	ДСТУ ІЕС 61400-12-2001	Системи турбогенераторні вітряні. Частина 12. Випробування вітряних турбін для визначення енергетичних	

		характеристик (ІЕС 61400-12:1998, IDT)	
18	ДСТУ ІЕС/TS 61400-13-2003	Системи турбогенераторні вітряні. Частина 13.Вимірювання механічних навантаж (ІЕС TS 61400-13:2001, IDT)	

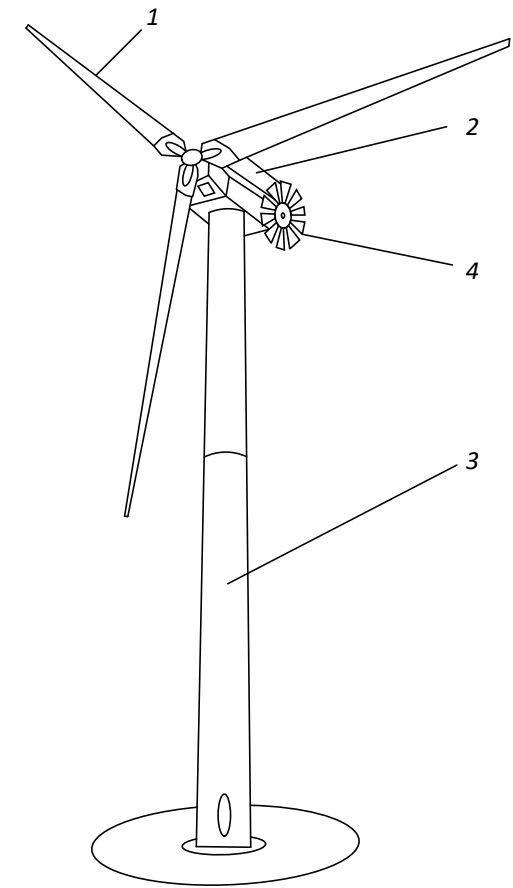
Додаток Ж
Графічна частина



а) ГОРИЗОНТАЛЬНО – ОСЬОВІ (КОАКСІАЛЬНІ) ВІТРОКОЛЕСА

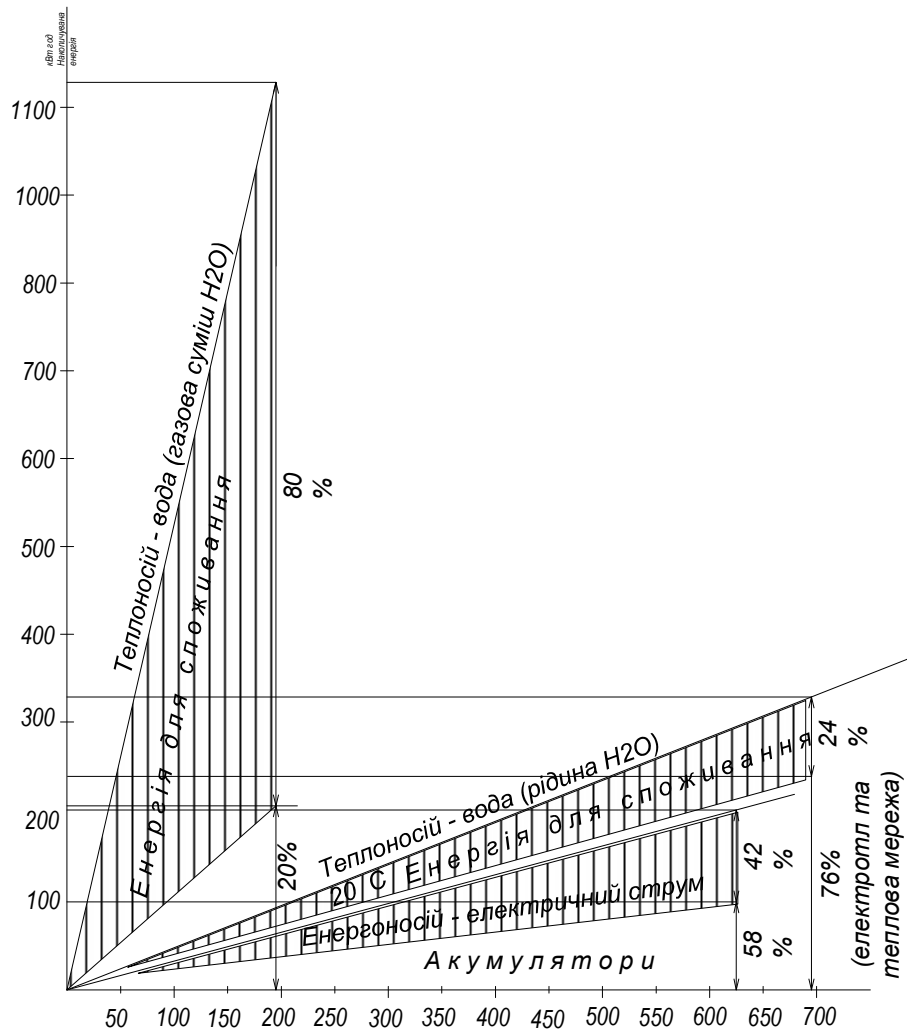
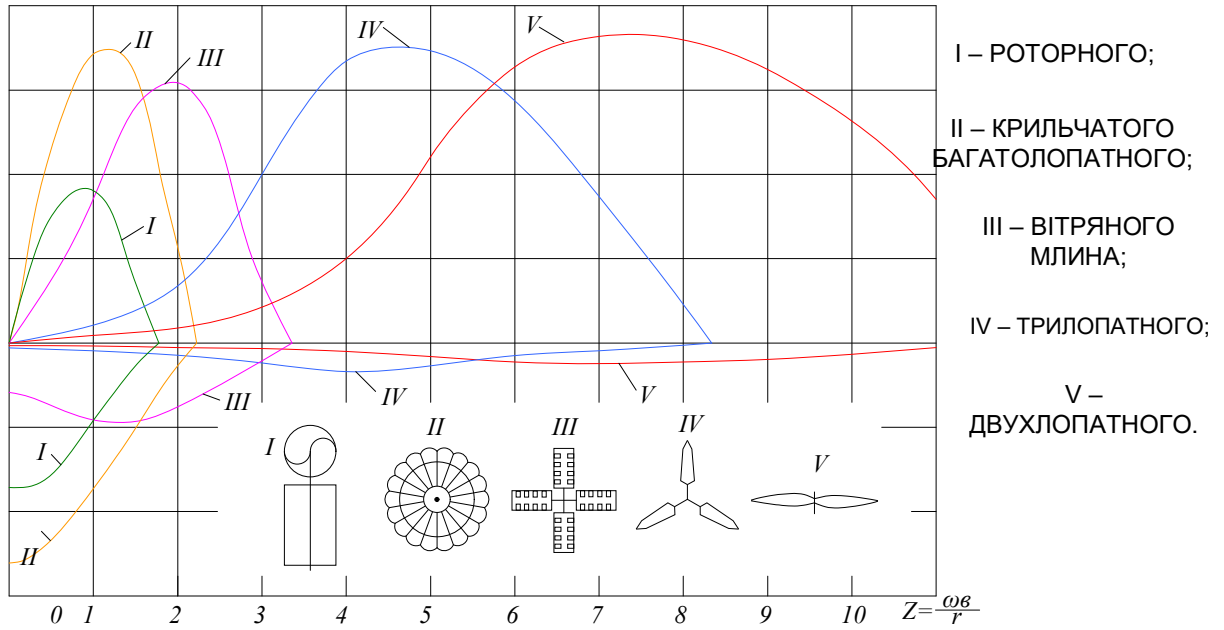


б) ВЕРТИКАЛЬНО – ОСЬОВІ (ОРТОГОНАЛЬНІ) ВІТРОКОЛЕСА



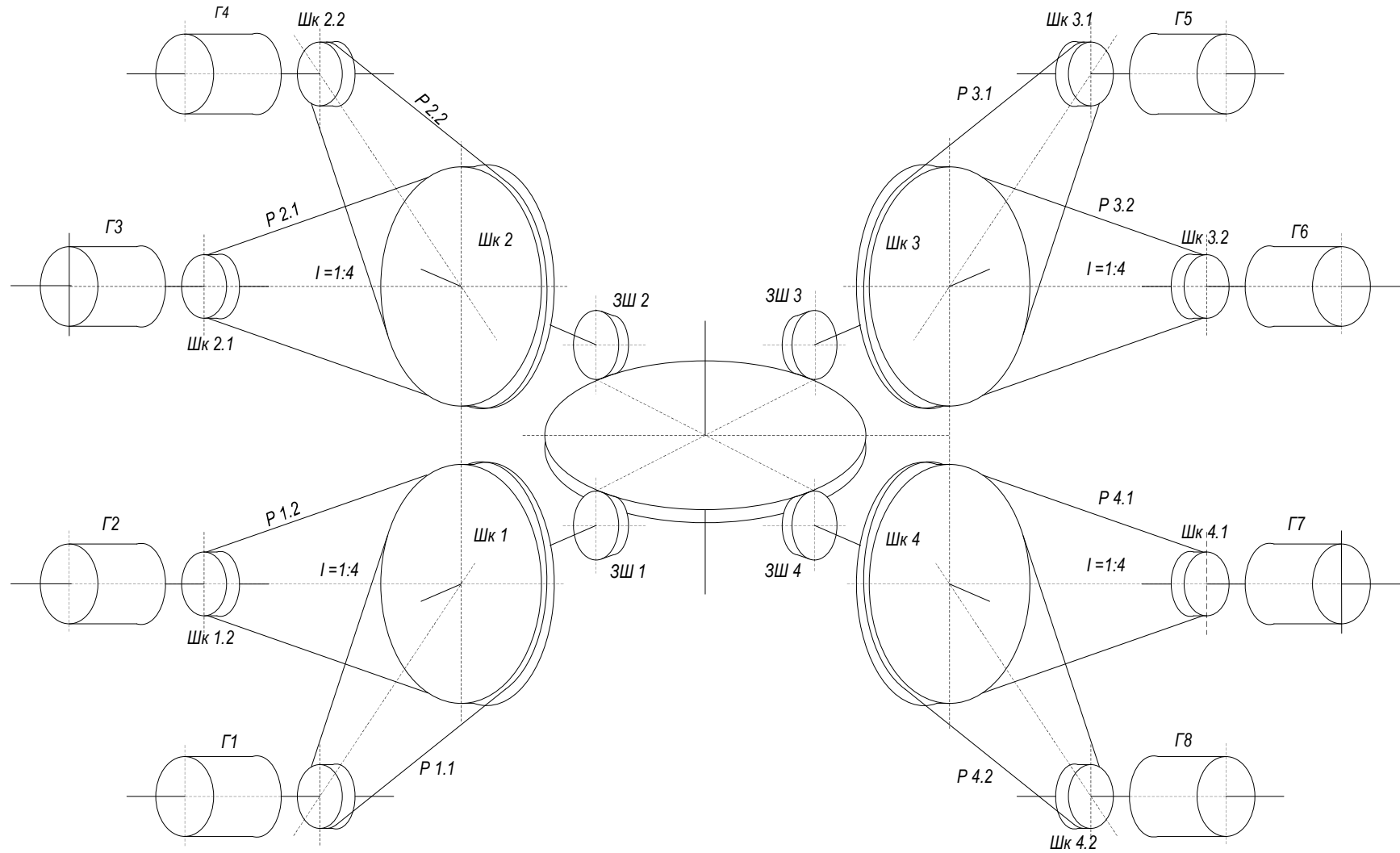
- 1 – ЛОПАТЬ;
- 2 – ГОЛІВКА;
- 3 – ВЕЖА;
- 4 – ВІНДРОЗА.

АЕРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВІТРОКОЛЕС



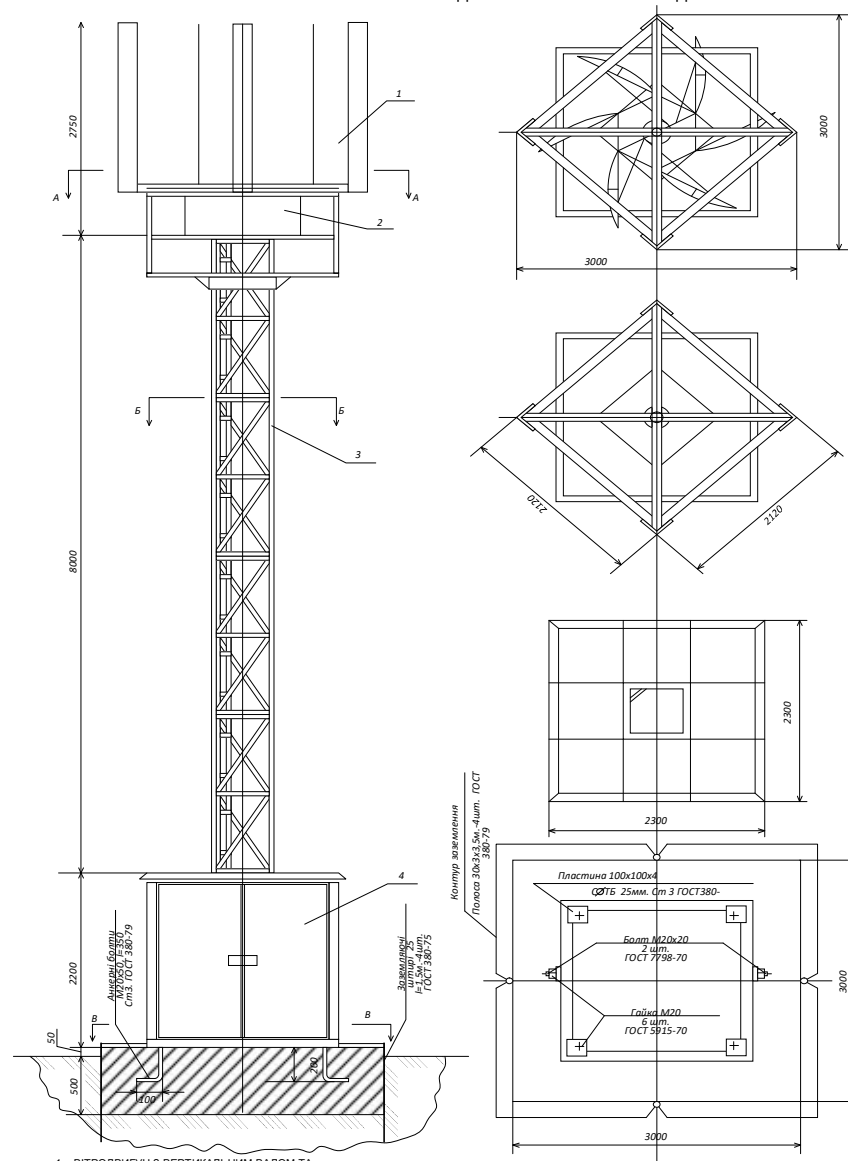
Діаграми варіантів накопичення енергії вітру використанням різних носіїв енергії

Редуктор блоку генераторів. (Кінематична схема)



Р – РЕДУКТОР; Г 1 : Г 2 – ГЕНЕРАТОРИ; ЗК – ЗУБЧАТЕ КОЛЕСО; ЗШ – ЗУБЧАТІ ШЕСТЕРНІ; ШК – ШКІВИ КЛИНОРЕМІСНОЇ ПЕРЕДАЧІ.

ВІТРОЕЛЕКТРОУСТАНОВКА "НАДІЯ - 1". ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД.



1 – ВІТРОДВИГУН З ВЕРТИКАЛЬНИМ ВАЛОМ ТА ЛОПАТЯМИ;

2 – БЛОК ЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОРІВ З КОМБІНОВАНИМ РЕДУКТОРОМ;

4 - ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БЛОК В ЯКОМУ РОЗМІЩЕНІ ЕЛЕКТРОПРИЛАДИ, АКУМУЛЯТОРИ, ІНВЕКТОР, БЕНЗОЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОР.

Сумарні експлуатаційні витрати виробництва

Елементи затрат	Сума річних затрат, тис.грн.
Амортизаційні відрахування	750
Зарплата	5362,5
Інші витрати	450
Витрати на паливо	0
Сумарні витрати	6562,5

Основні техніко – економічні показники ЕС

Показник	Числове значення	Одиниця виміру
Потужність	4,8	кВт
Річний виробіток електроенергії	33177,6	кВт*год
Коефіцієнт витрат електроенергії на власні потреби	0,01	
Сумарні капітальні вкладення	15000	тис.грн.
Питомі капіталовкладення	3125	$\frac{\text{грн}}{\text{кВт*год}}$
Собівартість відпущеної електроенергії	19,97	$\frac{\text{коп}}{\text{кВт*год}}$