

ЖИТОМИРСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ

Відділення "Інженерна інфраструктура та комп'ютерні науки"

Кафедра "Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка"

До захисту допущено
завідувач кафедру
Інна НЕЗДВЕЦЬКА
"_____" 2025 року

Пояснювальна записка

до дипломного проекту

освітньо-професійний ступінь: фаховий молодший бакалавр

спеціальність: 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

на тему: "Проект системи альтернативного живлення однокімнатної
квартири на базі вітрових установок типу «тюльпан»"

Виконав: студент IV курсу, групи Е-42
спеціальності

141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

_____ Кирило ТАЛЬКО

Керівник проекту _____ Богдан АНТИПЧУК

Рецензент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

м. Житомир – 2025 року

ЖИТОМИРСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ

Відділення " Інженерна інфраструктура та комп'ютерні науки "
Кафедра "Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка"
галузь знань 14 "Електрична інженерія"
спеціальність 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"
освітньо-професійний ступінь: фаховий молодший бакалавр

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри
Інна НЕЗДВЕЦЬКА

“ ____ ” _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

Тальку Кирилу Руслановичу

1. Тема дипломного проекту “ Проект системи альтернативного живлення однокімнатної квартири на базі вітрових установок типу «тюльпан» ” та керівник дипломного проекту Антипчук Богдан Олександрович, затверджені наказом навчального закладу від 03 грудня 2024 року, №495-н.
2. Строк подання студентом проекту “__” червня 2025 року.
3. Вихідні дані до роботи: план квартирного приміщення.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
 - Вступ;
 - Вітрова енергетика та її потенціал;
 - Вітрогенераторні установки;
 - Система альтернативного живлення однокімнатної квартири на базі вітрових установок типу «тюльпан»;
 - Обґрунтування економічної ефективності проекту;
 - Охорона праці;
 - Висновки.
5. Перелік візуального та графічного матеріалу:
 - Схема електрична структурна. Система альтернативного живлення однокімнатної квартири на базі вітрових установок типу «тюльпан».
 - Схема електрична принципова. Система альтернативного живлення однокімнатної квартири на базі вітрових установок типу «тюльпан».

6. Консультанти розділів проекту:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Вступ	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Розділ 1	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Розділ 2	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Розділ 3	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Розділ 4	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Розділ 5	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Висновки	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
ГЧ та технічна документація.	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	

7. Дата видачі завдання “03” грудня 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1.	Вступ.	05.12.2024р.	
2.	Розділ 1	12.12.2024р.	
3.	Розділ 2	23.12.2024р.	
4.	Розділ 3	23.01.2025р.	
5.	Розділ 4	20.02.2025р.	
6.	Розділ 5	27.03.2025р.	
7.	Висновки	10.04.2025р.	
8.	Графічна частина та технічна документація	22.05.2025р.	

Студент: _____ Кирило ТАЛЬКО

Керівник проекту: _____ Богдан АНТИПЧУК

[illegible]

“ Проект системи альтернативного живлення однокімнатної квартири
на базі вітрових установок типу «тюльпан» ”

РЕФЕРАТ

Дипломний проект складається з 74 листів пояснювальної записки, яка включає п'ять розділів та графічну частину виконану на 2 листах формату А1 креслярського паперу.

У першому розділі даного дипломного проекту було здійснено аналіз сучасного стан вітрової енергетики в Україні, її потенціал та перспективи розвитку.

У другому розділі було розглянуто будову, принцип роботи, класифікацію вітрогенераторних установок та обґрунтовано переваги вітрогенераторів типу «тюльпан» у порівнянні з іншими типами вітрогенераторів.

У третьому розділі було проведено дослідження вітрового потенціалу місцевості розміщення вітрогенераторної установки, здійснено аеродинамічний розрахунок та вибір моделі вітрогенератора типу «тюльпан», обґрунтовано та обрано структуру системи електропостачання вітрогенераторної системи, розраховано та обрано модель інвертора, акумуляторних батарей, пристрою АВР та лічильника «зеленого тарифу».

У четвертому розділі було проведено розрахунок економічної ефективності розроблюваної системи. В ході розрахунків були визначені капітальні затрати на реалізацію системи, експлуатаційні витрати та термін її окупності.

У п'ятому розділі розглянуто інформацію про безпеку праці при монтажу та експлуатації вітрогенераторних установок, а також пожежну безпеку.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ВІТРОВА ЕНЕРГЕТИКА ТА ЇЇ ПОТЕНЦІАЛ	10
1.1 Характеристика вітроенергетики	10
1.2 Історія еволюції вітрових установок	11
1.3 Актуальність розвитку та використання вітроенергетики в Україні	13
2 ВІТРОГЕНЕРАТОРНІ УСТАНОВКИ	15
2.1 Принцип роботи вітрогенератора	15
2.2 Класифікація вітрогенераторів	16
2.3 Вітрогенераторна установка типу «тюльпан»	19
3 СИСТЕМА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЖИВЛЕННЯ ОДНОКІМНАТНОЇ КВАРТИРИ НА БАЗІ ВІТРОВИХ УСТАНОВОК ТИПУ «ТЮЛЬПАН»	21
3.1 Вихідні дані для проектування системи	21
3.2 Загальні принципи побудови вітрогенераторних систем	22
3.3 Розрахунок середньої потужності споживання електроенергії навантаженням квартирному приміщенню	25
3.4 Дослідження вітрового потенціалу місцевості розміщення вітрогенераторної установки	28
3.5 Аеродинамічний розрахунок та вибір моделі вітрогенератора типу «тюльпан»	30
3.6 Розрахунок та вибір типу інвертора	45
3.7 Розрахунок та вибір типу акумуляторних батарей	49
3.8 Вибір пристрою автоматичного ввімкнення резерву	52
3.9 Вибір лічильника обліку електричної енергії	54
4 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЄКТУ	57

					ДП.141.042.018.ПЗ									
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ					Літ.		Арк.	Аркушів	
Розробив	Талько К.Р.									У			6	74
Перевір	Антипчук Б.О.													
Н. Контр.	Антипчук Б.О.													
Затв.	Лавріщев О.О.									ЖАТФК, Гр. Е-42				

4.1 Розрахунок капітальних затрат проєкту	57
4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат проєкту	60
4.3 Розрахунок терміну окупності розробленої систем	62
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	65
5.1 Безпека праці при монтажу та експлуатації вітрогенератора	65
5.2 Пожежна безпека при експлуатації вітрогенератора	68
ВИСНОВКИ	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ	71
ДОДАТКИ	73

ВСТУП

Враховуючи тенденції сьогодення можна зробити висновок про те, що у всіх сферах людської життєдіяльності електрична енергія є пріоритетним видом енергії через свої суттєві переваги над іншими видами енергії, а тому з кожним роком потреби в ній суттєво зростають. Разом з цим, запаси природних енергоресурсів, які використовуються для вироблення електроенергії є вичерпними. У зв'язку з цим, використання нетрадиційних джерел електроенергії є на часі та стає все більш необхідним етапом вирішення проблеми, яка назріває. На сьогоднішній день невичерпними ресурсами для генерації електроенергії вважається сонячна, вітрова та геотермальна види енергії.

В даному дипломному проєкті ми зосередимо увагу саме на вітровій енергетиці для реалізації поставленого завдання та висвітлення його основної тематики, адже вона має ряд суттєвих переваг, а саме: є безпечною, екологічно чистою, невичерпною, автономною, генерує безкоштовну електроенергію.

Недоліки ж використання такого типу енергії для генерації електроенергії спробуємо усунути або повністю, або частково за допомогою існуючих технічних рішень та відповідного технічного обладнання враховуючи їхню економічну доцільність. Самі ж недоліки базуються на природному походженні стихії вітру, яка є непередбачуваною (ми не можемо регулювати потік вітру та його стабільність), що змушує вкладати додаткові економічні ресурси на акумуляторні батареї при тому, що обладнання для реалізації вітрової установки теж не є дешевим. Про те і в цьому аспекті є позитивні зрушення від нашої держави, бо у відповідності до Закону України «Про електроенергетику» власникам приватних вітрових та сонячних

					ДП.141.042.018.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ВСТУП		
Розробив	Талько К.Р.						
Перевір	Антипчук Б.О.						
Н. Контр.	Антипчук Б.О.						
Затв.	Лавріщев О.О.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
					У	8	74
					ЖАТФК, Гр. Е-42		

електростанцій потужністю до 30 кВт передбачені наступні додаткові стимули:

- виробництво електроенергії з енергії вітру та сонячного випромінювання приватного домогосподарства здійснюється без відповідних на те ліцензій;
- розмір «зеленого тарифу» прив'язаний до курсу євро, при чому, якщо зростатиме курс євро, то тариф також зростатиме).

Отже при правильному проектуванні вітроустановки (з акцентом на «зелений тариф») і врахуванням зростання вартості однієї кВт·год електроенергії до 4,32 грн./кВт·год в Україні, її окупність може зменшитись врази. Тому враховуючи все вище сказане, можна стверджувати, що реалізація системи альтернативного живлення, яка базується на енергії вітру є доцільною і головне – актуальною на сьогоднішній день. До того ж, проектувати систему ми будемо на базі вітроустановки типу «тюльпан», яка виділяється високими показниками продуктивності вироблення електроенергії з енергії вітру у порівнянні з сучасними існуючими аналогами, які є на конкурентному ринку вітроенергетики.

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

1 ВІТРОВА ЕНЕРГЕТИКА ТА ЇЇ ПОТЕНЦІАЛ

1.1 Характеристика вітроенергетики

Вітроенергетика є галуззю альтернативної (нетрадиційної) енергетики, яка займається перетворенням кінетичної енергії вітру в електричну енергію. На рисунку 1.1 зображено принцип перетворення енергії вітру на електричну енергію за допомогою вітрогенератора.



Рисунок 1.1 – Перетворення енергії вітру на електричну енергію

Джерелом вітроенергетики є сонце, оскільки воно спричиняє утворення вітру. Атмосфера Землі поглинає сонячну радіацію нерівномірно через різноманітність її поверхні та зміну кута падіння світла в різних широтах і в різні пори року. Нагріте повітря розширюється і піднімається, формуючи повітряні потоки. У тих місцях, де повітря нагрівається більше, ці потоки піднімаються вище і зосереджуються в зонах низького тиску, тоді як холодніше повітря залишається нижче, створюючи зони високого тиску. Різниця в атмосферному тиску змушує повітря переміщатися від зон високого тиску до зон низького тиску з відповідною швидкістю. Цей рух повітря і є тим, що ми називаємо вітром.

					ДП.141.042.018.ПЗ							
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата								
Розробив	Талько К.Р.				1 ВІТРОВА ЕНЕРГЕТИКА ТА ЇЇ ПОТЕНЦІАЛ				Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір	Антипчук Б.О.								У		10	74
									ЖАТФК, Гр. Е-42			
Н. Контр.	Антипчук Б.О.											
Затв.	Лавріщев О.О.											

Для ефективного використання вітрової енергії необхідно глибоко розуміти добові та сезонні коливання вітру, зміни швидкості вітру в залежності від висоти над землею, частоту поривів вітру за короткі проміжки часу, а також мати статистичні дані, принаймні, за останні 20 років.

Вітроенергетичний потенціал території визначається як загальна енергія вітрового потоку на певній висоті над землею. Енергія вітру характеризується швидкістю, яка є випадковою змінною в просторі та часі. Тому енергетичні характеристики вітру описуються ймовірнісним підходом до випадкового процесу зміни вітроенергетичного потенціалу. Для електроенергетики вітропотенціал регіону є надзвичайно важливим показником.

На основі даних метеорологічних спостережень, а також напрямків і сили вітрів, створюються спеціалізовані довідники, зокрема «Вітроенергетичний кадастр регіону». Ключовими показниками вітроенергетичного кадастру є:

- середньорічна швидкість вітру, річні та добові коливання вітру;
- частота швидкостей, види та характеристики функцій розподілу швидкостей вітру;
- питома потужність і питома енергія вітру;
- вітроенергетичні ресурси даного регіону.

1.2 Історія еволюції вітрових установок

Вітрова енергія використовується людством з давніх-давен. Одним із перших винаходів, пов'язаних із використанням вітру, стало вітрило, яке з'явилося приблизно в п'ятому тисячолітті до нашої ери. У першому столітті до нашої ери давньогрецький вчений Герон Александрійський створив вітряк, що приводив у дію орган.

Вітряні млини для обробки зерна були винайдені ще в середньовіччі. Вважається, що перші вітряки з'явилися в Сістані, на території, що нині

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

охоплює сучасний Іран та Афганістан, приблизно між дев'ятим і сьомим століттями до нашої ери. Вони мали вертикальну вісь і складалися з шести до дванадцяти крил, виготовлених з полотна або очерету, і використовувалися як для помелу зерна, так і для перекачування води.

Перша вітряна електростанція (див. рис. 1.2), відома як «млин» Бліта, з діаметром 9 метрів, була зведена в 1887 році на дачі Джеймса Бліта в Мерікірку (Великобританія). Бліт запропонував жителям Мерікірка надлишкову електроенергію, отриману з його млина. Проте технологію Бліта визнали економічно не вигідною, і наступна вітроелектростанція в Великобританії з'явилася лише в 1951 році. У 1888 році була створена перша автоматично керована вітряна установка американця Чарльза Браша, яка мала діаметр ротора 17 метрів.

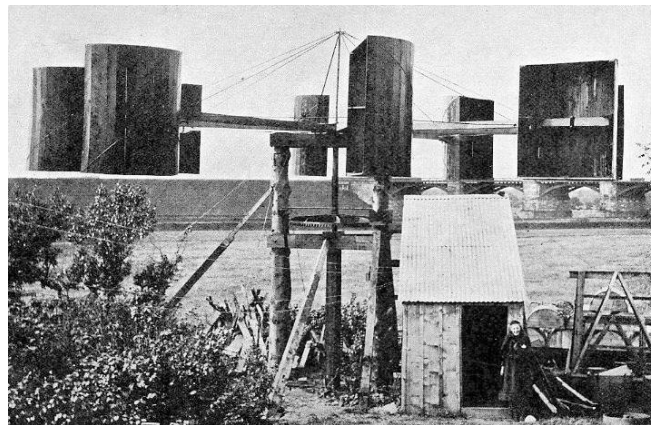


Рисунок 1.2 – вітровий «млин» Джеймса Бліта

У 1890 році в Данії була зведена перша вітроелектростанція, а до 1908 року вже функціонувало 72 станції з потужністю від 5 до 25 кВт. Найбільші з них мали висоту вежі 24 метри та чотирьохлопасті ротори діаметром 23 метри. Попередниця сучасних вітроелектростанцій з горизонтальною віссю, потужністю 100 кВт, була побудована в 1931 році в Ялті і мала вежу висотою 30 метрів. До 1941 року одинична потужність вітроелектростанцій досягла 1,25 МВт.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.018.ПЗ

Аркуш

12

У проміжку між 1940-ми та 1970-ми роками вітроенергетика зазнала занепаду через активний розвиток передавальних і розподільних мереж, які забезпечували стабільне енергопостачання за доступними цінами, незалежно від погодних умов.

Відновлення інтересу до вітроенергетики розпочалося в 1970-х роках після нафтової кризи 1973 року. Ця криза виявила залежність багатьох країн від імпорту нафти та спонукала до пошуку шляхів зменшення цієї залежності. У середині 1970-х у Данії розпочалися випробування прототипів сучасних вітрогенераторів. Крім того, чорнобильська катастрофа також сприяла зростанню інтересу до відновлюваних джерел енергії.

1.3 Актуальність розвитку та використання вітроенергетики в Україні

Останніми роками енергія вітру все активніше використовується для генерації електроенергії. Виготовляються потужні вітрові турбіни, які встановлюються в районах з частими та сильними вітрами. Кількість та якість таких установок щороку зростає, а серійне виробництво налагоджено.

Вітроенергетика є другою за величиною потужностей галуззю енергетики в Європі. Вітрові електростанції Європейського Союзу генерують приблизно 180 ГВт енергії, що становить майже половину від загального обсягу енергетики регіону. Згідно з прогнозами асоціації Wind Europe, цього року вітроенергетика може обійти газову промисловість. У 2018 році в Європі було введено в експлуатацію установки з вітровими генераторами загальною потужністю близько 12 ГВт. Серед усіх енергетичних об'єктів, збудованих минулого року, 95% становлять об'єкти, що використовують відновлювальні джерела енергії.

Серед альтернативних джерел енергії в Україні вітрова енергія поки що поступається сонячній. У 2018 році було зведено 68 вітропарків загальною потужністю 533 МВт, що складається з 22 вітрогенераторів, кожен з яких має потужність близько 3 МВт. На кінець червня цього року загальна потужність

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

українських вітроелектростанцій досягла майже 777 МВт. Україна потрапила до п'ятірки країн з найбільшою кількістю вітроелектростанцій за даними асоціації Wind Europe за перше півріччя 2019 року.

На внутрішньому ринку України вітроенергетичне обладнання виробляють лише кілька компаній, серед яких завод «Південмаш» (точніше, «Уінденерго, Лтд.»), Новокраматорський машинобудівний завод (НКМЗ), компанія Windelectric та інші.

Україна володіє значними запасами вітрової енергії і, завдяки своїм природним та кліматичним умовам, має потенціал стати одним з лідерів у світі в галузі використання вітрової енергії.

Аналіз багаторічних даних метеостанцій показує, що в Україні домінують вітрові потоки зі середньорічними швидкостями вітру від 5 м/с (на висоті флюгера, що становить 10 м). Такі вітрові потоки, з урахуванням сучасного розвитку вітроенергетичних технологій, дозволяють економічно обґрунтовано експлуатувати потужні вітрогенераторні станції. Додатково, наукові дослідження, проведені метеорологами Центральної геофізичної обсерваторії України, вказують на те, що в найближчі 30-40 років в Україні очікується поступове збільшення середньої швидкості вітру на 1-2 м/с, що позитивно вплине на прогнозний потенціал вітрових установок.

Вітрова енергія в Україні розподілена дуже нерівномірно, причому потенціал вітру на півдні країни значно перевищує показники на півночі.

В Україні наразі спостерігається активний розвиток вітроенергетики, що зумовлено, в основному, ухваленням Верховною Радою України у 2009 році одного з найвищих в Європі «зелених» тарифів на електроенергію, вироблену вітроелектростанціями потужністю понад 2 МВт. Цей тариф становить приблизно 11,3 євроцента за 1 кВт·год. і буде діяти до 2030 року.

2 ВІТРОГЕНЕРАТОРНІ УСТАНОВКИ

2.1 Принцип роботи вітрогенератора

На рисунку 2.1 представлена конструктивна схема будови вітрогенератора, яка, в свою чергу, дає змогу повноцінно ознайомитися з його будовою.

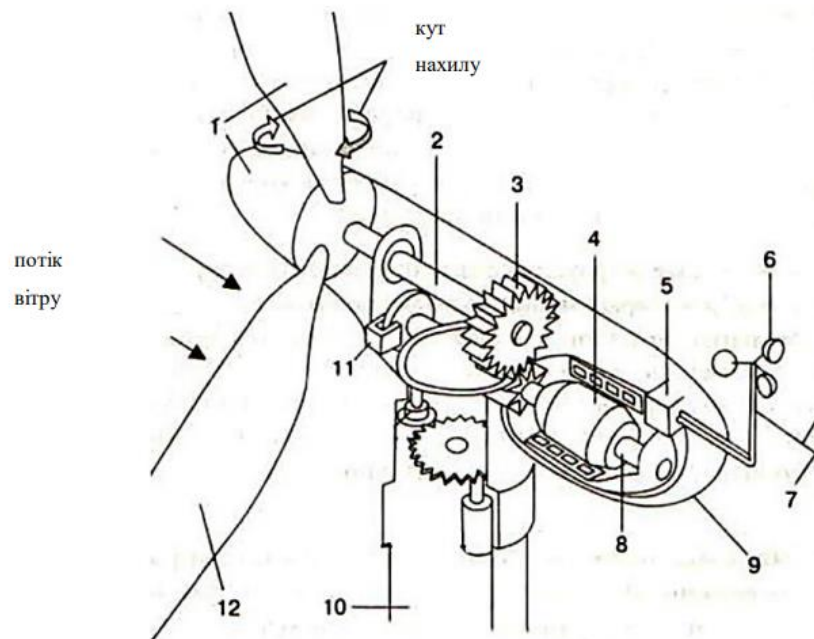


Рисунок 2.1 – Конструктивна схема будови вітрогенератора:

1 – ротор вітроколеса; 2 – низькошвидкісний вал; 3 – редуктор; 4 – генератор;
5 – контролер; 6 – анемометр; 7 – флюгер; 8 – високошвидкісний вал; 9 –
гондола; 10 – щогла; 11 – гальмо; 12 – лопаті вітроколеса

Ротор вітроколеса 1 – виконує функцію перетворення енергії вітру в механічну енергію. Низькошвидкісний вал 2, який обертається під впливом ротора вітроколеса, використовується для передачі механічної енергії. Редуктор 3 – підвищує частоту обертання вітроколеса (ротора). Генератор 4

					ДП.141.042.018.ПЗ		
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Талько К.Р.						
Перевір	Антипчук Б.О.						
Н. Контр.	Антипчук Б.О.						
Затв.	Лаврицев О.О.						
					Літ.		
					Арк.		
					Аркушів		
					У	15	74
					ЖАТФК, Гр. Е-42		

виробляє електричну енергію і оснащений високошвидкісним валом 8, який обертає ротор самого генератора. Контролер 5 призначений для керування всією установкою і завдяки йому в автоматичному режимі запускаються вітряні турбіни або їх зупинка. Анемометр 6, в свою чергу, використовується для вимірювання швидкості вітру та подальшої передачі даних до контролера. Флюгер 7 має визначати напрямок вітру і повертати вітроколесо в потрібну сторону. Гондола 9, розташована на верхній частині вітряної турбіни та є несучою частиною конструкції всього вітрогенератора і всередині неї розміщені вали, редуктор, генератор, контролер та гальмо. Щогла 10 – це порожня конструкція, виготовлена з металу або бетону, яка призначена для розміщення основних елементів вітрогенератора на висоті. Гальмо 11, запобігає пошкодженню установки та використовується для зупинки ротора в критичних ситуаціях (наприклад, під час урагану). Лопаті 12 є основним компонентом вітрової установки та призначені для захоплення енергії вітру. Завдяки лопатям цей пристрій виконує свої функції. Коли потік вітру впливає на лопаті, вони починають рухатися, що забезпечує обертання ротора і, в результаті, виробництво енергії генератором.

Принцип функціонування вітрогенератора є досить простим (див. рис. 2.1). Потік вітру створює тиск на лопаті 12 вітрового колеса. Ротор 1 цього колеса закріплений на низькошвидкісному валу 2. Під впливом вітру вітряне колесо (ротор з лопатями та низькошвидкісний вал) починає обертатися, перетворюючи вітрову енергію на механічну. Механічний рух від низькошвидкісного вала передається на вал 8 електричного генератора 4 через редуктор 3. При обертанні ротора електрогенератора відбувається перетворення механічної енергії в електричну.

2.2 Класифікація вітрогенераторів

На сьогоднішній день існує два основних типи вітрогенераторів, які відрізняються конструктивно в залежності від розташування осі обертання

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
						16
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

елемента, що захоплює енергію вітру. Вітрогенератори можуть мати різні конструкції та відрізнятися за потужністю. Відповідно до геометрії обертання осі основного ротора, їх можна класифікувати на:

- з горизонтальною віссю обертання, де вісь ротора обертається паралельно до поверхні Землі (див. рис. 2.2, а);
- з вертикальною віссю обертання, де турбіна розміщена вертикально щодо землі (див. рис. 2.2, б).

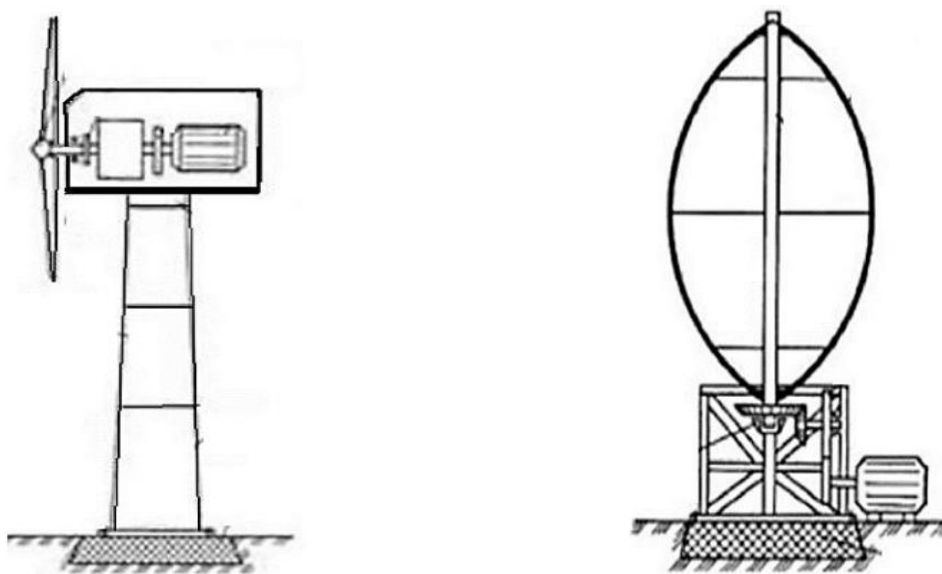


Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд вітрогенератора: (а) – з горизонтальною віссю обертання; (б) – з вертикальною віссю обертання

Розглянемо технічні характеристики вітрогенераторів обох типів конструкції.

Горизонтальні вітрогенератори мають найбільшу популярність. У них вісь обертання вітряного колеса, лопаті якого обертаються проти вітру, розташовано паралельно землі. Такий варіант виконання отримав назву «вітряка». Конструкція горизонтальних вітрогенераторів виконана так, що передня частина вітряного колеса, здійснюючи пошук вітру, повертається автоматично. Крім того, кут повороту лопатей може змінюватися теж, щоб вловити навіть невеликий вітер. Вважається, що цей тип вітрогенераторів годиться для виробництва великого обсягу електроенергії. Горизонтальні

вітрові установки мають високий коефіцієнт корисної дії (40-50%). Саме тому цей тип зазвичай застосовується при розробці систем вітряних електростанцій.

У вітрогенераторів з горизонтальною віссю обертання вітроколесо може мати різну кількість лопатей. Відповідно до цього, існують одно-, двох-, трьох- та багатолопатеві модифікації. Дослідження, проведені данськими науковцями ще в 70-х роках минулого століття, виявили, що оптимальна кількість лопатей у горизонтальних вітрогенераторах становить три. Цей висновок був добре засвоєний виробниками вітрогенераторів, тому саме такі вітряки найбільш поширені на ринку. Вітрогенератори з трьома лопатями виготовляються з потужностями від кількох ват до кількох мегават.

Вертикальні вітрогенератори мають нижчу ефективність у порівнянні з горизонтальними. Їхній коефіцієнт корисної дії в три рази менший, ніж у горизонтальних моделей. Лопаті вертикального вітрогенератора обертаються перпендикулярно до поверхні землі, незалежно від напрямку та сили вітру. Внаслідок цього половина лопатей вітроколеса завжди рухається проти вітру. Внаслідок цього вітрогенератори з вертикальним обертанням вітроколеса не використовують $1/2$ потужності вітрового потоку, що суттєво знижує їх енергоефективність. Це є основним недоліком вітрогенераторів такого типу.

Проте вітрогенератори з вертикальним обертанням вітроколеса мають свої переваги. Наприклад, монтаж і експлуатація цих моделей є більш простими. Це пов'язано з тим, що редуктор і електрогенератор у конструкції з вертикальним вітроколесом розташовані на землі. Ще однією конструктивною перевагою є відсутність необхідності у флюгері, оскільки вони здатні самостійно орієнтуватися щодо повітряних потоків. Такі типи вітрогенераторів ефективно працюють при невеликих швидкостях вітру. Конструкції вертикальних вітрогенераторів також мають значні відмінності через різні модифікації вітряних коліс (роторів).

Вітроустановки класифікуються також за потужністю генератора, а їхні характеристики та призначення представлені в таблиці 2.1.

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
						18
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Класифікація вітрогенераторів за потужністю

Клас установки	Потужність, МВт	Діаметр колеса, м	Кількість лопатей	Призначення
Малої потужності	до 0,1	3 – 10	2 – 3	заряджання акумуляторів, насоси, побутові потреби
Середньої потужності	від 0,1 до 1,0	25 – 44	2 – 3	енергетика
Високої потужності	від 0,1	45	2 – 3	енергетика

2.3 Вітрогенераторна установка типу «тюльпан»

Вертикальний вітрогенератор типу «тюльпан» (див. рис. 2.3) має циліндричну конструкцію з вигнутими лопатями, які нагадують пелюстки тюльпана, розташованими на вертикальній осі. Лопаті спеціально розроблені для захоплення енергії вітру з усіх напрямків, що забезпечує ефективне виробництво енергії навіть при низьких швидкостях вітру. Конструкція турбіни також сприяє зменшенню шуму та вібрацій, які виникають під час обертання лопатей.



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд вітрогенератора типу «тюльпан»

Як зазначалось раніше, основні переваги вертикального осьового вітрогенератора полягають у його здатності ефективно працювати при

низькій швидкості вітру, що робить його ідеальним вибором для міських і приміських територій, де вітер часто буває непередбачуваним і поривчастим.

Вертикальний вітрогенератор типу «тюльпан» займає меншу площу для виробництва такої ж кількості енергії, як горизонтальні вітрогенератори. Їхня конструкція спрощує доступ до компонентів вітрової турбіни, що полегшує технічне обслуговування та ремонт. Вертикальна вітряна турбіна вітроустановки «тюльпан» функціонує на нижчих обертах лопатей, що зменшує ймовірність шкоди для птахів. Крім того, вертикальні вітрогенератори часто вважаються більш естетично привабливими та менш навіязливими в порівнянні з горизонтальними.

Однак особливістю використання вітрогенераторів типу «тюльпан» є те, що їхня ефективність вироблення електроенергії зростає при об'єднанні декількох таких вітряків (від 3 до 5) в «букет». Відомо, що вітрові турбіни слід розміщувати на великій відстані одна від одної, щоб уникнути виникнення вихорів і не перешкоджати їхній ефективній роботі. Але у випадку вітрогенераторів типу «тюльпан» все навпаки, тобто ми маємо розташувати вітрогенератори якомога ближче один до одного і завдяки конструкції їхнього вітрового колеса з лопатями отримаємо щось схоже на кластерний ефект – перебуваючи поруч, вони посилюватимуть ефективність своєї роботи на 20 –50% через те, що спрямовуватимуть повітряні потоки один на одного.

"Тюльпани" вже застосовуються в таких країнах як: Ізраїлі, Нідерландах та Німеччині.

Подальше проектування системи альтернативного живлення однокімнатної квартири в даному дипломному проєкті ми будемо проводити на базі саме вітрогенераторів типу тюльпан, адже вони мають ряд суттєвих переваг серед сучасних можливих технічних рішень, які базуються на вітроенергетиці, що в свою чергу робить наш вибір актуальним, інноваційним та трендовим на сьогоднішній день.

3 СИСТЕМА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЖИВЛЕННЯ ОДНОКІМНАТНОЇ КВАРТИРИ НА БАЗІ ВІТРОВИХ УСТАНОВОК ТИПУ «ТЮЛЬПАН»

3.1 Вихідні дані для проєктування системи

Однокімнатна квартира, для якої буде спроектовано систему альтернативного живлення розташована на дев'ятому поверсі дванадцяти поверхового будинку, що знаходиться за адресою: м. Житомир, вул. Вільський Шлях 14. Загальний вигляд квартири та її план представлені на рисунку 3.1.

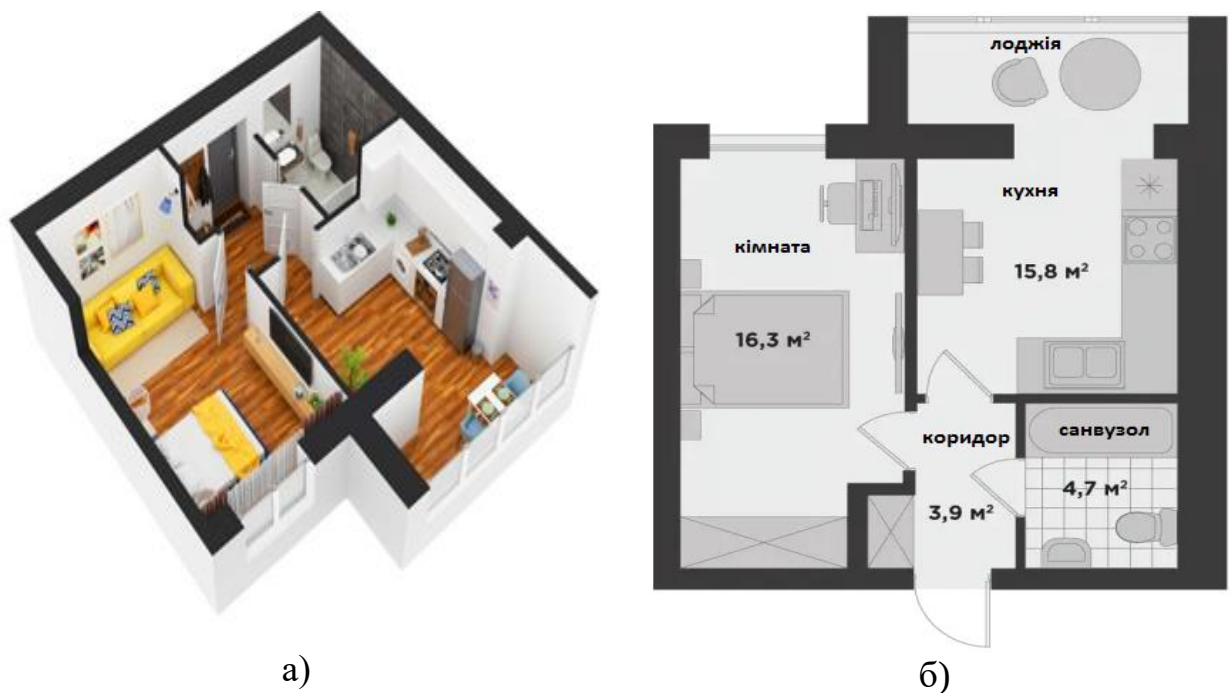


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд квартирної приміщення:

а) – загальний вигляд у 3D-проекції; б) – план розташування кімнат

Перелік побутових електричних пристроїв змінного струму, які присутні в квартирі, а також їх активна потужність споживання

					ДП.141.042.018.ПЗ		
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	3 СИСТЕМА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЖИВЛЕННЯ ОДНОКІМНАТНОЇ КВАРТИРИ НА БАЗІ ВІТРОВИХ УСТАНОВОК ТИПУ «ТЮЛЬПАН»		
Розробив	Талько К.Р.						
Перевір	Антипчук Б.О.						
Н. Контр.	Антипчук Б.О.						
Затв.	Лавріщев О.О.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
					У	21	74
					ЖАТФК, Гр. Е-42		

електроенергії наведені в таблиці 3.1. Саме ці дані будуть відігравати ключову роль в розрахунках та проектуванні нашої системи альтернативного живлення.

Таблиця 3.1 – Навантаження споживачів квартирної приміщення

Споживач	Напруга живлення U, В	Потужність P, Вт	Струм I, А	Тривалість роботи за добу, год.
Світлодіодне освітлення кімнат	220	240	1,09	4
Ноутбук	220	100	0,45	5
Принтер	220	300	1,36	1
Телевізор	220	170	0,77	4
Холодильник	220	150	0,68	3
Пральна машина	220	1500	6,8	0,5
Мікрохвильова піч	220	1000	4,54	0,25
Електрочайник	220	1200	5,45	0,3
Кавоварка	220	750	3,4	0,3
Електроплита	220	2000	9,1	2
Кондиціонер	220	100	0,45	4
Праска	220	2000	9,1	0,1
Витяжка	220	135	0,61	2
Порохотяг	220	1500	6,8	0,2
Бойлер	220	1500	6,8	4
Фен	220	1000	4,54	0,1

3.2 Загальні принципи побудови вітрогенераторних систем

Вітрова генераторна установка (ВЕУ) призначена для забезпечення споживачів електроенергією напругою 220 В та частотою електромережі 50 Гц. Рекомендується розміщувати таку установку на ділянці, де є мінімум перешкод у навколишньому рельєфі, які могли б заважати ефективному надходженню вітрового потоку.

Вітрогенераторні установки розраховуються у відповідності до даних стосовно потужності споживання об'єкта, а також вітрового потенціалу регіону в якому вони будуть встановлюватись.

На сьогодні більшість наукових матеріалів та літературних джерел підкреслюють, що перед встановленням вітрогенераторної установки важливо дослідити та проаналізувати всі можливі типи вітрогенераторів, а також оцінити вітрову характеристики території, де планується їх розміщення. Крім того, важливим є розрахунок середньої кількості електроенергії, яку споживатиме об'єкт і для якого розробляється система альтернативного живлення, яка побудована на базі вітрогенератора.

Системи електроживлення на основі вітрогенераторів можуть бути представлені у трьох формах:

- автономна;
- мережева;
- автономно-мережева.

Автономні вітрогенераторні системи електроживлення (див. рис. 3.2) застосовуються в місцях, де відсутні централізовані лінії електропередачі (прокладання мереж є складним або економічно не вигідним), а також для забезпечення електроенергією автономних об'єктів, пристроїв і пересувних установок.

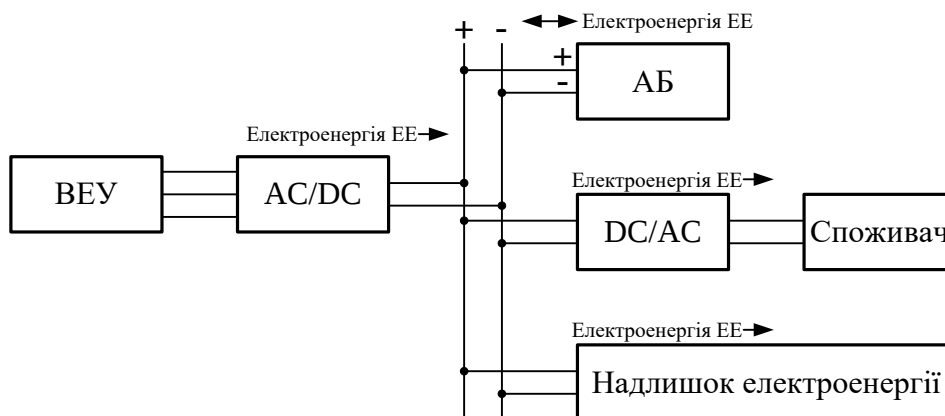


Рисунок 3.2 – Автономна вітрогенераторна система

Мережеві вітрогенераторні системи (див. рис. 3.3) створені для виробництва електроенергії шляхом перетворення енергії вітру в електричну, з подальшою її передачею в електромережу. Ці системи можуть функціонувати за зеленим тарифом, продаючи електроенергію в централізовану зовнішню мережу, або використовуватись для забезпечення власних потреб у електроенергії.

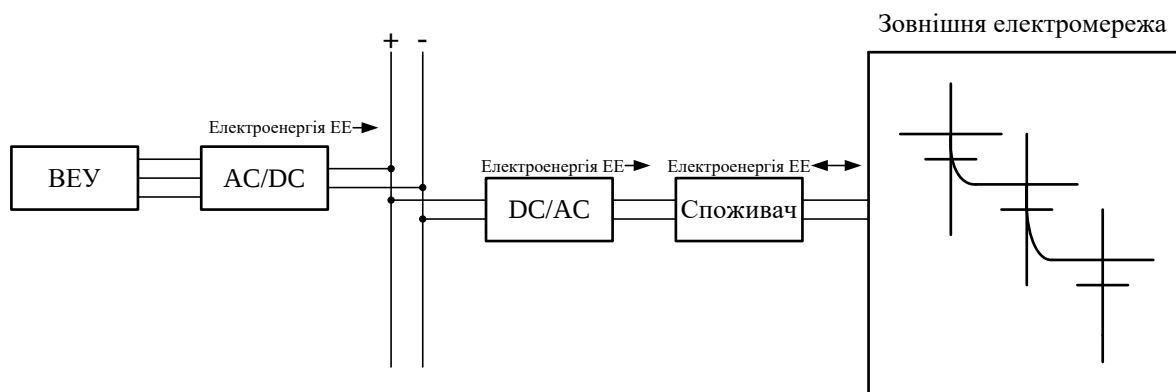


Рисунок 3.3 – Мережева вітрогенераторна система

Автономно-мережеві вітрогенераторні системи (див. рис. 3.4) інтегрують в собі характеристики обох згаданих вище систем, що робить їх універсальними для практичного застосування.

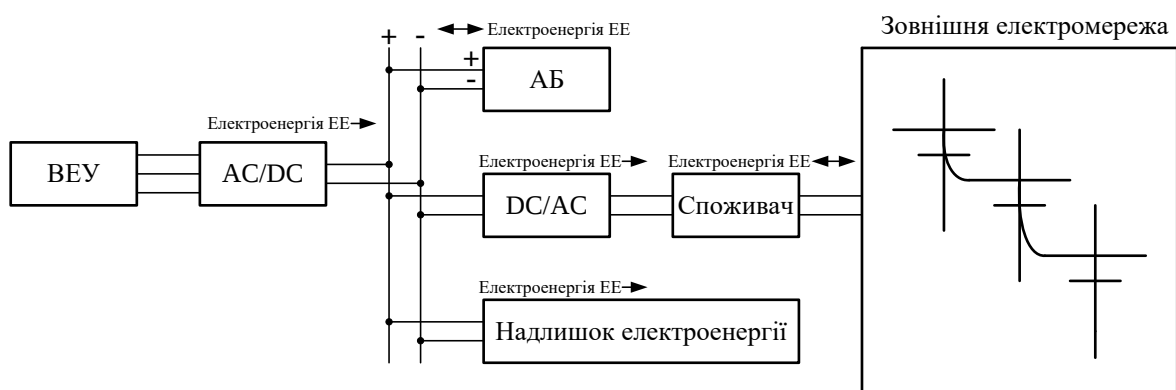


Рисунок 3.4 – Автономно-мережева вітрогенераторна система

Враховуючи особливості зазначених структурних схем вітрогенераторних систем, у нашому дипломному проєкті спочатку доцільно розглянути варіанти автономної або автономно-мережевої структури вітрогенераторної системи. Однак на даному етапі важко визначити, яка з цих структур буде найкращою для нас, оскільки спочатку потрібно з'ясувати середню потужність споживання електроенергії всього обладнання та техніки яка знаходиться у квартирі, необхідну кількість вітрогенераторів типу «тюльпан» для оптимального енергозабезпечення та їх приблизну вартість.

3.3 Розрахунок середньої потужності споживання електроенергії навантаженням квартирному приміщенню

В підрозділі 3.1 даного дипломного проєкту наведена таблиця 3.1 в якій вказано весь перелік побутових електроспоживачів, що знаходяться в квартирі, для якої ми розробляємо систему альтернативного живлення та їх активна потужність споживання. Тому використовуючи ці дані розрахуємо середню потужність споживання електроенергії всього навантаженням квартирному приміщенню.

Перш за все, для досягнення мети цього підрозділу, визначимо добову потужність споживання електричної енергії кожним електроприладом в квартирі за виразом:

$$P_{\text{доба_сп}} = n_{\text{год/доба}} \cdot P_{\text{сп}}, \quad (3.1)$$

де:

$n_{\text{год/доба}}$ – кількість робочих годин на добу побутового споживача (навантаження), год.

$P_{\text{доба_сп}}$ – добова потужність споживання побутового споживача (навантаження), Вт·год;

$P_{\text{сп}}$ – активна потужність споживання побутового споживача (навантаження), Вт.

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
						25
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За виразом 3.1 та інформацією із таблиці 3.1 матимемо, що:

$$P_{\text{доба_світлодіод.освіт.}} = 240 \cdot 4 = 960 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$P_{\text{доба_ноутбук}} = 100 \cdot 5 = 500 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$P_{\text{доба_принтер}} = 300 \cdot 1 = 300 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$P_{\text{доба_телевізор}} = 170 \cdot 4 = 680 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$P_{\text{доба_холодильник}} = 150 \cdot 3 = 450 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$P_{\text{доба_пральна машина}} = 1500 \cdot 0,5 = 750 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$P_{\text{доба_мікрохвильова піч}} = 1000 \cdot 0,25 = 250 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$P_{\text{доба_електрочайник}} = 1200 \cdot 0,3 = 360 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$P_{\text{доба_кавоварка}} = 750 \cdot 0,3 = 225 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$P_{\text{доба_електроплита}} = 2000 \cdot 2 = 6000 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$P_{\text{доба_кондиціонер}} = 100 \cdot 4 = 400 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$P_{\text{доба_праска}} = 2000 \cdot 0,1 = 200 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$P_{\text{доба_вितяжка}} = 135 \cdot 2 = 270 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$P_{\text{доба_порохотяг}} = 1500 \cdot 0,2 = 300 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$P_{\text{доба_бойлер}} = 1500 \cdot 4 = 6000 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$P_{\text{доба_фен}} = 1000 \cdot 0,1 = 100 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Далі визначимо загальну добову потужність споживання всіх споживачів в квартирі $\sum P_{\text{доба_сп}}$:

$$\sum P_{\text{доба_сп}} = P_{\text{доба_сп1}} + P_{\text{доба_сп2}} + \dots + P_{\text{доба_спN}}, \quad (3.2)$$

де:

$P_{\text{доба_сп}}$ – добова потужність споживання побутового споживача (навантаження), Вт·год.

Отже, отримаємо:

$$\begin{aligned} \sum P_{\text{доба_сп}} &= 960 + 500 + 300 + 680 + 450 + 750 + 250 + 360 + 225 + \\ &+ 6000 + 400 + 200 + 270 + 300 + 6000 + 100 = 17745 \text{ Вт} \cdot \text{год}. \end{aligned}$$

Далі нам необхідно визначити потужність споживання електроенергії всіх побутових споживачів за тиждень, щоб в подальшому можна було провести аеродинамічний розрахунок вітрогенератора та вибрати у відповідності до нього відповідну модель. Для цього скористаємось виразом наведеним нижче:

$$\sum P_{\text{сп_тижд.}} = 7 \cdot \sum P_{\text{сп_доба}}. \quad (3.3)$$

Матимемо:

$$\sum P_{\text{сп_тижд.}} = 7 \cdot 17745 = 124215 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Отже бачимо, що вітрогенераторна система альтернативного живлення однокімнатної квартири, яку ми розробляємо в цьому проєкті, повинна здійснювати електрозабезпечення навантаження в квартирі із загальною потужністю споживання 124215 Вт · год на тиждень.

3.4 Дослідження вітрового потенціалу місцевості розміщення вітрогенераторної установки

Згідно із вихідними даними дипломного проєкту, вітрогенераторна система альтернативного живлення розробляється для електропостачання однокімнатної квартири, яка розташована на дев'ятому поверсі багатоповерхового будинку у м. Житомир, тому дослідження та оцінку вітрового потенціалу ми будемо проводити саме для даної географічної місцевості. Для цього скористаємось інформацією від гідрометеоцентру України про середньомісячну швидкість вітру та його напрямок у вигляді рози вітрів за 2024р. у м. Житомир. На рисунку 3.5 показано середньомісячну швидкість вітру за 2024р. у м. Житомир, а на рисунку 3.6 – його розу вітрів.

За діаграмою на рисунку 3.4 видно, що вітер у м. Житомир за рік 2024р. змінював свою швидкість в межах від 3 до 4,1 м/с. При чому найбільша швидкість вітру припадає на зимовий період, а найменша – на літній. Середня швидкість вітру протягом 2024 року становить 3,6 м/с, а це говорить нам про те, що м. Житомир характеризується слабкими вітрами і для генерації електроенергії потрібно використовувати вітрові установки, які мають високий коефіцієнт корисної дії на саме малих швидкостях.



Рисунок 3.5 – Стовпчаста діаграма середньомісячної швидкості вітру у м.
Житомир за 2024 рік

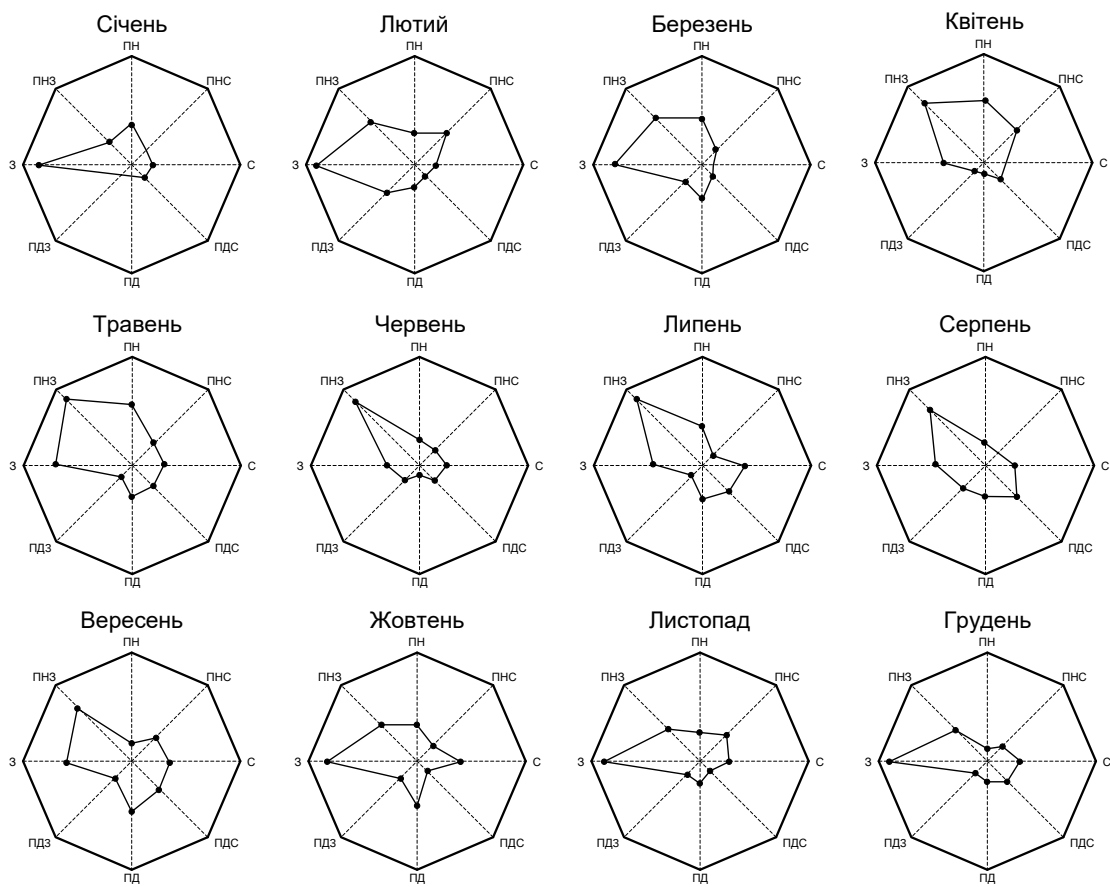


Рисунок 3.6 – Роза вітрів в м. Житомир за 2024р.

Проводячи аналіз рози вітрів на рисунку 3.6 можна зробити висновок, що за весь 2024 р. у м. Житомирі переважали вітри західного напрямку у холодні місяці року та північно-західного – у теплі місяці року. Однак, аналізуючи кожен місяць року можна також побачити, що окрім переважаючих вітрів завжди присутні і інші, хоча й слабкіші.

Підсумовуючи проведений аналіз в даному підрозділі можна вже остаточно та чітко стверджувати, що для реалізації нашої розроблюваної системи нам потрібен вітрогенератор саме з вертикальною віссю обертання, так як він не залежить від напрямку вітру – це покращить ефективність роботи нашої розроблюваної системи, тобто який би не був напрямок вітру генерація електроенергії буде завжди, до того ж такий вітрогенератор працює на невеликих швидкостях вітру та має при цьому високий коефіцієнт корисної роботи, що теж є актуальним в нашому випадку, бо швидкість вітру в м. Житомирі невелика.

Іншими словами, вітрогенератори сконструйовані за технологією «тюльпан» описаною в підрозділі 2.3 повинні дуже гарно зарекомендувати себе в нашій системі враховуючи особливості поставленого завдання та проведеного вище аналізу вітрової характеристики місцевості розміщення вітрової установки.

3.5 Аеродинамічний розрахунок та вибір моделі вітрогенератора типу «ТЮЛЬПАН»

Враховуючи ситуацію з електроенергетикою в Україні, на її ринку нетрадиційної енергетики можна знайти досить широкий вибір моделей вітрогенераторів типу «тюльпан» з різною потужністю, якістю виконання та вартістю у відповідності до характеристик самого вітрогенератора та бренду компанії виробника, що за часту теж впливає на збільшення вартості самої моделі вітрогенератора. Тому у відповідності до критерію ціна-якість зупинимо свій вибір на вітрогенераторах типу «тюльпан» компанії виробника

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Euro Wind, яка є одним із провідних виробників якісних вітрогенераторів різних типів в Європі, а також в Україні номінальною виробничою потужністю від 10 до 10000 Вт·год (див. рис. 3.7).

Враховуючи той факт, що потужність споживання побутового електрообладнання в квартирі для якої розробляється наша система альтернативного живлення становить 17745 Вт·год на добу та 124215 Вт·год на тиждень відповідно, доцільним буде вибрати кілька моделей від обраного виробника вітрогенераторів і провести їх аеродинамічний розрахунок. Це дозволить визначити, яка з моделей найкраще відповідатиме нашим вимогам, оскільки надто потужний вітрогенератор може суттєво збільшити вартість системи альтернативного електропостачання, тоді як малопотужний – не зможе задовольнити наші потреби.



Модель генератора	Номінальна потужність, Вт·год	Максимальна потужність, Вт·год	Стартова швидкість вітру, м/с
EuroWind VS-0001*	10	17	2
EuroWind VS-002	200	260	2
EuroWind VS-003	300	400	2
EuroWind VS-005	500	650	2
EuroWind VS-01	1000	1300	2
EuroWind VS-03	3000	3600	2
EuroWind VS-05	5000	6000	2
EuroWind VS-10	10000	12000	2

Рисунок 3.7 – вітрогенератори типу «тюльпан» компанії-виробника Euro Wind та їх характеристика

З представлених вітрогенераторів компанії Euro Wind, на перший погляд, найкращими для наших потреб виглядають три моделі:

- Euro Wind VS-003;
- Euro Wind VS-005;
- Euro Wind VS-01.

У таблиці 3.2 представлені номінальні характеристики трьох вибраних моделей вітрогенераторів.

Таблиця 3.2 – Номінальні характеристики обраних моделей вітрогенераторів типу «тюльпан» компанії-виробника Euro Wind

Euro Wind VS-003 «Тюльпан»	
1	2
Тип генератора	Синхронний генератор з постійними магнітами
Номінальна потужність $P_{\text{ВЕУ}}$, Вт	300
Вихідна напруга U , В	24
Тип вертикального ротору	H-rotor
Радіус вертикального ротора R , м	0,65
Висота лопаті вертикального ротора $H_{\text{ВР}}$, м	1,4
Кількість лопатей вертикального ротора	3
Стартова швидкість $V_{\text{В ст}}$, м/с	1,5
Номінальна швидкість $V_{\text{В ном}}$, м/с	12
Максимальна швидкість $V_{\text{В макс}}$, м/с	40
Euro Wind VS-005 «Тюльпан»	
Тип генератора	Синхронний генератор з постійними магнітами
Номінальна потужність $P_{\text{ВЕУ}}$, Вт	500
Вихідна напруга U , В	24
Тип вертикального ротору	H-rotor
Радіус вертикального ротора R , м	0,85
Висота лопаті вертикального ротора $H_{\text{ВР}}$, м	1,8
Кількість лопатей вертикального ротора	3
Стартова швидкість $V_{\text{В ст}}$, м/с	2
Номінальна швидкість $V_{\text{В ном}}$, м/с	12
Максимальна швидкість $V_{\text{В макс}}$, м/с	40
Euro Wind VS-01 «Тюльпан»	
Тип генератора	Синхронний генератор з постійними магнітами
Номінальна потужність $P_{\text{ВЕУ}}$, Вт	1000
Вихідна напруга U , В	48
Тип вертикального ротору	H-rotor
Радіус вертикального ротора R , м	1,05
Висота лопаті вертикального ротора $H_{\text{ВР}}$, м	2,2
Кількість лопатей вертикального ротора	3
Стартова швидкість $V_{\text{В ст}}$, м/с	2
Номінальна швидкість $V_{\text{В ном}}$, м/с	12
Максимальна швидкість $V_{\text{В макс}}$, м/с	40

Тепер здійснимо аеродинамічний розрахунок вибраних вітрогенераторів типу «тюльпан», щоб остаточно визначитися з їхньою моделлю для реалізації поставленого завдання в даному дипломному проєкті.

Попри те, що в характеристиках обраних моделей вітрогенератора вказано їхню номінальну потужність, для кращої оцінки й правильного вибору вітряка серед обраних моделей нам необхідно визначити потужність вітрогенератора, яку він виробляє за одну годину своєї роботи насамперед залежно від швидкості вітру в кожному місяці кожної пори року. Для цього скористаємось виразом:

$$N_{\text{ВУ_год}} = n_{\text{лоп.}} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot A \cdot V^3, \quad (3.4)$$

де:

$N_{\text{ВУ_год}}$ – розрахункова потужність вітрогенератора за одну години його роботи залежно від швидкості вітру, Вт·год;

$n_{\text{лоп.}}$ – кількість лопатей вертикального ротора, шт.;

A – загальна площа вітрового колеса, м²;

V – швидкість вітрового потоку, м/с (див. рис. 3.5);

ρ – об'ємна густина повітряної маси (кг/м³).

Об'ємну густину повітряної маси, яка необхідна для проведення аеродинамічного розрахунку обраних вітрогенераторів визначимо за виразом:

$$\rho = M_n / V_n, \quad (3.5)$$

де:

M_n – маса повітря, кг;

V_n – об'єм повітря, м³.

За звичайних погодних умовах значення атмосферного тиску становить близько $P_{cm} = 0,1013$ МПа, а температура навколишнього середовища рівна $T_{cm} = 293$ К або $t_{cm} = 20^\circ\text{C}$. При таких умовах величини стосовно маси повітря та його об'єму приймають рівними $M_n = 28,979$ кг, а $V_n = 24,055$ м³.

Отже, за виразом 3.5 будемо мати, що:

$$\rho = \frac{28,979}{24,055} = 1,205 \text{ кг/м}^3.$$

Далі необхідно розрахувати загальну площу вітрового колеса для обраних моделей вітрогенераторів:

$$A = 2 \cdot R \cdot H_{BP} , \quad (3.6)$$

R – радіус вертикального ротора, м;

H_{BP} – висота лопаті вертикального ротора, м.

Отримаємо наступні розрахункові дані:

$$A_{VS-003} = 2 \cdot 0,65 \cdot 1,4 = 1,82 \text{ м}^2;$$

$$A_{VS-005} = 2 \cdot 0,85 \cdot 1,8 = 3,06 \text{ м}^2;$$

$$A_{VS-01} = 2 \cdot 1,05 \cdot 2,2 = 4,62 \text{ м}^2.$$

Далі визначимо потужність кожного з вибраних моделей вітрогенераторів типу «тюльпан» представлених у таблиці 3.2 за одну годину їх роботи скориставшись виразом 3.4, а також за тиждень використавши вираз 3.7 наведений нижче. Ці розрахунки будуть проведені для кожного місяця протягом усіх сезонів року.

$$N_{\text{ВУ_тиждень}} = 168 \cdot N_{\text{ВУ_год}} , \quad (3.7)$$

де:

$N_{\text{ВУ_год}}$ – розрахункова потужність вітрогенератора за одну години його роботи залежно від швидкості вітру, Вт·год;

$N_{\text{ВУ_тиждень}}$ – тижнева розрахункова потужність вітрогенератора, Вт·год.

Таким чином, ми можемо визначити, що тижнева потужність виробництва електроенергії за січень для обраних моделей вітрогенераторів дорівнює:

$$N_{VS-003_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 1,82 \cdot 4^3 = 210,5 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-005_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 3,06 \cdot 4^3 = 353,9 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-01_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 4,62 \cdot 4^3 = 534,4 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-003_тиж} = 168 \cdot 210,5 = 35364 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-005_тиж} = 168 \cdot 353,9 = 59455,2 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-01_тиж} = 168 \cdot 534,4 = 89786 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Тепер розрахуємо тижневу продуктивність електроенергії, яку забезпечать обрані моделі вітрогенераторів у лютому:

$$N_{VS-003_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 1,82 \cdot 3,9^3 = 195,1 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-005_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 3,06 \cdot 3,9^3 = 328,9 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-01_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 4,62 \cdot 3,9^3 = 495,4 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-003_тиж} = 168 \cdot 195,1 = 32776,8 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-005_тиж} = 168 \cdot 328,9 = 55255,2 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-01_тиж} = 168 \cdot 495,4 = 83227,2 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Протягом березня виробництво електричної потужності обраними моделями вітрогенераторів складе:

$$N_{VS-003_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 1,82 \cdot 4^3 = 210,5 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-005_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 3,06 \cdot 4^3 = 353,9 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-01_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 4,62 \cdot 4^3 = 534,4 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-003_тиж} = 168 \cdot 210,5 = 35364 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-005_тиж} = 168 \cdot 353,9 = 59455,2 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-01_тиж} = 168 \cdot 534,4 = 89786 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

За квітень ми отримаємо такі розрахункові дані:

$$N_{VS-003_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 1,82 \cdot 3,8^3 = 180,5 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-005_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 3,06 \cdot 3,8^3 = 303,5 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-01_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 4,62 \cdot 3,8^3 = 458,2 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-003_тиж} = 168 \cdot 180,5 = 30324 \text{ Вт} \cdot \text{год} ;$$

$$N_{VS-005_тиж} = 168 \cdot 303,5 = 50988 \text{ Вт} \cdot \text{год} ;$$

$$N_{VS-01_тиж} = 168 \cdot 458,2 = 76977,6 \text{ Вт} \cdot \text{год} .$$

За травень місяць ми отримаємо наступні результати:

$$N_{VS-003_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 1,82 \cdot 3,3^3 = 118,2 \text{ Вт} \cdot \text{год} ;$$

$$N_{VS-005_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 3,06 \cdot 3,3^3 = 198,7 \text{ Вт} \cdot \text{год} ;$$

$$N_{VS-01_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 4,62 \cdot 3,3^3 = 300,1 \text{ Вт} \cdot \text{год} ;$$

$$N_{VS-003_тиж} = 168 \cdot 118,2 = 19857,6 \text{ Вт} \cdot \text{год} ;$$

$$N_{VS-005_тиж} = 168 \cdot 198,7 = 33381,6 \text{ Вт} \cdot \text{год} ;$$

$$N_{VS-01_тиж} = 168 \cdot 300,1 = 50416,8 \text{ Вт} \cdot \text{год} .$$

За червень місяць обрані моделі вітрогенераторів вироблятимуть таку кількість електроенергії:

$$N_{VS-003_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 1,82 \cdot 3,2^3 = 107,8 \text{ Вт} \cdot \text{год} ;$$

$$N_{VS-005_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 3,06 \cdot 3,2^3 = 181,2 \text{ Вт} \cdot \text{год} ;$$

$$N_{VS-01_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 4,62 \cdot 3,2^3 = 273,6 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-003_тиж} = 168 \cdot 107,8 = 18110,4 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-005_тиж} = 168 \cdot 181,2 = 30441,6 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-01_тиж} = 168 \cdot 273,6 = 45964,8 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

У липні виробництво електричної енергії обраними моделями вітрогенераторів складе:

$$N_{VS-003_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 1,82 \cdot 3,1^3 = 98 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-005_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 3,06 \cdot 3,1^3 = 164,7 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-01_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 4,62 \cdot 3,1^3 = 248,8 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-003_тиж} = 168 \cdot 98 = 16464 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-005_тиж} = 168 \cdot 164,7 = 27669,6 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-01_тиж} = 168 \cdot 248,8 = 41798,4 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

За серпень будемо мати такі результати:

$$N_{VS-003_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 1,82 \cdot 3^3 = 88,8 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-005_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 3,06 \cdot 3^3 = 149,3 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-01_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 4,62 \cdot 3^3 = 225,5 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-003_тиж} = 168 \cdot 88,8 = 14918,4 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-005_тиж} = 168 \cdot 149,3 = 25082,4 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-01_тиж} = 168 \cdot 225,5 = 37884 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Продовжимо наші розрахунки, визначивши тижневу продуктивність електроенергії, яку забезпечать обрані моделі вітрогенераторів у вересні:

$$N_{VS-003_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 1,82 \cdot 3,3^3 = 118,2 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-005_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 3,06 \cdot 3,3^3 = 198,7 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-01_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 4,62 \cdot 3,3^3 = 300,1 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-003_тиж} = 168 \cdot 118,2 = 19857,6 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-005_тиж} = 168 \cdot 198,7 = 33381,6 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-01_тиж} = 168 \cdot 300,1 = 50416,8 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Нижче представлені розрахунки тижневого вироблення потужності
вибраних моделей вітрогенераторів за жовтень:

$$N_{VS-003_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 1,82 \cdot 3,6^3 = 153,5 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-005_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 3,06 \cdot 3,6^3 = 258 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-01_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 4,62 \cdot 3,6^3 = 389,6 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-003_тиж} = 168 \cdot 153,5 = 25788 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-005_тиж} = 168 \cdot 258 = 43344 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-01_тиж} = 168 \cdot 389,6 = 65452,8 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

За листопад будемо матимемо, що:

$$N_{VS-003_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 1,82 \cdot 3,7^3 = 166,6 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-005_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 3,06 \cdot 3,7^3 = 280,1 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-01_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 4,62 \cdot 3,7^3 = 422,9 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-003_тиж} = 168 \cdot 166,6 = 27988,8 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-005_тиж} = 168 \cdot 280,1 = 47056,8 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

$$N_{VS-01_тиж} = 168 \cdot 422,9 = 71047,2 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

На завершення розрахуємо тижневу продуктивність електроенергії, яку забезпечать обрані моделі вітрогенераторів у грудні:

$$N_{VS-003_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 1,82 \cdot 4,1^3 = 226,8 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-005_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 3,06 \cdot 4,1^3 = 381,1 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-01_год} = 3 \cdot \frac{1,205}{2} \cdot 4,62 \cdot 4,1^3 = 575,5 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-003_тиж} = 168 \cdot 226,8 = 38102,4 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-005_тиж} = 168 \cdot 381,1 = 64024,8 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-01_тиж} = 168 \cdot 575,5 = 96684 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Тепер визначимо середнє тижневе значення виробленої потужності вибраними моделями вітрогенераторів типу «тюльпан» для кожного сезону, використовуючи наступну формулу:

$$N_{ВУ_сер.} = \frac{N_{ВУ_заг._п.р.}}{3}, \quad (3.8)$$

де:

$N_{ВУ_сер.}$ – середнє тижневе значення потужності, виробленої вітрогенератором, за річний період певної пори року, Вт·год;

$N_{ВУ_заг._п.р.}$ – загальне тижневе значення потужності, виробленої вітрогенератором, за річний період певної пори року, Вт·год.

Отже, ми отримаємо, що середнє значення тижневої потужності, виробленої обраними моделями вітрогенераторів у зимовий період, дорівнює:

$$N_{VS-003_зима} = \frac{38102,4 + 35364 + 32776,8}{3} = 35414,4 \text{ Вт} \cdot \text{год} ;$$

$$N_{VS-005_зима} = \frac{64024,8 + 59455,2 + 55255,2}{3} = 59578,4 \text{ Вт} \cdot \text{год} ;$$

$$N_{VS-01_зима} = \frac{96684 + 89786 + 83227,2}{3} = 89899,1 \text{ Вт} \cdot \text{год} .$$

Середнє значення тижневої потужності, виробленої обраними моделями вітрогенераторів, у весняний період дорівнює:

$$N_{VS-003_весна} = \frac{35364 + 30324 + 19857,6}{3} = 28515,2 \text{ Вт} \cdot \text{год} ;$$

$$N_{VS-005_весна} = \frac{59455,2 + 50988 + 33381,6}{3} = 47941,6 \text{ Вт} \cdot \text{год} ;$$

$$N_{VS-01_весна} = \frac{89786 + 76977,6 + 50416,8}{3} = 72393,5 \text{ Вт} \cdot \text{год} .$$

Середнє значення тижневої потужності, виробленої обраними моделями вітрогенераторів влітку, дорівнює:

$$N_{VS-003_весна} = \frac{18110,4 + 16464 + 14918,4}{3} = 16497,6 \text{ Вт} \cdot \text{год} ;$$

$$N_{VS-005_весна} = \frac{30441,6 + 27669,6 + 25082,4}{3} = 27731,2 \text{ Вт} \cdot \text{год} ;$$

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
						42
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{VS-01_весна} = \frac{45964,8 + 41798,4 + 37884}{3} = 41882,4 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Середнє значення тижневої потужності, виробленої обраними моделями вітрогенераторів восени, становить:

$$N_{VS-003_осінь} = \frac{19857,6 + 25788 + 27988,8}{3} = 24544,8 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-005_осінь} = \frac{33381,6 + 43344 + 47056,8}{3} = 41260,8 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-01_осінь} = \frac{50416,8 + 65452,8 + 71047,2}{3} = 62305,6 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Наступним кроком розрахуємо середньорічне значення тижневої потужності, виробленої вибраними моделями вітрогенераторів, за допомогою виразу:

$$N_{ВУ_сер.} = \frac{N_{ВУ_зима} + N_{ВУ_весна} + N_{ВУ_літо} + N_{ВУ_осінь}}{4}. \quad (3.9)$$

Отримаємо, що:

$$N_{VS-003_сер.} = \frac{35414,4 + 28515,2 + 16497,6 + 24544,8}{4} = 26243 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-005_сер.} = \frac{59578,4 + 47941,6 + 27731,2 + 41260,8}{4} = 44128 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-01_сер.} = \frac{89899,1 + 72393,5 + 41882,4 + 62305,6}{4} = 66620 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Роблячи висновок стосовно розрахункових даних бачимо, що, на перший погляд, жодна з вибраних моделей вітрогенератора типу «тюльпан» на задовольняє нашим вимогам, оскільки тижнева потужність споживання побутового електрообладнання в квартирі становить 124215 Вт·год. Однак особливою характеристикою вітрогенераторів типу «тюльпан» є їхня робота в групах по 3-5 одиниць, які розміщуються близько одна до одної, утворюючи так званий «букет» та підвищують загальну ефективність всієї системи на 20–50% через те, що повітряні потоки кожного із вітрогенераторів в групі будуть спрямовані один на одного. Тому перевіримо кожну із обраних моделей вітрогенераторів при роботі в «букеті» із трьох одиниць за виразом 3.10.

$$N_{\text{ВУ}_{\text{сер.}}\text{"букет"}} = \frac{n_{\text{ВГ}} \cdot N_{\text{ВУ}_{\text{сер.}}}}{\beta}, \quad (3.10)$$

де:

$N_{\text{ВУ}_{\text{сер.}}\text{"букет"}}$ – середньорічне значення тижневої потужності, виробленої вибраними моделями вітрогенераторів об'єднаними у «букет», Вт·год;

$N_{\text{ВУ}_{\text{сер.}}}$ – середньорічне значення тижневої потужності, виробленої одним вітрогенератором конкретної обраної моделі,;

$n_{\text{ВГ}}$ – кількість вітрогенераторів в «букеті», шт;

β – коефіцієнт ефективності роботи вітрогенераторів типу тюльпан при роботі в групі (для 3 вітрогенераторів в «букеті» $\beta = 0,5$).

Вт·год

Будемо мати, що:

$$N_{\text{VS-003}_{\text{сер.}}\text{"букет"}} = \frac{3 \cdot 26243}{0,5} = 157458 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{\text{VS-005}_{\text{сер.}}\text{"букет"}} = \frac{3 \cdot 44128}{0,5} = 264768 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$N_{VS-005_сер."букет"} = \frac{3 \cdot 66620}{0,5} = 399720 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Аналізуючи отримані розрахункові дані бачимо, що при роботі в «букеті» із трьох «тюльпанів» абсолютно всі обрані моделі вітрогенераторів тепер задовольняють наші вимоги, але враховуючи той факт, що наша розроблювана система має бути ефективна та відносно дешева, а вітрогенераторів, як ми переконались, нам потрібно 3 шт., зупинимо свій вибір на моделі вітрогенераторів Euro Wind VS-003 «Тюльпан», так як їхня тижнева потужність при роботі в «букеті» становить 157458 Вт·год, при умові, що нам потрібно 124215 Вт·год.

3.6 Розрахунок та вибір типу інвертора

Інвертори – це напівпровідникові пристрої, які здійснюють перетворення електричної енергії з постійного струму в змінний. Вони є важливими для споживачів, які працюють з напругою 220 В і 380 В.

Головним компонентом інвертора є його комутатор, який з певною частотою змінює полярність підключення навантаження до джерела постійного струму, що, в свою чергу, створює змінний струм у навантаженні. Керування комутатором інвертора виконується за допомогою електронної схеми, яка в сучасних інверторах реалізується на базі мікроконтролерів. Додатково, вона може включати трансформатор для підвищення або зниження вихідної напруги, фільтри, а також різноманітні пристрої для захисту, стабілізації тощо.

Усі наявні на сьогодні моделі інверторів можна класифікувати на три основні категорії:

- мережеві інвертори;
- автономні інвертори;
- гібридні інвертори.

Вихідний каскад усіх зазначених типів інверторів має багато спільних рис, а головна відмінність полягає в схемі їхнього керування.

Мережевий інвертор має генератор частоти, автономний інвертор працює в синхронізації з промисловою мережею, а гібридний інвертор поєднує функції обох попередніх типів. Однак, незалежно від типу інвертора, його коефіцієнт корисної дії повинен бути високим і перевищувати 90%.

Усі автономні інвертори перетворюють постійний струм, що надходить з акумуляторів. Тому вхідна напруга для таких пристроїв повинна обиратися з ряду стандартних значень: 12, 24, 48, 120 В та більше. Чим вищим є вибране значення вхідної напруги, тим простішою буде конструкція інвертора і вищим його коефіцієнт корисної дії. Щодо форми вихідного сигналу автономних інверторів, вимоги є менш суворими. Важливим параметром для автономного інвертора є залежність його коефіцієнта корисної дії від номінальної потужності підключеного навантаження. Іншими словами, він не повинен суттєво знижуватися при підключенні навантаження, яке в десять разів менше за номінальну потужність самого інвертора.

Щодо інверторів мережевого типу, до їх вихідного сигналу пред'являються досить жорсткі вимоги. Для зменшення втрат під час перетворення постійного струму в змінний, такі інвертори зазвичай функціонують з високими вхідними напругами. Оскільки їх вхідні кола живляться від альтернативних джерел електричної енергії, вони також обладнані регуляторами максимальної потужності.

Раніше, у підрозділі 3.2 цього дипломного проєкту ми розглянули загальні принципи створення вітрогенераторної системи альтернативного живлення. Проте остаточне рішення щодо вибору структури самої системи було відкладено до моменту проведення аеродинамічного розрахунку вітрогенератора, вибору його моделі, необхідної кількості, що ми здійснили в підрозділі 3.5.

Отже, тепер ми можемо чітко визначити, що з усіх представлених структур вітрогенераторних систем альтернативного живлення нас цікавить автономно-мережева вітрогенераторна система. Цей вибір зумовлений тим, що обрана модель вітрогенератора має високу потужність, і для уникнення його бездіяльності при повній зарядці акумуляторів (як це відбувається в звичайних автономних системах) доцільно використовувати його для економічно вигідних цілей. Це означає, що вироблена електроенергія буде продаватися назад в мережу, що, в свою чергу, сприятиме скороченню терміну окупності всієї розробленої системи.

З огляду на вищезазначене, можна зробити висновок, що для вирішення поставленої задачі нам потрібен автономно-мережевий тип інвертора, який ще називають гібридним. Проте, перш ніж вибрати модель гібридного інвертора, необхідно визначити енергію постійного струму, враховуючи втрати в самому інверторі та його потужність.

Енергію постійного струму, враховуючи втрати інвертора, можна обчислити за наступною формулою:

$$E_{\text{інверт.}} = k \cdot \sum P_{\text{сп_тижд.}}, \quad (3.11)$$

де:

$E_{\text{інверт.}}$ – енергія постійного струму інвертора, Вт·год;

k – коефіцієнт втрат потужності інвертора (приймається за 1,2);

$\sum P_{\text{сп_тижд.}}$ – загальна тижнева потужність споживання всіх споживачів в квартирі, Вт·год.

Будемо мати, що:

$$E_{\text{інверт.}} = 1,2 \cdot 124215 = 149058 \text{ Вт·год.}$$

Наступним кроком здійснимо розрахунок потужності самого інвертора:

$$P_{\text{інверт.}} = \frac{E_{\text{інверт.}} \cdot \gamma}{n_{\text{рд.інв.}}}, \quad (3.12)$$

де:

$P_{\text{інверт.}}$ – потужність інвертора, Вт;

$n_{\text{рд.інв.}}$ – кількість робочих діб інвертора за тиждень.

γ – коефіцієнт потужності інвертора (його приймають рівним значенню від 0,2 до 0,3).

Отримаємо:

$$P_{\text{інверт.}} = \frac{149058 \cdot 0,3}{7} = 6388,2 \text{ Вт.}$$

Отже, з урахуванням наведених вище результатів розрахунків, оберемо гібридний однофазний інвертор від компанії Solar Power модель Jarrett JAB потужністю 6,5 кВт (див. рис. 3.8).



Рисунок 3.8 – Гібридний інвертор Solar Power модель Jarrett JAB - 6,5 кВт

Обрана модель гібридного інвертора вже укомплектована зарядним пристроєм для заряджання акумуляторних батарей. При чому він дозволяє це

робити як від основної мережі, так і від джерела нетрадиційної електроенергетики, а тому може зробити нашу розроблювану систему альтернативного живлення більш гнучкою і в разі необхідності, при відсутності вітру, резервні акумулятори системи все одно можна буде тримати завжди зарядженими. Технічні характеристики обраної моделі інвертора Solar Power моделі Jarrett JAB - 6,5 кВт наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики гібридного інвертора Solar Power моделі Jarrett JAB - 6,5 кВт

ІНВЕРТОРНИЙ РЕЖИМ	
Номінальна потужність	6500 Вт
Вхідна постійна напруга	від 24 до 48 В
Вхідний постійний струм	150 А
Вихідна змінна напруга	230 В
Вихідний змінний струм	28,2 А
Частота змінного струму	50/60 Гц
Кількість фаз	1 фаза
РЕЖИМ ЗАРЯДНОГО ПРИСТРОЮ (ЗМІННИЙ СТРУМ)	
Вхід	230 В (АС), 50/60 Гц, 28,2 А, 1 фаза
Вихід	54 В (DC)
Максимальний зарядний струм	110А
РЕЖИМ ЗАРЯДНОГО ПРИСТРОЮ (ВІТРОГЕНЕРАТОРНА СИСТЕМА)	
Номінальна потужність	7200 Вт
Максимальний зарядний струм	130 А
Діапазон напруг МРРТ	від 54 до 450 В (DC)
ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Ступінь захисту	IP21
Клас захисту	1
Діапазон робочих температур	0-55 °С
Максимальна ефективність	> 98%

3.7 Розрахунок та вибір типу акумуляторних батарей

Акумуляторні батареї виконують роль джерел електричного струму, які можна використовувати багаторазово. Основною їхньою характеристикою є можливість експлуатації після заряджання протягом певного часу, встановленого виробником.

Ємність акумуляторної батареї є важливою характеристикою, що визначає, як довго батарея може забезпечувати електроживлення споживача

та підтримувати його автономну роботу при певному навантаженні. Цей показник значно впливає на ціну батареї, її призначення та термін експлуатації. Ємність акумуляторної батареї вимірюється в амперах на годину (А·год). Щоб розрахувати ємність акумуляторних батарей, необхідну для реалізації енергозберігаючої системи електропостачання однокімнатної квартири на базі вітрогенератора в рамках цього дипломного проєкту, ми використаємо стандартний вираз:

$$C_{AB_заг.} = \frac{\sum P_{сп} \cdot t}{U \cdot k}, \quad (3.13)$$

де:

$C_{AB_заг.}$ – загальна ємність акумуляторних батарей, А·год;

$\sum P_{сп}$ – загальна потужність всіх побутових споживачів в квартирі, Вт;

t – тривалість роботи акумуляторних батарей, год.;

k – коефіцієнт, що показує, яка частина ємності акумуляторних батарей використовується;

U – напруга акумуляторних батарей, В.

Значення коефіцієнта k , що компенсує ситуацію неповного заряду батареї, зазвичай приймають за 0,95, що відповідає 95 %.

Також для розрахунку ємності акумуляторних батарей нам необхідно визначити загальну потужність всіх побутових споживачів, які знаходяться в нашому квартирному приміщенні. Для цього скористаємось даними із таблиці 3.1 та виразом 3.14:

$$\sum P_{сп} = P_{сп1} + P_{сп2} + \dots + P_{спN}, \quad (3.14)$$

де:

$P_{сп}$ – потужність конкретного побутового споживача (навантаження) визначеного типу (наприклад: холодильник, бойлер, кондиціонер і т. д.), Вт.

Отже за виразом 3.14 будемо мати:

$$\begin{aligned}\sum P_{\text{сп}} &= 240 + 100 + 300 + 170 + 150 + 1500 + 100 + 1200 + \\ &+ 750 + 2000 + 100 + 2000 + 135 + 1500 + 1500 + 1000 = \\ &= 12745 \text{ Вт.}\end{aligned}$$

Час роботи акумуляторних батарей в нашій розроблюваній системі приймаємо рівним значенню $t = 2$ год., а коефіцієнт $k = 0,95$. Напругу акумуляторних батарей, які будемо використовувати приймаємо $U = 24$ В (у відповідності до вибраного інвертора). Тоді за виразом 3.13 будемо мати, що:

$$C_{\text{АБ заг.}} = \frac{12745 \cdot 2}{24 \cdot 0,95} = 1118 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

Сьогодні в Україні представлений широкий асортимент акумуляторних батарей, ціни на які залежать від їх ємності. На мою думку, найкращим вибором буде модель акумулятора з максимальною ємністю, проте варто враховувати і її вартість, щоб наша розроблювана система залишалася економічно вигідною. До того ж, в нашому випадку, маленька ємність акумуляторів, хоча вони і дешевші, збільшить їх загальну кількість, а ми обмежені невеликою площею квартири, бо вона в нас є однокімнатною.

Отже, для реалізації системи альтернативного живлення квартири на базі вітрогенераторів типу «тюльпан» я вибрав літій-залізо-фосфатну (LiFePO₄) акумуляторну батарею від компанії-виробника Power Plant модель LFP24200 з ємністю 200 А·год та напругою 24 В. Середня вартість цієї батареї становить 30100 грн. Модель обраної батареї представлена на рисунку 3.9.



Рисунок 3.9 – акумуляторна Батарея компанії-виробника Power Plant модель LFP24200

На наступному етапі визначимо необхідну кількість акумуляторних батарей обраної моделі, використовуючи вираз:

$$n_{AB} = \frac{C_{AB \text{ заг.}}}{C_{AB}}, \quad (3.15)$$

де:

n_{AB} – загальна кількість акумуляторних батарей, шт.;

$C_{AB \text{ заг.}}$ – загальна ємність акумуляторних батарей, А·год;

C_{AB} – ємність вибраної моделі акумулятора, А·год.

Отже, отримаємо, що:

$$n_{AB} = \frac{1118}{200} = 5,6 \text{ шт.} \approx 6 \text{ шт.}$$

3.8 Вибір пристрою автоматичного ввімкнення резерву

Пристрій автоматичного ввімкнення резерву (ABP) – це апарат, що забезпечує автоматичне переключення живлення навантаження, яке

отримується з кількох незалежних джерел електроживлення, у випадку, якщо вхідна напруга виходить за допустимі межі. Блок керування АВР аналізує інформацію про стан електромережі і, в разі виявлення несправностей, надсилає відповідні команди на комутуючі елементи для перерозподілу живлення.

Блок управління автоматичним ввімкненням резерву (АВР) розробляється на основі реле (напруги, контролю фаз або часу) або програмованих контролерів. У якості комутуючих елементів зазвичай застосовують магнітні або тиристорні контактори, автоматичні та керовані вимикачі з моторизованими приводами, соленоїдні рубильники тощо.

Для запобігання одночасному включенню резервного та основного живлення, пристрої автоматичного вводу резерву (АВР) забезпечують електричне та механічне блокування контакторів. Електричне взаємне блокування здійснюється за допомогою допоміжних реле, які підключені до шин живлення комутаторів. Механічне блокування, в свою чергу, встановлюється безпосередньо на контакторах і заважає руху їх елементів.

На сьогоднішній день існує безліч різних компаній, що виробляють пристрої автоматичного вводу резерву (АВР). Тому наше завдання полягає в тому, щоб вибрати відповідний пристрій, спираючись на попередні розрахунки та обране обладнання для реалізації системи альтернативного живлення однокімнатної квартири на базі вітрових установок типу «Тюльпан».

Особливу увагу слід приділити номінальній потужності вітрогенераторної установки яка складається із трьох вітрогенераторів, кожен з яких має номінальну потужність 300 Вт, тобто загальна їх потужність при роботі в групі становитиме близько 900Вт.

Таким чином, для наших цілей виберемо пристрій автоматичного введення резерву компанії-виробника Mezeen модель MZQ3-2P, який зображено на рисунку 3.10, а його технічні характеристики представлені в таблиці 3.4.

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
						53
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.10 – Пристрій автоматично введення резерву Mezeen MZQ3-2P

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики пристрою автоматично введення резерву Mezeen MZQ3-2P

Фазність мережі	однофазний
Максимальна потужність системи резервного живлення (генератора, ВЕУ, ФЕУ), Вт	1200
Максимальний струм системи резервного живлення (генератора, ВЕУ, ФЕУ), А	125
Номінальна частота мережі, Гц	50
Напруга мережі, В	230
Ступінь захисту	IP 54
Кількість контрольованих вводів, шт	2
Час перемикання між вводами (max), с	0,05

3.9 Вибір лічильника обліку електричної енергії

Для контролю споживаної та виробленої електроенергії в системі альтернативного енергозабезпечення нашої однокімнатної квартири, що розробляється в рамках цього дипломного проєкту, потрібно встановити електричний лічильник.

Щоб обрати тип лічильника, слід проаналізувати інформацію, представлену в таблиці 3.5, де порівнюються сучасні типи лічильників, зокрема індукційні та електронні.

Таблиця 3.5 – Порівняння електронних та індукційних лічильників

ЕЛЕКТРОННІ ЛІЧІЛЬНИКИ	ІНДУКЦІЙНІ ЛІЧІЛЬНИКИ
Переваги:	Переваги:
1	2
1. високий клас точності (0,2-0,5%); 2. збереження точності в умовах низьких і швидкозмінних навантажень; 3. багатотарифність; 4. можливість тривалого зберігання даних обліку; 5. можливість фіксації несанкціонованого доступу і випадків розкрадання електроенергії; 6. можливість дистанційного знімання показників; 7. можливість використання АСКОЕ; 8. можливість обліку різних видів енергії одним приладом.	1. низька вартість; 2. надійність та довговічність; 3. безвідмовна робота із заданою точністю протягом кількох десятиків років.
Недоліки:	Недоліки:
1. висока вартість; 2. незахищеність від комутаційних і грозових перепадів напруги.	1. низький клас точності (не більше 2,0%); 2. зростання похибки виміру при зниженні навантаження; 3. порушення метрологічних характеристик при швидкозмінному навантаженні; 4. порушення метрологічних характеристик при несинусоїдному струмі; 5. слабкий захист від традиційних методів розкрадання електроенергії; 6. обмежені можливості дистанційного знімання даних; 7. підвищене власне енергоспоживання.

Враховуючи всі переваги та недоліки електронних та індукційних лічильників, а також специфіку нашої системи альтернативного енергозабезпечення, приймаємо рішення обрати лічильник обліку електроенергії електронного типу.

Серед доступних на українському ринку електронних лічильників, з урахуванням критерію «ціна/якість», зупинимо свій вибір на моделі однофазного електронного лічильника для «зеленого» тарифу компанії-виробника «Matrix АММ», модель MTX 1G10.DH.2L2-DOG4 5(60) A, 220 В.

Обраний лічильник призначений для обліку електроенергії в однофазних мережах з номінальною напругою 220 В та максимальною силою струму 60 А.

Модель обраного лічильника зображено на рисунку 3.11.



Рисунок 3.11 – Електронний лічильник «Matrix АММ» модель МТХ
1G10.DH.2L2-DOG4

4 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЄКТУ

4.1 Розрахунок капітальних затрат проєкту

У цьому дипломному проєкті була розроблена система альтернативного живлення для однокімнатної квартири, що ґрунтується на вітрових установках типу «тюльпан», тому задачі поставлені в даному розділі полягатимуть у проведенні аналізу капітальних та експлуатаційних витрат, пов'язаних із реалізацією розробленої системи, а також виконанню розрахунку терміну її окупності. Це дозволить оцінити економічну ефективність системи. Важливо врахувати не лише вартість всього обладнання, але й витрати на обслуговування елементів системи протягом 10 років її експлуатації. Витрати на обслуговування елементів системи ми будемо оцінюємо на рівні 1% від вартості всього устаткування.

Виконуючи кошторисний аналіз першочерговим є визначення загальної річної вартості нашої розробленої системи альтернативного живлення – ТАС (Total Annualized Cost) за допомогою виразу:

$$TAC = \frac{TLCC}{CPWF}, \quad (4.1)$$

де:

TLCC (Total Life Cycle Cost) – загальна вартість розробленої системи впродовж всього періоду її експлуатації, грн;

CPWF (Cumulative Present Worth Factor) – комплексний чинник реальної вартості розробленої системи, грн.

					ДП.141.042.018.ПЗ		
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	4 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЄКТУ		
Розробив	Талько К.Р.						
Перевір	Антипчук Б.О.						
Н. Контр.	Антипчук Б.О.						
Затв.	Лавріщев О.О.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
					У	57	74
					ЖАТФК, Гр. Е-42		

Капітальні витрати – це фінансові ресурси, які використовуються для створення та придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації. Ці витрати є важливим показником для економічної оцінки ефективності розробленої системи. У таблиці 4.1 представлені всі капітальні витрати, необхідні для впровадження системи, розробленої в рамках цього дипломного проєкту.

Таблиця 4.1 – Витрати на капітальні інвестиції в розроблену систему

№	Назва технічних матеріалів	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
1	Euro Wind VS-003 «Тюльпан»	3	25357	76071
2	Гібридний інвертор Solar Power / Jarrett JAB - 6,5 кВт	1	26000	26000
3	Акумуляторна батарея Power Plant / LFP24200	6	30100	180000
4	Пристрій ABP Mezeen MZQ3-2P	1	1958	1958
5	Електронний лічильник «Matrix АММ» MTX 1G10.DH.2L2-DOG4	1	2500	1974
6	Розхідні матеріали та кабелі	-----	5000	4000
Разом:				264003

Вартість монтажу та налагодження буде розрахована за допомогою виразу:

$$K_{MH} = \sum (C_i \cdot a \cdot t_i) \cdot K_D \cdot K_{CM} \cdot K_{PP}, \quad (4.2)$$

де:

C_i – кількість працівників i -го розряду, які потрібні для виконання визначеного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт;

a – годинна тарифна ставка працівника i -го розряду, грн;

t_i – час, необхідний для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт, год.;

$K_D = 1,1 \dots 1,5$ – коефіцієнт, який враховує величину доплат;

$K_{CM} = 1,22$ – коефіцієнт, який враховує внески на соціальні програми;

$K_{PP} = 1,1 \dots 1,5$ – коефіцієнт, який враховує додаткові витрати на виконання монтажних (налагоджувальних) робіт.

Вартість монтажних і налагоджувальних робіт буде встановлена відповідно до основних договірних цін та тарифів компанії «Electrolight», яка спеціалізується на електромонтажних роботах різного виду. За інформаційним листом компанії «Electrolight» тарифна ставка їхніх працівників становить 135,8 грн/год., а тривалість монтажних та налагоджуваних робіт необхідних для встановлення розробленої нами системи займатиме від 6 до 10 робочих годин. Отже, у відповідності до виразу 4.2, ми отримаємо:

$$K_{MH} = (2 \cdot 135,8 \cdot 8) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,5 = 4373,9 \text{ грн.}$$

Витрати на транспортування визначаються відповідно до тарифів компанії ТОВ «Car and Bus», маси вантажу та відстані до складів постачальника. За розрахунками перевізника, доставка 6 вантажних місць загальною масою до 0,5т обійдеться в 5745 грн.

Отже, наступним кроком визначимо капітальні витрати розробленої системи, використовуючи вираз:

$$K = K_{OB} + K_{TP} + K_{MH}, \quad (4.3)$$

де:

K_{OB} – вартість обладнання за підсумком витрат (без ПДВ), грн;

K_{TP} – транспортні, заготівельні та складські витрати, грн;

K_{MH} – витрати на монтажні та налагоджувальні роботи, грн.

Отримаємо, що:

$$K = 264003 + 5745 + 4373,9 = 274121,9 \text{ грн.}$$

Отже, загальні капітальні витрати на реалізацію розробленої нами системи альтернативного живлення однокімнатної квартири, що ґрунтується на вітрових установках типу «тюльпан» становитимуть 274121,9 грн.

4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат проекту

Витрати на експлуатацію та обслуговування розробленої системи в нашому проєкті протягом певного періоду та виражені в грошовому еквіваленті мають назву експлуатаційних витрат. Основні компоненти експлуатаційних витрат для електротехнічного обладнання та енергетичних мереж включають: амортизаційні відрахування (C_a); витрати на спожиту електроенергію (C_e); заробітну плату обслуговуючого персоналу та внески на соціальні заходи (C_3); витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання (C_T); інші витрати ($C_{ін}$). Таким чином, річні експлуатаційні витрати для проєктованої системи складають:

$$C = C_a + C_e + C_3 + C_T + C_{ін} . \quad (4.4)$$

Розроблена нами система альтернативного живлення квартири на базі вітрогенераторів типу «тюльпан», є повністю автономною і не потребує постійної присутності оператора або обслуговуючого персоналу. Всі планові обслуговування будуть проводитися господарями квартири, тому витрати на обслуговування (C_3) та інвестиційні витрати ($C_{ін}$) приймаємо рівними нулю.

Амортизаційні відрахування системи розраховується з урахуванням тривалості його експлуатації, очікуваних економічних вигод, технічних характеристик основної системи, фізичного зносу та інших факторів, що можуть вплинути на його використання. Термін ефективного використання встановленого обладнання становить 10 років. За прямолінійним методом норма амортизації залишається сталою протягом усього амортизаційного періоду і становить:

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
						60
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H_a = \frac{K}{K \cdot T_n} \cdot 100\%, \quad (4.5)$$

де:

T_n – амортизаційний період розробленої системи, років;

K – капітальні витрати розробленої системи, грн.

Отже, нашої системи альтернативного живлення норма амортизації становитиме:

$$H_a = \frac{274121,9}{274121,9 \cdot 10} \cdot 100\% = 10\%.$$

Далі визначимо суму річних амортизаційних відрахувань виразом:

$$C_a = \frac{K \cdot H_a}{100}, \quad (4.6)$$

де:

H_a – норма амортизації, %.

Отримаємо:

$$C_a = \frac{274121,9 \cdot 10}{100} = 27412,2 \text{ грн.}$$

Щоб визначити щорічні витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання нашої розробленої системи, слід врахувати витрати на матеріали, запасні частини та заробітну плату ремонтників. Ці витрати можуть становити приблизно 1% від загальних капітальних витрат:

$$C_T = 0,01 \cdot K. \quad (4.7)$$

Отримаємо:

$$C_T = 0,01 \cdot 274121,9 = 2741,2 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати по проєктованій системі розраховуємо за виразом 4.4. Вони будуть становити:

$$C = 27412,2 + 0 + 0 + 2741,2 = 30155,4 \text{ грн.}$$

4.3 Розрахунок терміну окупності розробленої систем

На сьогоднішній день встановлення систем електропостачання, які базуються на використанні нетрадиційних джерел електроенергії є доволі затратним з точки зору вкладених інвестицій, але їх обслуговування виявляється менш енергоємним. Тому, основна вартість, яку треба буде окупити – це вартість основних капітальних витрат.

Структура системи альтернативного живлення, яку ми спроектували та розробили є автономно-мережевою, а отже енергія, яка вироблятиметься нашою системою, буде використовуватись для живлення побутових електроприладів в квартирі, деяка частина піде на заряджання акумуляторних батарей, а при наявності надлишку, може бути реалізована в міську електромережу.

Відповідно до закону України №514-VIII, ухваленого 04.06.2015р., та постанови НКРЕКП №725 від 25.03.2020р., встановлено такі ставки «зеленого» тарифу: з 1 січня 2023 року до 31 грудня 2024р. року ставка становитиме 0,163 євро або 6,81 гривні.

Розрахуємо річний обсяг виробництва електроенергії нашою системою альтернативного енергозабезпечення, використовуючи наступну формулу:

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

$$W = N_{VS-003_сер."букет"} \cdot n_{тижнів} \quad (4.8)$$

де:

W – річний обсяг виробництва електроенергії розробленою системою альтернативного енергозабезпечення, кВт·год;

$n_{тижнів}$ – кількість тижнів в році, шт.;

$N_{VS-003_сер."букет"}$ – середньорічне значення тижневої потужності, виробленої обраною моделлю вітрогенераторів об'єднаних у «букет» із трьох штук (див. вираз 3.10), Вт·год.

Будемо мати, що:

$$W = 157458 \cdot 52 = 8187816 \text{ Вт} \cdot \text{год.} = 8187,82 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Таким чином, річний дохід від впровадженої нашої системи альтернативного енергозабезпечення однокімнатної квартири, що базується на вітрогенераторах типу «тюльпан», складе:

$$Y_{\text{розробленої системи}} = 6,81 \text{ грн} \cdot W, \quad (4.9)$$

де:

$Y_{\text{розробленої системи}}$ – щорічний дохід від експлуатації розробленої системи альтернативного енергозабезпечення, грн.

Отримаємо:

$$Y_{\text{розробленої системи}} = 6,81 \text{ грн} \cdot 8187,82 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 55759,1 \text{ грн}.$$

Для розрахунку терміну окупності системи альтернативного енергозабезпечення однокімнатної квартири, яка функціонує на основі вітрогенераторів типу «тюльпан», застосуємо наступний вираз:

$$T_{\text{резервне живлення}} = \frac{K}{Y_{\text{розробленої системи}}}, \quad (4.10)$$

Матимемо, що:

$$T_{\text{резервне живлення}} = \frac{274121,9}{55759,1} = 4,9 \text{ роки.}$$

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Безпека праці при монтажу та експлуатації вітрогенератора

Експлуатація вітроенергетичної установки потребує ретельного та відповідального підходу. Компоненти, що входять до її складу, можуть стати джерелом підвищеної небезпеки при неналежному використанні або в умовах складної погоди.

Найпоширенішими інцидентами під час монтажу вітрових електричних установок є травми кінцівок і пальців рук, затискання або потрапляння між рухомими та обертовими частинами обладнання, приводами лопатей і роторами ВЕУ, контакт з ріжучими та відрізними елементами електроінструментів, а також аварії, пов'язані з перекиданням вантажопідіймальних кранів, навантажувачів тощо. Найпоширенішими інцидентами під час монтажу вітрових електричних установок є травми кінцівок і пальців рук, затискання або потрапляння між рухомими та обертовими частинами обладнання, приводами лопатей і роторами ВЕУ, контакт з ріжучими та відрізними елементами електроінструментів, а також аварії, пов'язані з перекиданням вантажопідіймальних кранів, навантажувачів тощо.

Для того, щоб уникнути травм під час монтажу та експлуатації ВЕУ, потрібно засвоїти основні правила безпеки. Саме перше правило – не проводити монтаж вітроустановки в дощову та вітряну погоду; після розпакування вітрогенератора слід закоротити всі його виводи, тобто скрутити оголені частини дроту разом, щоб запобігти обертанню колеса вітрогенератора; перед установкою вітрогенераторів слід забезпечити монтаж захисту заземлювального обладнання, це обладнання може бути

					ДП.141.042.018.ПЗ		
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	5 ОХОРОНА ПРАЦІ		
Розробив	Талько К.Р.						
Перевір	Антипчук Б.О.						
Н. Контр.	Антипчук Б.О.						
Затв.	Лавріщев О.О.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
					У	65	74
					ЖАТФК, Гр. Е-42		

розміщене відповідно до національних стандартів, а також з урахуванням місцевих умов навколишнього середовища та типу ґрунту, щоб організувати ефективну систему захисту та заземлення; під час монтажу забороняється різко обертати лопаті вітрогенератора, лише після завершення всіх установчих робіт і проведення перевірок, а також для забезпечення безпеки персоналу, необхідно відключити зазначену клему короткого замикання, яка підключена до електрообладнання та навантаження, перед початком пробної експлуатації; під час монтажу користуватися лише за ізольованими якісними інструментами; не використовувати занадто тонкий або неякісний кабель, щоб не спричинити пожежу; не розміщувати вітрову турбіну в корозійному середовищі або в середовищі із сильними електромагнітними перешкодами; навколо вітрогенератора має бути вільний простір; якщо вітрогенератор встановлюється для автономної системи, то потрібно обирати якісну батарею відомих марок, щоб уникнути корозії або пожежі та горіння.

Після встановлення вітроелектричної установки важливо забезпечити її правильну експлуатацію. Регулярно проводьте технічне обслуговування обладнання. Не намагайтеся самостійно виконувати ремонт або обслуговування вітроенергетичної установки – ці роботи повинні виконувати кваліфіковані фахівці. При отриманні обладнання перевірте стан основних його вузлів. Не допускайте до експлуатації вітроелектричної установки осіб, які не пройшли необхідне навчання. Також не дозволяйте дітям наближатися до компонентів вітроенергетичної установки, незалежно від стану системи.

Перед початком експлуатації слід уважно оглянути вітрогенератор, щоб переконатися в надійності кріплення лопатей, щогли та всіх фланцевих з'єднань. Необхідно перевірити, чи немає пошкоджень ізоляції проводів. Під час роботи вітрогенератора забороняється торкатися проводів і робочої турбіни. Запуск вітрогенератора має здійснюватися без підключеного навантаження. Потужність передбачуваного навантаження не повинна перевищувати потужність інвертора, підключеного до системи.

Електробезпека є надзвичайно важливим аспектом при експлуатації вітрогенератора, оскільки він оснащений складними електронними компонентами, для яких було передбачено захист від небезпечних електричних джерел, пов'язаних з високими струмами. При підключенні вітрогенератора та інших електротехнічних пристроїв слід пам'ятати про ризики, які можуть виникнути через протікання електричного струму. В електротехнічних системах виділення тепла часто є наслідком проходження надмірного струму через дроти з недостатнім перетином або через ненадійні контакти. Акумулятори можуть генерувати струми, що становлять небезпеку. У разі короткого замикання в проводах, що підключені до акумулятора, може виникнути пожежа. Щоб зменшити цей ризик, важливо встановити в ланцюгах, що підключаються до акумулятора, плавкі запобіжники або автоматичні вимикачі відповідного номіналу.

Не слід торкатися до оголених електричних проводів та підключених роз'ємів. Уникайте контакту з компонентами ВЕУ вологими руками. Забороняється допускати потрапляння рідини на компоненти ВЕУ (за винятком вітрогенератора і щогли) та розміщувати їх на вологих поверхнях. Слідкуйте за тим, щоб електричні проводи та роз'єми були в належному стані. Не використовуйте обладнання, яке має несправності, оскільки це може призвести до аварій та ураження електричним струмом. Не підключайте ВЕУ до інших джерел електричного живлення, таких як місцева електромережа. Якщо передбачено резервне підключення іншого джерела, воно повинно виконуватися кваліфікованим персоналом з урахуванням специфіки роботи обладнання.

Підключення до розподільних мереж об'єкта повинно здійснюватися кваліфікованим персоналом під час монтажу вітроенергетичної установки, дотримуючись усіх норм і правил улаштування електроустановок. Важливо тримати всі легкозаймисті та вибухонебезпечні речовини (бензин, масло, ганчір'я тощо) на відстані від компонентів вітрової електричної установки. Забороняється експлуатувати компоненти ВЕУ в умовах вибухонебезпечного

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

середовища, оскільки в електричних частинах може виникати іскріння. Механічна безпека також є важливою: обертові лопаті становлять значну небезпеку. Лопаті ротора вітрогенератора виготовлені з надзвичайно міцного матеріалу.

Швидкість обертання лопатей на зовнішньому діаметрі може бути дуже високою. При таких швидкостях лопаті здатні завдати серйозних травм. Тому категорично забороняється встановлювати турбіну в місцях, де можливий контакт людини з рухомими лопатями ротора. Необхідно уникати розташування турбіни так, щоб хтось міг опинитися на шляху лопатей. Також забороняється зупиняти вітроколесо під час роботи вітротурбіни, оскільки це дуже небезпечно. Всі роботи з обслуговування вітрогенератора слід виконувати лише при повній зупинці вітроколеса і в безвітряну погоду.

5.2 Пожежна безпека при експлуатації вітрогенератора

Пожежа спричиняє значні матеріальні втрати, тому її слід уникати, дотримуючись всіх правил пожежної безпеки.

Причини виникнення пожеж у вітроелектричних установках включають:

- іскріння в електричному роторі та комутаційних з'єднаннях;
- короткі замикання та перевантаження, які можуть призвести до займання ізоляції;
- іскріння, викликане електростатичними розрядами та ударами блискавки;
- ненадійні контакти в з'єднаннях проводів;
- електричні дуги між контактами комутаційних пристроїв;
- електричні дуги під час зварювальних робіт;
- перевантаження або коротке замикання в обмотках трансформатора через несправність релейного захисту.
-

Причинами пожеж, що не пов'язані з електрикою, можуть бути:

- недбале використання вогню під час газозварювальних робіт або роботи з паяльною лампою;
- поломки печей і опалювальних пристроїв;
- несправності виробничого обладнання (перегрів підшипників, механічне іскріння);
- самозаймання окремих матеріалів.

Якщо електроустановка, що горить, не відключена і залишається під напругою, гасіння може призвести до небезпеки ураження електричним струмом. Зазвичай, гасити пожежу в електрообладнанні слід лише після зняття з нього напруги. Якщо зняти напругу неможливо, допускається гасіння під напругою, але з дотриманням особливих заходів безпеки. Порошковий вогнегасник типу ОПС-10 заповнюється сухим вогнегасним порошком (кальцинованою або двовуглекислою содою, поташем тощо). Він складається з балона об'ємом 10 л, заповненого вогнегасним порошком, до якого прикріплений балон з інертним газом (азотом), що знаходиться під тиском близько 15 МПа. При відкритті вентиля порошок виштовхується з балона під тиском газу в шланг, а потім через розтруб подається до місця загоряння.

Для забезпечення безпечних умов праці співробітників під час монтажу та експлуатації вітрогенератора важливо дотримуватись наведених норм і правил поведінки. Процеси отримання електроенергії за допомогою вітроенергетичних установок пов'язані з ризиком ураження електричним струмом та травмування внаслідок руху механічних частин. Тому необхідно суворо дотримуватись технологічного режиму та правил експлуатації цих установок відповідно до затверджених нормативів і Правил улаштування електроустановок.

ВИСНОВКИ

В даному дипломному проекті було розроблено систему альтернативного живлення однокімнатної квартири на базі вітрових установок типу «тюльпан». В ході виконання дипломного проекту було проведено розрахунок середньої потужності споживання електроенергії навантаженням квартирному приміщенню, здійснено детальний аналіз існуючих можливих технічних рішень по реалізації розроблюваної системи, виконано аеродинамічний розрахунок і оптимальний вибір моделі вітрогенератора типу «тюльпан» та їх необхідної кількості. Обрано модель системи електроживлення на основі вітрогенераторів, а саме – автономно-мережеву. Розраховано та вибрано тип та модель інвертора; тип, модель та кількість акумуляторних батарей; тип та модель пристрою АВР, а також лічильника «зеленого тарифу».

З точки зору розрахованої економічної ефективності, то розроблена система альтернативного живлення однокімнатної квартири на базі вітрових установок типу «тюльпан» має термін окупності 4,9 роки, що з точки зору ціни обладнання необхідного для реалізації системи, є доволі непоганим показником, так як ціни на обладнання прив'язані до курсу міжнародних валют та мають досить високу вартість у гривневому еквіваленті через нестабільну економічну ситуацію в Україні.

					ДП.141.042.018.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Талько К.Р.				ВИСНОВКИ		
Перевір	Антипчук Б.О.						
Н. Контр.	Антипчук Б.О.				ЖАТФК, Гр. Е-42		
Затв.	Лавріщев О.О.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
					У	70	74

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Безпека в вітроенергетиці. Ч. 1. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/безпека-в-вітроенергетиці-частина-1-anastasiia-oliinyk>
2. Головка В. М. та ін. Підвищення потужності генератора вітроустановки за рахунок зменшення повітряного проміжку між статором і ротором / В. М. Головка, Є. М. Дубчак, О. Ю. Заморока // Відновлювальна енергетика : наук. журнал. 2020. № 1. С. 36-41.
3. Електроенергія з енергії вітру для вашої родини. URL: https://cg.gov.ua/web_docs/1/2019/01/docs/Power_from_wind_ua.pdf
4. Енергетичні установки на основі використання енергії вітру // Відновлювальна енергетика навч. посібник / В. М. Синглазов, О. А. Зеленков, Ш. І. Аскеров, Б. І. Дмитренко. Київ : Освіта України, 2015. С. 44-130.
5. Інструкція з монтажу та використання вітрогенератора Х-типу. URL: https://sealing.com.ua/wa-data/public/site/docs/R&X-Energy_Manual_X-type.pdf?v58
6. Комплекси генерування електроенергії з функціями компенсації реактивної потужності та активної фільтрації на базі машини подвійного живлення : монографія / І. А. Шаповал, В. М. Михальський, М. Ю. Артеменко [та ін.]. Київ : Ін
7. Лесько В. О. та ін. Оцінка ефективності вітрогенераторів в реальних умовах з додатковими експлуатаційними витратами / В. О. Лесько, К. Б. Покровський, Р. Я. Ференсович // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2022. № 6. С. 37

					ДП.141.042.018.ПЗ						
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата							
Розробив	Талько К.Р.				СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір	Антипчук Б.О.								У	71	74
									ЖАТФК, Гр. Е-42		
Н. Контр.	Антипчук Б.О.										
Затв.	Лаврищев О.О.										

8. Медвідь А. М., Панченко А. О. Зменшення негативного впливу на довкілля за рахунок використання вітродвигуна коливального руху // Актуальні проблеми енергетики та екології : зб. наук. праць за мат. XVIII Всеукр. наук.-практ. онлайн-конф. (29-30 вер. 2020 року). Одеса : Бондаренко М. О., 2020. С. 72-77.
9. Вітроенергетика : монографія / за ред. С. О. Кудрі. Київ : ІВЕ, 2023. 137 с.
10. Основи будівництва під вітрогенератори. Використання вітрогенераторів: майбутнє енергетики. URL: <https://enco.com.ua/stati/osnovi-budivnitstva-pid-vitrogeneratori/>
11. Основи вітроенергетики : підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Ципленков. Дніпропетровськ : НГУ, 2015. 337 с.
12. Особливості проектів вітроенергетики та специфіка управління ними / Т. А. Воркут, А. В. Севостьянова // [Вісник Черкаського державного технологічного університету](#). 2019. № 2. С. 86-95.
13. Розробка моделі домашнього стаціонарного вертикального вітрогенератора / І. І. Сілі, О. Ю. Азархов, Н. А. Бухлал, В. О. Петров // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. 2020. Вип. 10, т. 2. С. 1-8.
14. Савчук М. Розвиток малої та середньої вітрогенерації в Україні. Використання комбінованих систем. Київ : Українська вітроенергетична асоціація, 2019. 34 с. URL: http://uwea.com.ua/uploads/docs/Gresa_Group_9-6.11.2019.pdf

Познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	<i>Напівпровідникові діоди</i>		
VD1...18	1N4007	18	
VD19...22	UF10-01	4	
VD23	UF4007	1	
VD24, 26	світлодіод «LED»	2	зелений
VD25	світлодіод «LED»	1	червоний
VD27...30	FR107	4	
VD31	1N4004	1	
VD32	TL431	1	
	<i>Інтегральні мікросхеми та мікроконтролери</i>		
DA1	Arduino UNO	1	
DA2	Hitachi HD 44780	1	
DA3	LM2576/5.0	1	
DA4	IR2153	1	
DA5	PC817	1	
	<i>Транзистори</i>		
VT1	F9540N	1	польовий
VT2	C945	1	біполярний
VT3, VT4	IRF3205	2	польовий
	<i>Конденсатори</i>		
C1	220 мкФ	1	50В
C2	100нФ	1	
C3	1000 мкФ	1	16В
C4	220 мкФ	1	36В
C5	1 мкФ	1	
C6	100 мкФ	1	
C7	6,8 нФ	1	
C8	10 нФ	1	

					ДП.141.042.018.ПЗ						
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	Перелік елементів. Схема електрична принципова. Система альтернативного живлення однокімнатної квартири на базі вітрових установок типу «тюльпан». (ДОДАТОК А)				Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Талько К.Р.								У	73	74
Перевір	Антипчук Б.О.										
Н. Контр.	Антипчук Б.О.								ЖАТФК, Гр. Е-42		
Затв.	Лавріщев О.О.										

[illegible]